



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

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**TEMA:**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO DE CLASIFICACIÓN DE HORMAS PARA LA  
PRODUCCIÓN DE CALZADO EN LA EMPRESA TECNOCALZA  
S.A.”

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE: INGENIERO EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**AUTORES:**

SR. ARCINIEGA ARCINIEGA CRISTIAN ANDRÉS  
SR. CULQUI TACO EDISON SANTIAGO

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

ING. OROZCO LUIS

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CLASIFICACIÓN DE FORMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CALZADO EN LA EMPRESA TECNOCALZA S.A.” realizado por los señores **ARCINIEGA ARCINIEGA CRISTIAN ANDRÉS** y **CULQUI TACO EDISON SANTIAGO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **ARCINIEGA ARCINIEGA CRISTIAN ANDRÉS** y **CULQUI TACO EDISON SANTIAGO** para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, junio del 2016

  
ING. LUIS OROZCO  
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, ARCINIEGA ARCINIEGA CRISTIAN ANDRÉS y CULQUI TACO EDISON SANTIAGO con cédula de identidad N° 1719273326 y 0503258105 respectivamente, declaramos que este trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CLASIFICACIÓN DE HORMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CALZADO EN LA EMPRESA TECNOCALZA S.A.” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, junio del 2016

  
Arciniega Arciniega  
Cristian Andrés  
CI: 1719273326

  
Culqui Taco  
Edison Santiago  
CI: 0503258102



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, ARCINIEGA ARCINIEGA CRISTIAN ANDRÉS y CULQUI TACO EDISON SANTIAGO, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CLASIFICACIÓN DE HORMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CALZADO EN LA EMPRESA TECNOCALZA S.A.” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolqui, junio del 2016



Arciniega Arciniega  
Cristian Andrés  
CI: 1719273326



Culqui Taco  
Edison Santiago  
CI: 0503258102

## **DEDICATORIA**

Quiero permitirme dedicar este trabajo a mis padres, Alicia y Pablo, ya que ustedes son mi fuente de inspiración, mi ejemplo de tenacidad y superación, que me han educado y me han enseñado a luchar y salir victorioso ante las adversidades, son quienes a pesar del tiempo hacen que sus enseñanzas no cesen, ayudándome a luchar por mis objetivos y a culminarlos con éxito para empezar una nueva etapa en mi vida.

**Cristian Andres Arciniega**

Este trabajo está dedicado de manera especial a mi madre Hilda y hermano Williams, por estar presentes en cada momento y acciones de mi vida, quienes con su sacrificio y constancia me han ayudado alcanzar mis metas permitiéndome salir a delante.

También dedico este trabajo a mi novia Jeaneth e hija Felisa, por estar a mi lado siempre, por aconsejarme en cada momento y no permitir que me rindiera, por ser mi confidente, amiga y el amor de mi vida.

**Edison Santiago Culqui**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a mis padres, por su paciencia, cariño, consejos y su apoyo incondicional que me brindan día a día, por enseñarme a enfrentar mis temores y siempre ver el lado positivo de la vida aun en las situaciones más difíciles.

A mis hermanos por ser mis mejores amigos y un ejemplo de constancia y esmero en cada cosa que realizan diariamente, finalmente agradezco a todas las personas que de una manera u otra han estado pendientes de mí y mis familiares.

**Cristian Andres Arciniega**

Quiero agradecer a dios por permitirme compartir mis logros alcanzados, a mis padres, por brindarme su apoyo, confianza, tiempo y ser un gran ejemplo de superación y lucha. Las palabras no me alcanza para exteriorizar todo el amor que guarda mi corazón hacia ustedes. A mis hermanos por su apoyo en todo momento, gracias por estar a mi lado y compartir esta felicidad de este logro alcanzado.

A Jeaneth y Felisa, por ser mi motivo de inspiración cada día, por sin importar los problemas que tuviera que afrontar me animaba y brindaba su apoyo incondicional. Gracias por ser una persona tan especial y llenarme de fuerza para poder superar cualquier obstáculo.

Agradecemos también a la empresa Tecnocalza S.A por brindarnos su confianza para poder desarrollar nuestro proyecto de investigación en sus instalaciones.

**Edison Santiago Culqui**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRAC .....	xviii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Justificación e importancia.....	1
1.3 Alcance .....	2
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo General .....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Introducción.....	5
2.2. Descripción del Proceso de fabricación del calzado en la empresa Tecnocalza.....	6
2.3. Sistemas de clasificación automáticos.....	10
2.3.1. Métodos de clasificación más utilizados.....	11

2.4.	Actuadores .....	13
2.4.1.	Actuadores neumáticos .....	13
2.4.2.	Actuadores hidráulicos .....	13
2.4.3.	Actuadores eléctricos .....	14
2.5.	Electroválvulas .....	15
2.6.	Instrumentación .....	16
2.6.1.	Sensor .....	16
2.6.1.1.	Sensor de presencia óptico .....	16
2.6.1.2.	Sensor mecánico .....	16
2.7.	Sistemas de identificación .....	17
2.7.1.	Código de barras .....	17
2.7.1.1.	Funcionamiento del código de barras .....	17
2.7.2.	Tecnología RFID .....	18
2.7.2.1.	Tags (etiquetas) .....	19
2.7.2.2.	Clasificación de las etiquetas RFID .....	19
2.8.	Controladores .....	20
2.8.1.	Microcontrolador .....	20
2.8.2.	Arduino .....	21
2.8.3.	PLC .....	22
2.9.	Interfaz humano-máquina .....	23
2.9.1.	Descripción de guía GEDIS .....	23
3.	CAPÍTULO III DISEÑO DEL SISTEMA .....	26
3.1.	Diseño y adecuación mecánica .....	27
3.1.1.	Cortes en la banda .....	27
3.1.2.	Colocación de compuertas .....	28
3.2.	Identificación de hormas .....	30



3.2.1.	Lector RFID .....	30
3.2.2.	Etiquetas RFID.....	31
3.2.3.	Grabado de la tarjetas.....	32
3.3.	Diseño del sistema actuador .....	33
3.3.1.	Actuador neumático .....	33
3.3.2.	Cuadro comparativo entre los diferentes tipos de actuadores.....	35
3.3.3.	Electroválvula 5/2 NC.....	36
3.4.	Instrumentación .....	37
3.4.1.	Presencia de gavetas para hormas .....	38
3.4.2.	Detección de gaveta llena.....	38
3.4.3.	Alarmas del sistema .....	39
3.4.4.	Descripción de alarmas .....	41
3.5.	Diseño del panel de control .....	42
	2711-T10G3 AB.....	43
3.6.	Diseño del controlador .....	44
3.6.1.	Ubicación del controlador.....	46
3.6.2.	Diagrama de bloques y conexión eléctrica del PLC .....	46
3.6.3.	Descripción del sistema y diagrama de flujos.....	47
3.6.4.	Cuadro de variables del PLC.....	49
3.7.	Diseño del sistema de comunicación.....	50
3.7.1.	Módulo ethernet .....	51
3.7.2.	Módulo de comunicación Serial.....	52
3.8.	Diseño del sistema eléctrico .....	53
3.8.1.	Conexión eléctrica del sistema.....	53
3.8.2.	Protección eléctrica .....	56
3.9.	Diseño del interfaz humano – máquina.....	57

3.9.1.	Distribución de los elementos en las pantallas.....	57
3.9.2.	Navegabilidad de pantallas .....	61
3.9.3.	Descripción de la interfaz gráfica .....	61
3.9.4.	Descripción del funcionamiento .....	63
3.9.5.	Botones de control.....	66
4.	CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS.....	67
4.1.	Implementación .....	67
4.1.1.	Cortes de la banda .....	67
4.1.2.	Montaje de los elementos en la banda.....	71
4.1.3.	Montaje del panel de control.....	72
4.1.4.	Montaje del controlador .....	73
4.2.	Pruebas .....	74
4.2.1.	Prueba 1: Conexión eléctrica. ....	74
4.2.2.	Prueba 2: Eficiencia .....	76
4.2.3.	Prueba 3: Identificación de hormas.....	77
4.2.4.	Prueba 4: Verificación de alarmas .....	78
4.2.5.	Prueba 5: Comparativa clasificación manual vs automática.....	82
5.	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1.	Conclusiones .....	84
5.2.	Recomendaciones .....	85
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los actuadores neumáticos.....	14
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los actuadores eléctricos según su corriente.....	15
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de las electroválvulas .....	15
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de hormas según su talla .....	30
<b>Tabla 5.</b> Características de los sensores comerciales .....	31
<b>Tabla 6.</b> Ventajas y desventajas de los actuadores.....	35
<b>Tabla 7.</b> Cuadro comparativo de las marcas de actuadores neumáticos .....	34
<b>Tabla 8.</b> Características del actuador neumático XCPC .....	35
<b>Tabla 9.</b> Cuadro comparativo de las marcas de electroválvulas .....	36
<b>Tabla 10.</b> Cuadro de características de la electroválvula Fluidtec .....	37
<b>Tabla 11.</b> Cuadro comparativo de los tipos de sensores infrarrojos .....	40
<b>Tabla 12.</b> Tabla de especificación del sensor grainger BR100-DDT.....	41
<b>Tabla 13.</b> Cuadro comparativo de los tipos de visualizadores.....	43
<b>Tabla 14.</b> Tabla de especificaciones del visualizador Siemens KTP 400 basic.....	43
<b>Tabla 15.</b> Cuadro de entrada – salidas del sistema.....	44
<b>Tabla 16.</b> Cuadro comparativo de los tipos de controladores .....	45
<b>Tabla 17.</b> Características del PLC s7 - 1200 .....	45
<b>Tabla 18.</b> Variables usadas en la programación.....	49
<b>Tabla 19.</b> Tabla de elementos eléctricos utilizados en el sistema .....	53
<b>Tabla 20.</b> Carga conectadas a la línea eléctrica.....	57
<b>Tabla 21.</b> Cargas del sistema implementado.....	57
<b>Tabla 22.</b> Funcionamiento de los botones de control.....	66
<b>Tabla 23.</b> Resultados de la prueba #2.....	76
<b>Tabla 24.</b> Prueba #3. Identificación .....	77
<b>Tabla 25.</b> Tiempos de clasificación manual y automática. ....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Verificación de la calidad del cuero. ....	7
<b>Figura 2.</b> Máquina automática de corte.....	7
<b>Figura 3.</b> Proceso de cosido. ....	8
<b>Figura 4.</b> Armado de punta y talón. ....	8
<b>Figura 5.</b> Acabado y empaquetado.....	9
<b>Figura 6.</b> Clasificación de las hormas. ....	10
<b>Figura 7.</b> Sistema de clasificación automática por rodillos y gavetas. Fuente: (Atox, 2016).....	12
<b>Figura 8.</b> Clasificadores automáticos. Fuente: (Atox, 2016). ....	12
<b>Figura 9.</b> Sistema de clasificación automática Miniload. Fuente: (Atox, 2016).....	13
<b>Figura 10.</b> Sensor infrarrojo: Emisor – Receptor. Fuente: (bcndinamics, 2016).....	16
<b>Figura 11.</b> Sensor mecánico. ....	17
<b>Figura 12.</b> Código de barras. Fuente: (bcndinamics, 2016).....	17
<b>Figura 13.</b> Lectura de un código de barras.....	18
<b>Figura 14.</b> Elementos de un sistema de tecnología RFID. Fuente: (bcndinamics, 2016).....	18
<b>Figura 15.</b> Componentes electrónicos del tag RFID. Fuente: (bcndinamics, 2016). ....	19
<b>Figura 16.</b> Microcontrolador. Fuente: (Microcontroladores PIC, 2016) .....	21
<b>Figura 17.</b> Controlador Arduino.....	22
<b>Figura 18.</b> Ejemplo de controlador lógico programable Fuente: (Siemens, 2016)..	23
<b>Figura 19.</b> Diagrama de bloques del sistema de clasificación de hormas.....	26
<b>Figura 20.</b> Final de la banda donde caen todas las hormas. ....	27
<b>Figura 21.</b> Esquema de cortes en la banda. ....	27
<b>Figura 22.</b> Longitud de las compuertas. ....	28
<b>Figura 23.</b> Esquema de colocación de las compuertas.....	28
<b>Figura 24.</b> Vista esquemática colocación de los actuadores. ....	29
<b>Figura 25.</b> Vista esquemática largo base.....	29
<b>Figura 26.</b> Lector RFID ID-20LA.....	31
<b>Figura 27.</b> Etiqueta RFID - 128 bits. Fuente: (Ilyas, 2012).....	32

<b>Figura 28.</b> Ubicación del sensor ID20-LA.....	32
<b>Figura 29.</b> Grabador 125 kHz .....	33
<b>Figura 30.</b> Electroválvula 5/2.....	36
<b>Figura 31.</b> Esquema ubicación de las electroválvulas.....	37
<b>Figura 32.</b> Sensor mecánico. ....	38
<b>Figura 33.</b> Ubicación de los sensores mecánicos.....	38
<b>Figura 34.</b> Ubicación de las gavetas.....	39
<b>Figura 35.</b> Posición esquemática de los sensores ópticos. ....	39
<b>Figura 36.</b> Sensor Infrarrojo de Presencia.....	40
<b>Figura 37.</b> Diagrama de conexión sensor BR100-DDT.....	41
<b>Figura 38.</b> Panel de control. ....	43
<b>Figura 39.</b> Ubicación del panel de control. ....	44
<b>Figura 40.</b> Ubicación del controlador. ....	46
<b>Figura 41.</b> Vista frontal de la ubicación del controlador.....	46
<b>Figura 42.</b> Diagrama de bloques entrada/salidas al PLC.80 .....	47
<b>Figura 43.</b> Diagrama de flujo del control del sistema de clasificación de hormas. ..	48
<b>Figura 44.</b> Diagrama de comunicación del sistema. ....	51
<b>Figura 45.</b> Módulo ethernet S7-1200 Fuente:(Siemens, 2016).....	51
<b>Figura 46.</b> Módulo RS232- Siemens (6ES7241-1AH32-0XB0) Fuente: (Siemens, 2016).....	52
<b>Figura 47.</b> Configuración del puerto serial para la comunicación. ....	52
<b>Figura 48.</b> HMI ventana principal.....	58
<b>Figura 49.</b> HMI ventana de inicio. ....	58
<b>Figura 50.</b> HMI ventana 1 de alarmas (presencia de gavetas). ....	59
<b>Figura 51.</b> HMI ventana 2 de alarmas (problemas en la banda). ....	59
<b>Figura 52.</b> HMI ventana 3 de alarmas (Gaveta llena). ....	60
<b>Figura 53.</b> HMI ventana 4 de alarmas (Objeto extraño introducido).....	60
<b>Figura 54.</b> Navegabilidad de pantallas.....	61
<b>Figura 55.</b> Pantalla de inicio. ....	62
<b>Figura 56.</b> Pantalla de proceso. ....	62
<b>Figura 57.</b> Pantalla de alarma 1.....	62
<b>Figura 58.</b> Pantalla de alarma 2.....	63

<b>Figura 59.</b> Pantalla de alarma 3.....	63
<b>Figura 60.</b> Pantalla de alarma 4.....	63
<b>Figura 61.</b> Logo de la empresa Tecnocalza S.A. ....	64
<b>Figura 62.</b> Indicadores numéricos y luminosos. ....	64
<b>Figura 63.</b> Número de hormas por gaveta.....	64
<b>Figura 64.</b> Total de pares.....	65
<b>Figura 65.</b> Mímico del sistema automatizo de clasificación de hormas. ....	65
<b>Figura 66.</b> Botonera del panel Touch.....	65
<b>Figura 67.</b> Los tres cortes en la banda.....	67
<b>Figura 68.</b> Colocación del material sobrante en los cortes. ....	68
<b>Figura 69.</b> Cortes finalizados en la banda.....	68
<b>Figura 70.</b> Colocación de los actuadores. ....	69
<b>Figura 71.</b> Colocación de las platinas. ....	69
<b>Figura 72.</b> Actuadores soldados a las platinas. ....	70
<b>Figura 73.</b> Posición de las electroválvulas.....	70
<b>Figura 74.</b> Montaje de los actuadores en la banda.....	71
<b>Figura 75.</b> Actuadores activados.....	71
<b>Figura 76.</b> Montaje de las electroválvulas. ....	72
<b>Figura 77.</b> Panel de control – Vista frontal.....	72
<b>Figura 78.</b> Panel de control – Vista posterior. ....	73
<b>Figura 79.</b> Ubicación del controlador. ....	73
<b>Figura 80.</b> Ubicación del controlador interior.....	74
<b>Figura 81.</b> HMI creado para la prueba #1 .....	75
<b>Figura 82.</b> Ejemplo realizado con sensores y actuadores para la prueba # 1.....	75
<b>Figura 83.</b> Errores de lectura vs hormas cada 2 min.....	77
<b>Figura 84.</b> Prueba de detección de un objeto extraño. ....	78
<b>Figura 85.</b> Alarma de detección de objeto extraño. ....	79
<b>Figura 86.</b> Prueba de detección de gavetas. ....	79
<b>Figura 87.</b> Alarma de detección de gavetas. ....	80
<b>Figura 88.</b> Prueba de horma extraviada por zonas.....	80
<b>Figura 89.</b> Alarma zonal.....	81
<b>Figura 90.</b> Prueba gaveta llena.....	81

<b>Figura 91.</b> Alarma gaveta llena. ....	82
<b>Figura 92.</b> Comparación de los tiempos de clasificación manual y automática .....	83
<b>Figura 93.</b> Porcentaje de reducción de la clasificación manual vs automática. ....	83

# ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE HORMAS.

ANEXO B: MODELOS, TALLAS, CANTIDAD Y CODIFICACIÓN DE HORMAS.

ANEXO C: DIAGRAMA DE CONEXIÓN NEUMÁTICA.

ANEXO D: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE ENTRADAS AL CONTROLADOR PLC S7 -1200.

ANEXO E: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE SALIDAS DEL CONTROLADOR PLC S7 -1200.

ANEXO F: DIAGRAMA P&ID DEL SISTEMA.

ANEXO G: DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA.



## RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño e implementación de un Sistema Automatizado de Clasificación de hormas para la producción de calzado en la empresa Tecnocalza S.A. La solución propuesta se basa en una tecnología de radiofrecuencia (RFID) para la identificación inalámbrica de las características de la horma (talla y modelo), y un sistema electro-neumático controlado por autómata programable; para este propósito se diseñó diagramas neumáticos, eléctricos y electrónicos, así como las adecuaciones mecánicas en la banda, el sistema de instrumentación donde se dimensiona el cableado, los sensores, las protecciones eléctricas, los actuadores neumáticos y la interfaz gráfica (HMI) que está diseñada para ser intuitiva y de fácil manejo, siguiendo las recomendaciones de la Guía GEDIS. La integración de los sistemas se lo realiza mediante la ayuda del autómata programable. El sistema automatizado de clasificación permite a la empresa Tecnocalza S.A reducir el tiempo en un 60%, por ende; reducir costos en la producción del calzado y facilitar a los operarios, la realización de otras tareas laborales. Los recursos técnicos utilizados fueron principalmente los conocimientos adquiridos en la preparación académica, con la ayuda y guía del Ingeniero tutor, para poder llegar a cumplir los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

### Palabras Claves:

- **HORMAS (ZAPATO)**
- **SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICO**
- **NEUMÁTICO**
- **TECNOLOGÍA RFID**

# ABSTRAC

In this project, “Design and implementation of an Automated Classification System lasts for shoe production in the Tecnocalza S.A, company”. The proposed solution is based on radio frequency technology (RFID) for wireless identification of the characteristics of the boot-tree (size and model), and an electro-pneumatic system controlled by PLC; for this purpose it was designed, electrical and electronic diagrams and mechanical adjustments in the band, instrumentation system where the wiring is dimensioned, sensors, electrical protection, pneumatic actuators and graphical interface (HMI) is was designed to be intuitive and easy to use, following the recommendations of the GEDIS Guide. The integration of the systems is done with the aid of the PLC. The automated classification system allows the company Tecnocalza S.A reduce time by 60%, consequently; reduce costs in the production of footwear and provide operators, performing other duties. The technical resources used were mainly the knowledge acquired in academic preparation, with the help and guidance of tutor Engineer, to get to meet the objectives set out in this research.

## **KEYWORDS:**

- **BOOT-TREE (SHOES)**
- **AUTOMATIC CLASSIFICATION SYSTEM**
- **PNEUMATIC**
- **RFID TECHNOLOGY**

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años la industria del calzado ha sido una de las industrias que ha tenido notable incremento en su producción, lo cual ha conllevado a que algunas empresas adquieran nuevas tendencias tecnológicas, permitiéndoles la automatización de ciertos procesos en sus plantas.

TECNOCALZA S.A. es una empresa legalmente constituida en nuestro país en la ciudad de Quito (Ecuador). Empresa 100% ecuatoriana, especializada en producción y comercialización de calzado a nivel nacional.

Actualmente, en la empresa TECNOCALZA S.A. la clasificación de las hormas que sirven para montar los cortes del zapato y posteriormente armar el calzado con un modelo específico, se maneja de forma manual, (el operario observa la talla de horma y la coloca en su respectiva estantería), además en dicha estación de trabajo se cuenta con un exceso de operarios, lo cual conlleva a un incremento en el costo de producción.

El proceso es manejado de manera ineficiente, ya que al finalizar, los operarios retiran la horma del calzado y la envían por una banda transportadora secundaria, haciendo que todas las hormas caigan en una sola gaveta a altas velocidades, pudiendo dañar la integridad del operario. Una vez que las hormas se encuentran en la gaveta, los operarios clasifican de manera ineficiente dependiendo del modelo y talla de las mismas.

### 1.2 Justificación e importancia

La empresa Tecnocalza dispone de una amplia gama de modelos de calzado para caballero y dama, con los cuales puede satisfacer las diferentes exigencias de sus clientes, la empresa al tener una gran línea de producción cuenta con un sistema de clasificación de hormas inadecuado el cual es realizado de forma manual, siendo esto

un aspecto negativo para la producción de la empresa, ya que es evidente la intervención dependiente de los operarios.

La falta de espacio es otro factor muy importante, ya que la clasificación de las hormas requiere de dos operarios, que trabajan en un espacio improductivo. Con la implementación de este sistema, se obtiene un lugar de trabajo organizado permitiendo que uno de los operarios desarrolle otro tipo de funciones laborales, mientras que el otro operario se encargue de la monitorización y supervisión del sistema.

El sistema que se pretende automatizar será de gran aporte para la empresa, mejorando eficazmente su producción, permitiéndole reducir tiempos y costos al obtener el producto final, ya que se reducirá el número de operarios que laboran actualmente en la estación de trabajo.

La automatización del sistema, permitirá aplicar conocimientos adquiridos en la trayectoria estudiantil, haciendo énfasis en los últimos niveles del transcurso de nuestra carrera universitaria.

### **1.3 Alcance**

El presente proyecto de diseño e implementación de un sistema automatizado de clasificación de hormas para la producción de calzado, posee un sistema actuador para la correcta clasificación de hormas; se dividirá en 3 etapas: 1) Diseño del sistema de clasificación, 2) Simulación e Implementación, 3) Pruebas y Análisis de resultados.

La primera etapa del proyecto consiste en el diseño del sistema de clasificación, para la cual se debe dimensionar un sistema actuador, la instrumentación, la respectiva comunicación entre elementos de software/hardware, se necesita un ente inteligente que permita controlar y comunicar los diferentes tipos de instrumentos por lo cual se realiza un análisis del tipo de controlador. Se ha previsto realizar la clasificación en 4 gavetas, usando un sistema de identificación RFID y sus respectivas etiquetas las cuales tienen la información necesaria para que se realice la clasificación, la instrumentación (Apartado 2.6) dispone de varios tipos de sensores como: sensores de presencia, permiten activar de forma correcta los actuadores que serán dimensionados de tal forma que cumplan con las especificaciones deseadas, y los sensores mecánicos, usados para la detección de las gavetas, para la visualización de las variables (hormas,

tiempo y estado de las hormas) es necesario diseñar una interfaz gráfica Humano-Máquina (HMI), la cual cumplirá con normas de diseño con el fin de que la interfaz del sistema sea de fácil manejo para el operario.

La segunda etapa del proyecto consiste en la simulación eléctrica, electrónica y neumática del sistema, que permitirá representar diversas situaciones a las cuales el sistema automático podría estar expuesto, con el propósito de conocer las diferentes fallas en el diseño inicial y así establecer una acción correctiva antes de la implementación.

La tercera y última etapa del proyecto consiste en implementar el sistema previamente diseñado y realizar pruebas del sistema de clasificación que posteriormente serán analizadas. Las pruebas se realizarán para comprobar que el sistema funcione de manera correcta en falsos positivos, tiempos de operación y accionamientos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Clasificar hormas para la producción de calzado, mediante el uso de tecnologías de automatización, para optimizar costos y tiempos en el proceso de clasificación.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Dimensionar e implementar un sistema actuador eficaz y la instrumentación necesaria para obtener las principales características de la horma (talla y modelo) para la clasificación de las hormas.
- Diseñar e implementar un sistema de control óptimo, con el fin de reducir al menos en un 50% el tiempo de clasificación de hormas.

- Desarrollar una interfaz de fácil manejo que permita al operario monitorizar y supervisar la disponibilidad de hornos mediante una interfaz gráfica Humano – Máquina (HMI).
- Simular las conexiones eléctricas y electrónicas, para poder representar situaciones del sistema de automatización.
- Realizar pruebas y analizar resultados, una vez que el sistema integrado se encuentre en marcha, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema implementado.

## CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se analizan aspectos importantes sobre el avance tecnológico producido en los últimos años, se describe el proceso de manufactura del calzado en la empresa Tecnocalza y se analizan los principales sistemas de clasificación automáticos, instrumentación, actuadores y electroválvulas más utilizados en la actualidad, con el fin de identificar sus principales características y poder elegir un sistema adecuado para el desarrollo del proyecto.

### **2.1. Introducción**

En el transcurso de los años el ser humano ha reinventado y decidido construir sistemas que ayuden en procesos industriales, consiguiendo un ordenamiento sistematizado de un proceso. Tanto en la antigüedad como en la actualidad, los sistemas de clasificación todavía son realizados por operarios, haciendo que el sistema presente fallas en la clasificación.

Posteriormente, varias empresas implementaron sistemas de clasificación mecánica en sus procesos de producción, como la imprenta o en los procesos de minería donde la clasificación de los materiales se realizaba mediante un sistema mecánico. Los sistemas de clasificación fueron implementados en varios procesos no industriales a mediados del siglo XX, pero no se generalizó su uso industrial hasta 20 años más tarde.

En los últimos años los sistemas de clasificación de procesos industriales, han evolucionado de forma considerable gracias al avance tecnológico desarrollado; de esta forma, los sistemas son capaces de combinar varios factores como velocidad y tiempo, al momento de desarrollar una actividad de clasificación específica permitiendo tener una mayor flexibilidad del sistema.

Las industrias actuales poseen al menos pequeños sistemas automatizados, permitiendo solucionar problemas que se pueden presentar al momento de la producción y brindando una mayor fiabilidad del proceso que se está desarrollando. Los sistemas de clasificación automáticos, juegan un rol fundamental en la

optimización de recursos en los diferentes procesos industriales y esto se debe a varias razones como: volúmenes, espacio, organización, costo y rendimiento.

Actualmente, en todos los sectores, las exigencias son cada vez más rigurosas en cuanto a producción, calidad y presentación de los productos, haciendo que se requiera la incorporación de tecnologías avanzadas para mejorar la producción. Por estos motivos, la incorporación de sistemas con diferente grado de automatización permite aumentar la producción, diversidad y calidad de los productos, para reducir costos debido a la menor mano de obra necesaria. A pesar de los factores ventajosos que proporciona la automatización, el desarrollo de sistemas de clasificación en el sector del calzado ha sido escaso.

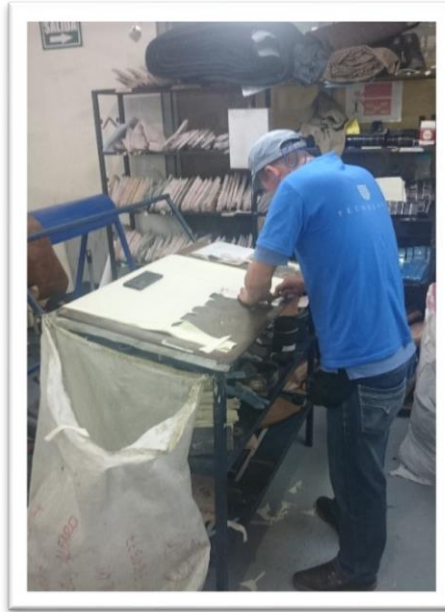
Por tal razón en la empresa Tecnocalza, es necesario desarrollar el sistema de clasificación automático de hormas, lo cual conlleva a describir varios conceptos que van a permitir definir lineamientos que puedan ser usados en el desarrollo del proyecto.

## **2.2. Descripción del Proceso de fabricación del calzado en la empresa Tecnocalza.**

Dependiendo de la época del año y la situación de la empresa, Tecnocalza dispone de 18 modelos diferentes de hormas y cada uno de los mismos dispone de 7 tallas diferentes que van desde la talla 37 hasta la 44 en la línea de calzado para caballero, y desde la talla 35 hasta la 39 en la línea de calzado para dama, teniendo una producción diaria entre 180 a 250 pares de zapatos (ver anexo B). La clasificación de las hormas es realizada por los operarios de forma manual, con un tiempo promedio de 5 minutos para clasificar 8 hormas, repitiendo esta acción en promedio de 25 veces por día, por lo cual la principal razón del diseño e implementación del sistema automatizado de clasificación de hormas, es la reducción de los tiempos en la etapa de clasificación, facilitando de esta manera la reutilización de la horma para un nuevo proceso de fabricación de calzado (armado). El proceso de fabricación de calzado se puede dividir en las varias etapas:



- **Etapa 1 - Corte:** En esta etapa se verifica la calidad del cuero (ver figura 1) Para proceder a realizar su corte, su verificación se lo realiza de forma manual mientras que para el corte se utiliza una máquina de alta tecnología que dispone de dos brazos robóticos los cuales tienen incorporados una cuchilla en cada brazo (ver figura 2).



**Figura 1.** Verificación de la calidad del cuero.



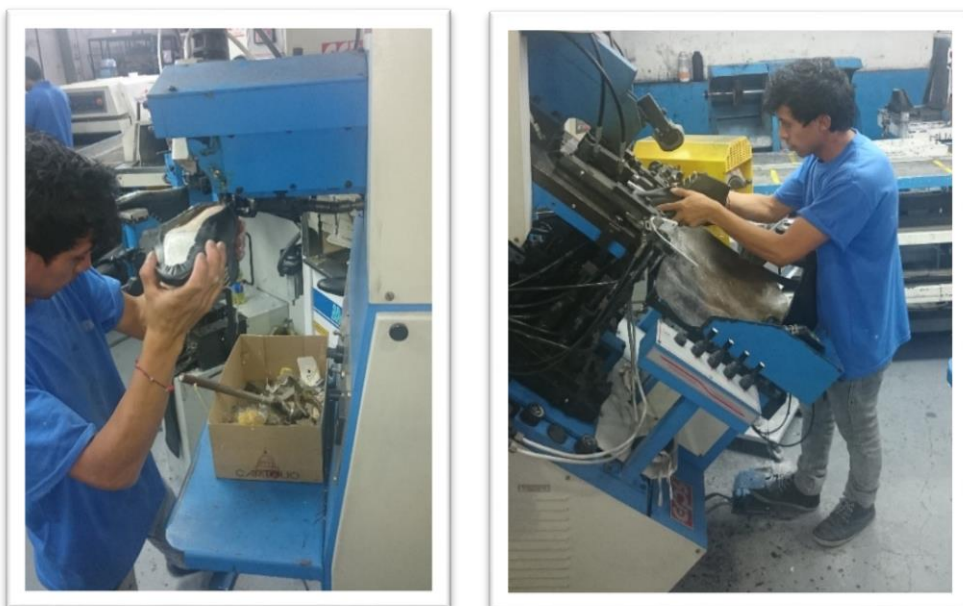
**Figura 2.** Máquina automática de corte.

- **Etapa 2 – Aparado:** En esta etapa se obtienen las piezas cortadas del calzado, para posteriormente proceder a coser las piezas que componen el calzado antes de unirlo con la suela (ver figura 3).



**Figura 3.** Proceso de cosido.

- **Etapa 3 – Armado:** En esta etapa se unen las piezas ya cosidas del calzado con la suela, además se da forma al talón y la punta de acuerdo al modelo de calzado (ver figura 4).



**Figura 4.** Armado de punta y talón.

- **Etapa 4 – Acabado y Empaquetado:** En esta etapa final se realizan los acabados finales (pintado, brillo, colocación de cordones) y posteriormente son empaquetados en sus respectivas cajas (ver figura 5).



**Figura 5.** Acabado y empaquetado.

- **Etapa 5 – Clasificación de las hormas:** En esta etapa las hormas son enviadas a través de la banda y estas caen a una sola gaveta que está ubicada al final de la misma, la clasificación de las hormas se la realiza de forma manual, el operario toma las hormas, observa número o talla y las deposita en sus respectivas gavetas (ver figura 6).



**Figura 6.** Clasificación de las hormas.

Una vez definido el proceso de fabricación del calzado, es necesario conocer los diferentes tipos de sistemas de clasificación que existen en la industria actual, para poder definir un sistema adecuado para la clasificación de hormas, en la empresa Tecnocalza.

### 2.3. Sistemas de clasificación automáticos

**Sistema.-** Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos. El concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía. (Ogata, 2010)

**Clasificar.-** Ordenar o disponer por clases algo. (Real-Academia-Lengua, 2014)

**Automatización.-** Por automatización se entiende “la acción de sustituir en un proceso el operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos”

Clasificar un objeto desconocido consiste en asignarlo a la clase en la cual las características usadas durante el entrenamiento tienen más correspondencia con las características del objeto. Se suele usar la clasificación frente a otras técnicas cuando los objetos tienen similitudes, pero sujetas a variaciones desconocidas. Si estas variaciones son muy pequeñas, existen otros métodos más sencillos para reconocer el objeto, como por ejemplo el emparejamiento por plantilla (template matching).

Los sistemas de clasificación automáticos, son un conjunto de elementos que pueden ser ordenados de acuerdo alguna característica en particular, con el fin de sustituir en un proceso manual al operario.

### **2.3.1. Métodos de clasificación más utilizados**

- **Clasificación manual**

Este método de clasificación es el más básico y de gran aceptación, una de las principales desventajas, es que la clasificación debe realizarse por un operario capacitado, lo que puede ocasionar que se produzcan fallas humanas. Funciona de acuerdo a la experiencia que tiene el operario, ya que clasifica los artículos según las características del mismo.

- **Sistema de rodillos y gavetas**

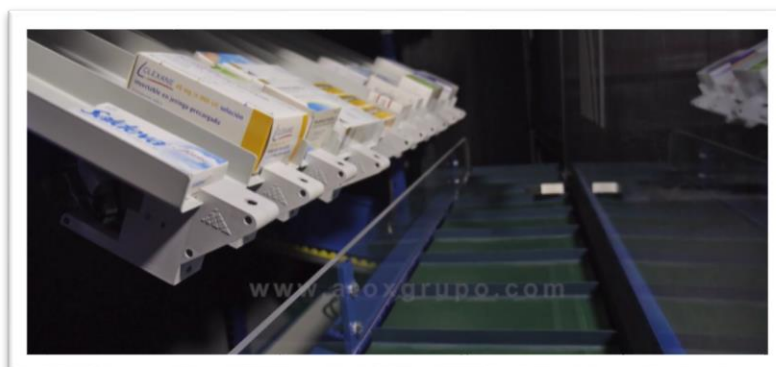
Este método de clasificación dispone de transportadores de rodillos motorizados, integran sensores y desviadores automáticos, pueden combinar tramos rectos, curvos, de ascenso y de descenso. Los sistemas de clasificación de este tipo se basan en clasificar según características comunes por ejemplo: peso, altura, modelo y son despachados a cada banda según estas características, contiene derivaciones a lo largo de la banda principal y los actuadores son los encargados de la acción de clasificar y deben activarse según la clasificación deseada, todo ello, unido a su integración coordinada con la dispensación automática, permite llevar la clasificación automática a máximos niveles de eficiencia, ejemplo Aeropuertos.



**Figura 7.** Sistema de clasificación automática por rodillos y gavetas.  
Fuente: (Atox, 2016).

- **Clasificadores automáticos**

Es un sistema de dispensadores automáticos para almacenes que permite la preparación de pedidos a alta velocidad sin errores. Debido a sus características son utilizados ampliamente en la logística farmacéutica y de distribución para la dispensación automática de medicamentos, cosméticos, recambios, etc., optimizando drásticamente el control de inventario. Funcionan de manera que cada artículo cae en una bandeja y de esa forma se clasifica.



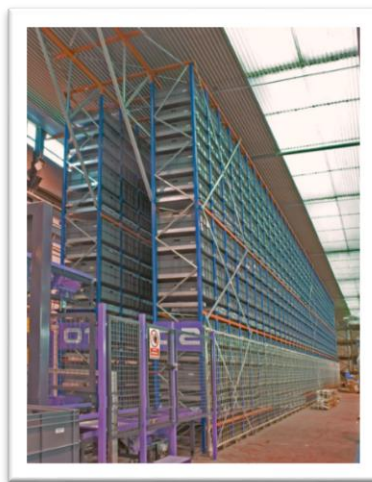
**Figura 8.** Clasificadores automáticos.  
Fuente: (Atox, 2016).

- **Miniload**

El sistema de miniload es un almacén automatizado de alto rendimiento con un mono-columna o estructura bi-columna para la manipulación de cargas ligeras.

Los sistemas están equipados con uno o más bahías de almacenamiento de acuerdo con los requisitos de picking. Estas soluciones proporcionan un sistema de alta productividad completamente automatizado, rápido y seguro.

Sistema de Logística produce diferentes versiones del sistema miniload, que puede ser configurado de acuerdo con los requisitos del proyecto.



**Figura 9.** Sistema de clasificación automática Miniload.  
Fuente: (Atox, 2016).

## **2.4. Actuadores**

Es necesario definir los actuadores ya que estos son los que físicamente realizan la acción de clasificar, es por este motivo que se establecen diferentes comparaciones entre los principales actuadores del mercado.

Los actuadores son aquellos mecanismos que nos permiten llevar a cabo actividades que requieren una fuerza, estos pueden ser: (Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos). (Diez, 2016)

### **2.4.1. Actuadores neumáticos**

Este tipo de actuadores transforman la energía neumática en energía mecánica, tienen una velocidad de reacción de 10m/s en condiciones ideales ya que el aire comprimido se propaga a la velocidad del sonido.

### **2.4.2. Actuadores hidráulicos**

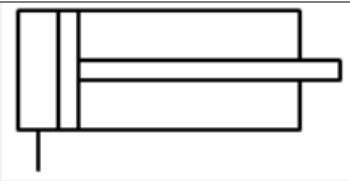
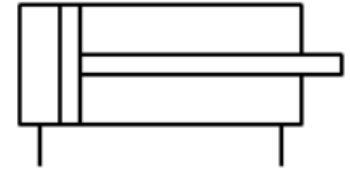

Estos actuadores, basan su funcionamiento, en la presión ejercida por un líquido, generalmente un tipo de aceite. Las máquinas que normalmente se encuentran

conformadas por actuadores hidráulicos tienen mayor torque, mayor resistencia mecánica y son de gran tamaño con respecto a los actuadores neumáticos.

Los actuadores neumáticos e hidráulicos se clasifican de acuerdo a su funcionamiento, tal como se observa en la tabla 1.

**Tabla 1.**

Clasificación de los actuadores neumáticos

<i>Actuador - Tipo</i>	<i>Símbolo</i>
<i>Simple efecto (Solo-Neumático)*</i>	
<i>Doble Efecto</i>	
<i>Doble Vástago</i>	

\*Nota.- Los actuadores de simple efecto solo existen en la neumática

### 2.4.3. Actuadores eléctricos



Se le da el nombre de actuadores eléctricos cuando se usa la energía eléctrica para que un motor ejecute movimientos.

Los actuadores eléctricos se clasifican según su forma de control, su forma de conexión eléctrica y por su velocidad de giro, tal como se observa en la tabla 2.



**Tabla 2.**

Clasificación de los actuadores eléctricos según su corriente.





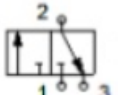
<i>Tipo – Motor</i>	<i>Símbolo</i>
<i>Motores de corriente alterna.</i>	
<i>Motores de corriente continua</i>	

### 2.5. Electroválvulas

Son elementos que permiten controlar la dirección de un fluido (aire, aceite, etc) de acuerdo al tipo de activación que se desee realizar, se las puede clasificar de acuerdo al número de posiciones y al número de vías que posee físicamente (ver tabla 3).

**Tabla 3.**

Clasificación de las electroválvulas

<i>Electroválvula - Tipo</i>	<i>Símbolo</i>
<i>Una Posición</i>	
<i>Dos Posición</i>	
<i>Tres Posición</i>	
<i>Dos vías</i>	
<i>Tres vías</i>	

## 2.6. Instrumentación

Necesaria para medir o sensar magnitudes físicas, y así poder clasificar.

### 2.6.1. Sensor

Es un instrumento que tiene la capacidad de convertir magnitudes físicas en señales eléctricas, entre los principales se tiene temperatura, presión, ópticos, etc.

#### 2.6.1.1. Sensor de presencia óptico

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia, para determinar las propiedades de ésta. Su funcionamiento se basa en un receptor y emisor, el cual se encarga de generar un rayo infrarrojo, que es leído por el receptor (ver figura 10).



**Figura 10.** Sensor infrarrojo: Emisor – Receptor.

Fuente: (bcndynamics, 2016)

#### 2.6.1.2. Sensor mecánico

Estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una palanca movible, al realizar la acción de fuerza sobre la palanca, ésta hace contacto, y el sensor cierra un circuito eléctrico interno que permite el paso de corriente. (Ver figura 11).



**Figura 11.** Sensor mecánico.

## **2.7. Sistemas de identificación**

Existen varios sistemas de identificación que son técnicas las cuales permiten identificar características de alguna persona u objeto para su posterior análisis, entre los cuales se definen dos tecnologías ampliamente usadas en procesos de identificación en el ámbito industrial.

### **2.7.1. Código de barras**

El código de barras consiste en un sistema de codificación creado a través de series de líneas y espacios paralelos de distinto grosor. (MBCESStore, 2006), funciona por un medio de luz, un dispositivo de entrada debe convertir la luz en energía eléctrica (ver figura 12).



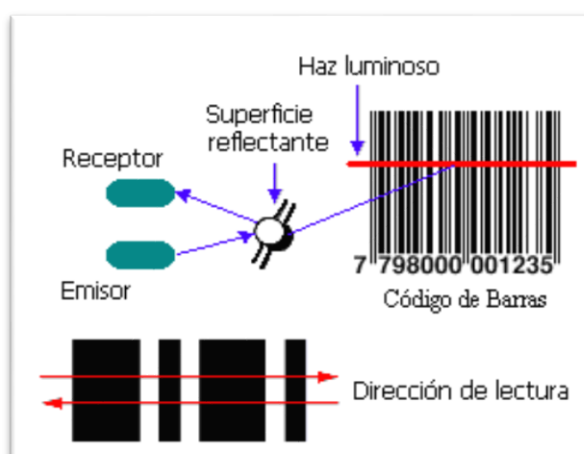
**Figura 12.** Código de barras.

Fuente: (bcndynamics, 2016)

#### **2.7.1.1. Funcionamiento del código de barras**

Un código de barras funciona en la práctica de manera similar a una linterna común, leyendo la luz reflejada de una superficie (ver figura 13). El proceso comienza con un

dispositivo que emite un rayo de luz directa sobre un código de barras. El dispositivo contiene un pequeño sensor que detecta la luz reflejada y la convierte en energía eléctrica. El resultado, es una señal eléctrica que puede ser interpretada y convertida en datos.



**Figura 13.** Lectura de un código de barras

Fuente: (bcndynamics, 2016)

### 2.7.2. Tecnología RFID

La identificación por radiofrecuencia o RFID por sus siglas en inglés (radio frequency identification), es una tecnología de identificación remota e inalámbrica en la cual un dispositivo lector vinculado a un equipo de cómputo, se comunica a través de una antena (también conocido como tag o etiqueta) mediante ondas de radio. (Ilyas, 2012) (ver figura 14).

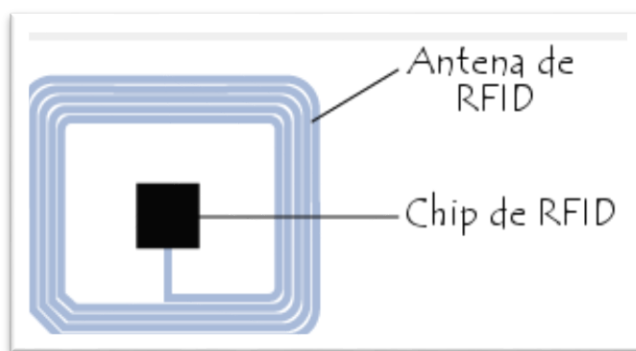


**Figura 14.** Elementos de un sistema de tecnología RFID.

Fuente: (bcndynamics, 2016)

### 2.7.2.1. Tags (etiquetas)

Las etiquetas RFID constan de dos elementos básicos: un chip y una antena. El chip y la antena, montados, forman un integrado (ver figura 15).



**Figura 15.** Componentes electrónicos del tag RFID.

Fuente: (bcndinamics, 2016)

### 2.7.2.2. Clasificación de las etiquetas RFID

Existen etiquetas de dos tipos para el mercado actual, las etiquetas RFID pueden ser activas o pasivas.

- **Etiquetas pasivas**

Las etiquetas pasivas no poseen alimentación eléctrica. La señal que les llega de los lectores induce una corriente eléctrica pequeña y suficiente para operar el circuito integrado CMOS de la etiqueta, de forma que puede generar y transmitir una respuesta. Esta respuesta puede ser cualquier tipo de información, no sólo un código identificador. Una etiqueta puede incluir memoria no volátil, posiblemente escribible por ejemplo (EEPROM).

- **Etiquetas activas**

A diferencia de las etiquetas pasivas, las activas poseen su propia fuente autónoma de energía, que utilizan para dar corriente a sus circuitos integrados y propagar su señal al lector. Estas son mucho más fiables (tienen menos errores) que las pasivas debido a

su capacidad de establecer sesiones con el lector. Gracias a su fuente de energía son capaces de transmitir señales más potentes que las de las pasivas.

## **2.8. Controladores**

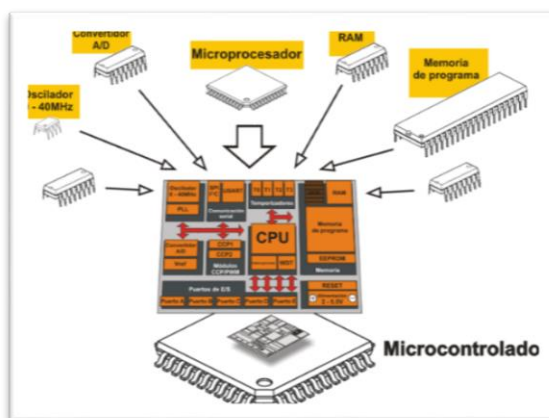
En los procesos de clasificación es necesario una entidad inteligente, por lo cual se citan algunos tipos de controladores que se pueden usar en el desarrollo del proyecto.

### **2.8.1. Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado (ver figura 16).

El microcontrolador posee las algunas ventajas:

- Los microcontroladores son muy fáciles de grabar, ya que solo se necesita una computadora y un grabador.
- Permite controlar, programar y sincronizar tareas electrónicas.
- Existe una gran diversidad de microcontroladores en el mercado, siendo esta una gran ventaja, ya que se puede elegir entre diversas características que uno no tiene pero otro si, como cantidad de puertos, cantidad de entradas y salidas, conversor Analógico a Digital, cantidad de memoria, espacio físico, y este tipo de cualidades que nos permiten tener una mejor elección del microcontrolador. (Galeon, 2016)



**Figura 16.** Microcontrolador.

Fuente: (Microcontroladores PIC, 2016)

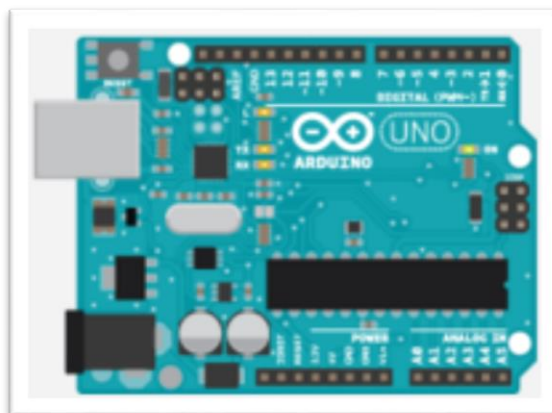
### 2.8.2. Arduino

Arduino es una plataforma de creación de prototipos de código abierto, capaces de leer las entradas y convertirlas en salidas que pueden ser utilizada para realizar la activación de cualquier elemento (ver figura 17) con el pasar de los años, arduino comenzó a cambiar para adaptarse a las nuevas necesidades y retos, como simples tablas de 8 bits a los productos de la impresión 3D portátil y sistemas empotrados. (Arduino, 2016)

Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, permitiendo a los usuarios crear de forma independiente y, finalmente, adaptarlos a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto, y está creciendo a través de las contribuciones de los usuarios en todo el mundo. (Arduino, 2016)

Las ventajas que se puede encontrar en este controlador son:

- Open source
- Fácil de programar
- Documentación y tutoriales en exceso
- Librerías
- Diferentes placas
- Periféricos
- Bajo costo



**Figura 17.** Controlador Arduino.

Fuente: (Arduino, 2016)

### 2.8.3. PLC

Un controlador lógico programable (Programmable Logic Controller PLC) es un dispositivo operado digitalmente, que usa memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas como: lógica, secuenciación, registro, control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar entradas y salidas digitales o analógicas, varios tipos de maquinarias o procesos (Siemens, 2016)

Este tipo de controladores son muy utilizados en la Industria, debido a las ventajas que pueden ofrecer:

- Son muy efectivos para controlar y monitorizar sistemas complejos.
- Son flexibles.
- Su capacidad computacional permite diseñar controladores más complejos
- Permiten reducir el tiempo de inactividad del proceso
- Su robustez le permite trabajar en varios ambientes industriales como: humedad, campo magnético, temperaturas extremas y vibraciones
- Tienen gran capacidad de entadas y salidas





**Figura 18.** Ejemplo de controlador lógico programable  
Fuente: (Siemens, 2016)

## 2.9. Interfaz humano-máquina

Los sistemas humano-máquina o con sus siglas en inglés HMI (Human Machine Interface), son sistemas que permiten la interfaz entre la persona y la máquina, se debe desarrollar un sistema óptimo para que las operaciones de control, supervisión, adquisición de datos, estadísticas, diagnósticos de fallos y errores, entre otros, estén de forma más accesible al operario. Por lo cual, se describe a continuación; una de las guías más utilizadas.

### 2.9.1. Descripción de guía GEDIS

La guía GEDIS, está conformada por una serie de sugerencias, que permiten tener una interfaz HMI amigable y de fácil manejo para un operario, esta guía tiene 10 pasos los cuales son: arquitectura, navegación, distribución de pantallas, uso del color, información texto, estatus de los equipos, información y valores de proceso, tablas, comandos e ingresos de datos y alarmas. Conociendo las principales características del sistema y aplicando los pasos necesarios, se puede obtener una interfaz amigable y de fácil manejo para el operario.

La arquitectura es la que permite generar diversas pantallas como: pantalla de procesos, pantalla de comandos, pantalla de configuración, pantalla de tendencias y pantalla de alarmas a las que el usuario puede tener acceso de acuerdo a la aplicación

del sistema, dichas pantallas deben estar debidamente relacionadas entre sí para una fácil navegación.

La distribución de pantallas, de acuerdo a los diferentes elementos que se tiene como: el logo de empresa, alarmas, fecha - hora, título y sinóptico el diagrama de Gutenberg sugiere que lo más importante debe ser colocado siempre en la parte superior con el fin de facilitar el manejo al operario

En la navegación de las pantallas de la interfaz gráfica, debe usarse la combinación de varios botones como: barras de íconos gráficos, menús - submenús, barra de botones, teclas de función, etc., permitiéndole al operario tener un acceso rápido y un fácil manejo entre las diferentes pantallas de la interfaz gráfica.

El uso del color es un punto muy importante, ya que permite proporcionar una información clara y concisa al operario, permitiéndole identificar de manera sencilla las diferentes alarmas, botones de navegación y mensajes de información que posee la interfaz gráfica, al momento de utilizar los diferentes colores se debe considerar que se debe asignar hasta cuatro colores para un operario principiante y máximo de siete colores a un operario experto, estos colores deben ser diferenciables entre ellos y mantener una combinación adecuada.

La información textual es muy importante al momento de informar al operario el estado en el que se encuentra el proceso, por lo que se debe observar las siguientes recomendaciones: el tamaño del texto no debe ser muy pequeño y debe estar debidamente alineado, el texto debe ser claro y conciso utilizando la fuente ser sans serif, no utilizar texto subrayado y sombreado, finalmente el color del texto debe contrastar con los demás colores seleccionados para la interfaz.

Para el estatus de equipos y eventos de procesos, es necesario conocer un estándar internacional mediante el cual se representen todos los elementos del proceso con símbolos e iconos que sean fáciles de reconocer y comprender para el operario, sin colocar símbolos innecesarios que puedan ocasionar la mala manipulación del proceso.

Información y valores de proceso, el mostrar los datos en la interfaz gráfica es de mucha importancia ya que el operario puede verificar el estado en el que se encuentra

el sistema; dichos datos deben ser seleccionados cuidadosamente, ya que algunos podría confundirlos y se deberá mostrar solo los datos que sean estrictamente necesarios para el operario.

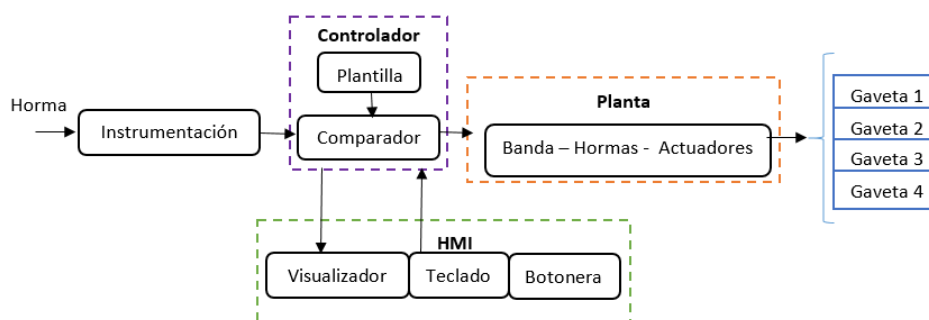
Comandos de ingreso de datos, le permite al operario manipular el proceso de forma directa, de acuerdo a las exigencias del cliente con el fin de alcanzar un objetivo deseado en el transcurso del desarrollo del proceso de producción.

Las alarmas son parte fundamental de la interfaz ya que se puede conocer los diferentes errores que pueden presentarse, informando al operario de forma inmediata para que el mismo pueda tomar acciones correctivas o preventivas a través del sistema o de forma manual.

## CAPÍTULO III

# DISEÑO DEL SISTEMA

Para poder reducir el tiempo de clasificación manual de hormas en la empresa Tecnocalza (apartado 2.2 - Etapa 5), se propone el uso de un sistema automatizado de clasificación de hormas que posee una estructura de bloques con los siguientes componentes: controlador, planta, instrumentación y la interfaz gráfica (HMI), tal como se observa en la figura 19. La instrumentación es la encargada de identificar el número o talla de la horma (vector de características), enviando señales que permitan al controlador determinar acciones apropiadas sobre los actuadores para que realicen la clasificación de las hormas que viajan sobre la banda. El HMI sirve para informar al operario el estado en el que se encuentra el proceso, la interfaz presenta diferentes indicadores (luminosos - numéricos) los cuales dependen de la señal de instrumentación, así como diferentes comandos que son enviados directamente al controlador.



**Figura 19.** Diagrama de bloques del sistema de clasificación de hormas.

En este capítulo se presenta al inicio el diseño mecánico, posteriormente las adecuaciones de los actuadores, controladores e instrumentación necesaria, la conexión del cableado eléctrico, la tubería neumática y la instalación de los diferentes tipos de hardware que se usa para el sistema.

### 3.1. Diseño y adecuación mecánica

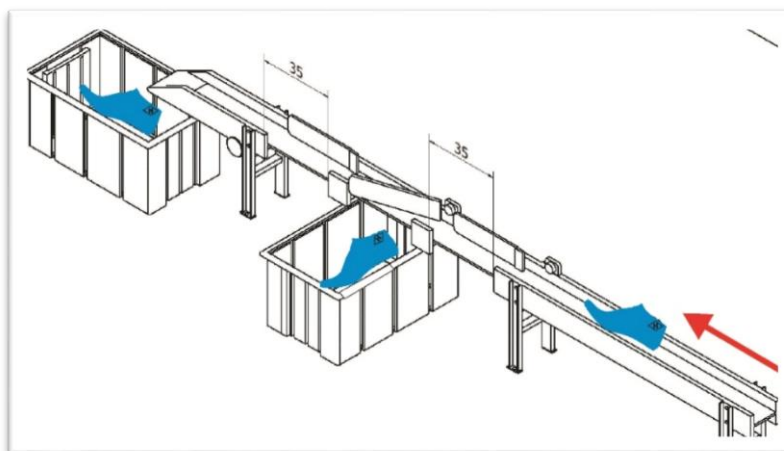
#### 3.1.1. Cortes en la banda

La banda de la empresa Tecnocalza, estaba fabricada para que todas las hormas se desplacen y dirijan a una sola gaveta (ver figura 20) ubicada en el extremo de la misma.



**Figura 20.** Final de la banda donde caen todas las hormas.

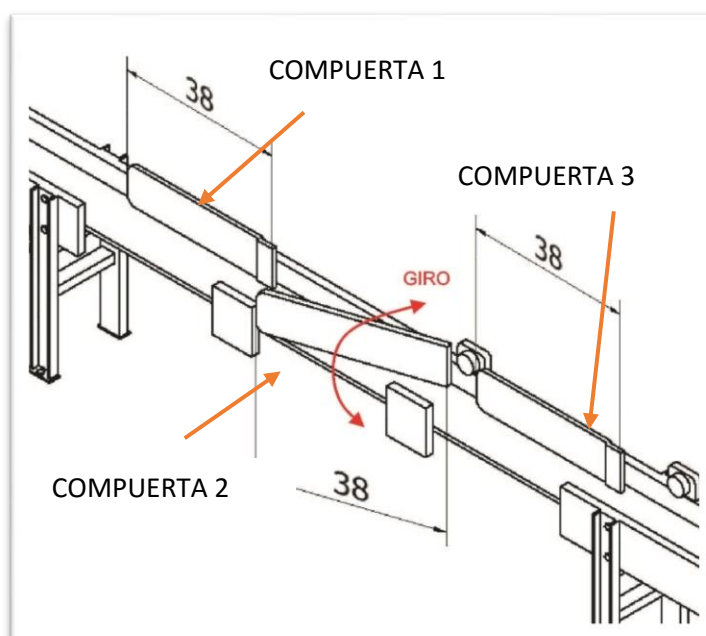
La horma más grande (número 42), tiene una longitud de 25 cm, y por este motivo se propone realizar tres cortes en la banda, con un tamaño de 35 cm de longitud esto asegura que la horma pueda caer a través del corte realizado y no se presente ningún tipo de problema como trabas en la banda, las 3 primeras gavetas son colocadas en la parte inferior y permite la clasificación de las hormas respectivamente, (ver figura 21), la cuarta gaveta queda en la misma posición (al final de la banda).



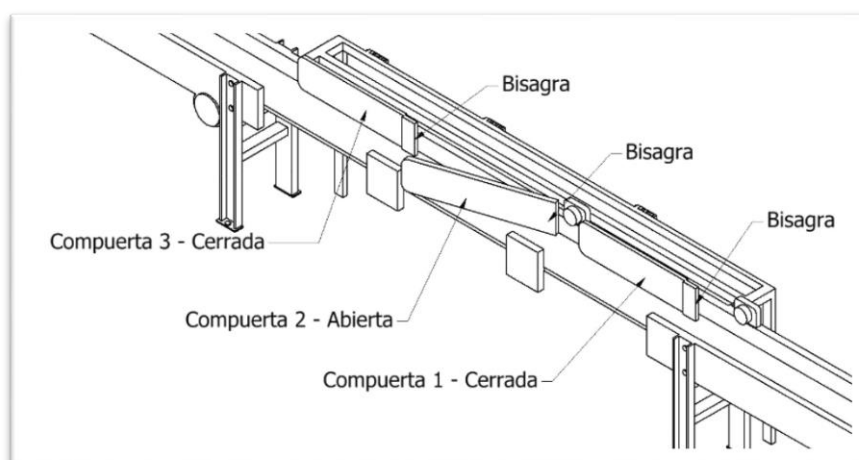
**Figura 21.** Esquema de cortes en la banda.

### 3.1.2. Colocación de compuertas

Es necesario implementar tres compuertas que, cierren y abran dependiendo de la activación de los actuadores, la solución propuesta implica soldar tres compuertas en el lado derecho de la banda, las cuales en un extremo se encuentren sujetas a una bisagra, con una longitud total de 38 cm, que permitan girar la misma (ver figura 22 y 23).

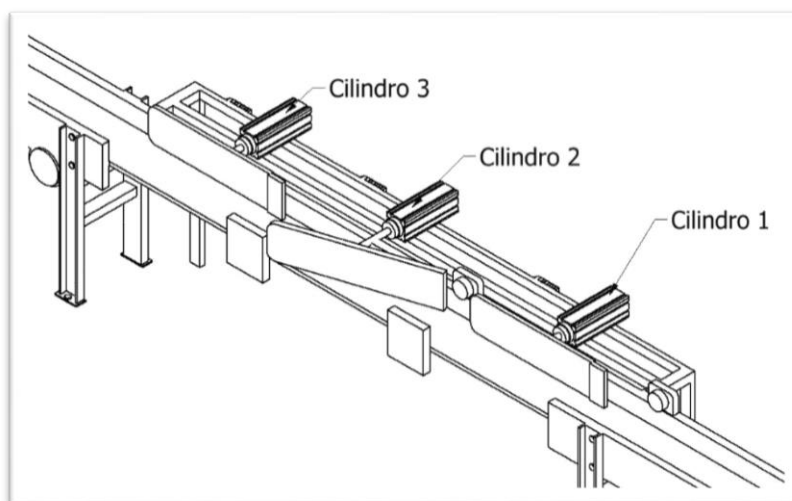


**Figura 22.** Longitud de las compuertas.

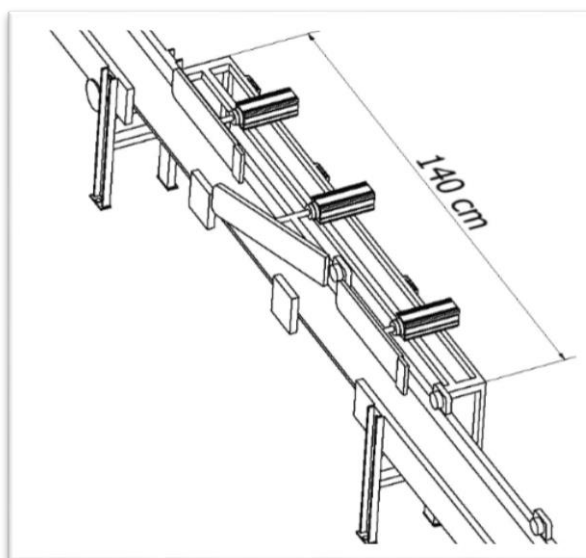


**Figura 23.** Esquema de colocación de las compuertas.

En la mitad de la compuerta se debe soldar el final del actuador (ver figura 24) para que permita su apertura cuando este se active, también se debe construir una base de 140 cm de largo y 20 de ancho, en la cual descansan los actuadores (ver figura 25).



**Figura 24.** Vista esquemática colocación de los actuadores.



**Figura 25.** Vista esquemática largo base.

En el diagrama esquemático del anexo A, se puede observar los elementos que forman parte del sistema automatizado de clasificación de hormas y la modificación en la banda.

### 3.2. Identificación de hormas

Tecnocalza dispone de 20 modelos diferentes, y 30 hormas por modelo esto hace un total de 600 hormas que se necesita clasificar, se usa el sistema de RFID en ventaja al sistema de código de barras; ya que por el número de hormas el sistema va a ser totalmente inalámbrico y automático, la forma en la que se va a clasificar se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.**

Clasificación de hormas según su talla

<i>Talla</i>	<i>Gaveta de clasificación</i>
37	Gaveta 1
38	Gaveta 2
39	Gaveta 3
40	Gaveta 4
41	Gaveta 2
42	Gaveta 1

Las tallas 37 y 42 se ubican en la misma gaveta (número 1), ya que es muy fácil para el operario diferenciar entre estos dos tipos de hormas por el tamaño que tienen las mismas, este modo de clasificación se lo aplica también para las tallas 38 y 41 que se ubican en la gaveta 2.

#### 3.2.1. Lector RFID

Existen gran variedad de sensores en el mercado por lo cual se evalúa dos de los más usados en la industria para este tipo de acciones, como se puede observar en la tabla 5.

El sensor Fotoeléctrico RFID ID20-LA (ver figura 26), se basa en la capacidad de detección de las etiquetas, ubicado en la parte interior de la horma la cual devuelve la salida correspondiente, vía comunicación serial directo al controlador.



**Tabla 5.**

Características de los sensores comerciales

<i>Sensor/Características</i>	<i>Lector RFID ID20-LA</i>	<i>F2 Lector RFID</i>
<i>Marca</i>	Inovation	Honeywell
<i>Distancia de Detección</i>	Hasta 15 cm	Hasta 1 Metro
<i>Salida</i>	RS232	RS232 –RS485-ASCCI
<i>Frecuencia</i>	125kHz	902-928 MHz
<i>Alimentación</i>	2.8 - 5VDC	12 VDC
<i>Precio</i>	\$55 dólares	\$265 dólares

**Figura 26.** Lector RFID ID-20LA.

### 3.2.2. Etiquetas RFID

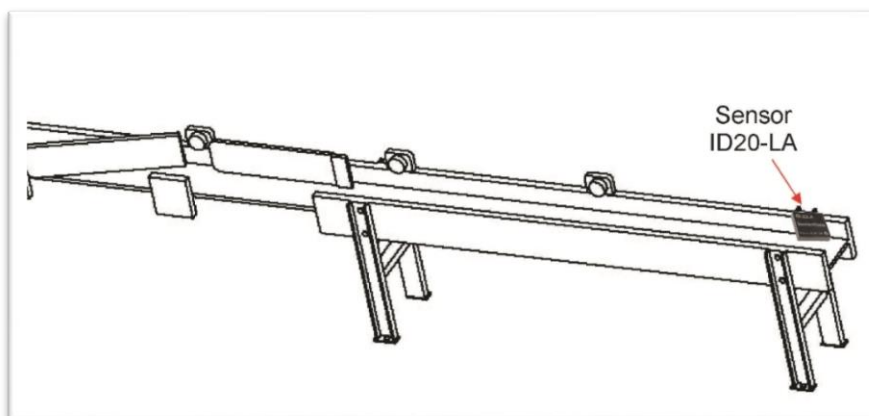
Se trata de una etiqueta RFID (ver figura 27) que se utiliza para la detección e identificación de artículos. La etiqueta RFID en el rango de 125 kHz RF. La etiqueta viene con una ID única de 32 bits y es re-programable, consta con una memoria EEPROM de 128 bits.



**Figura 27.** Etiqueta RFID - 128 bits.

Fuente: (Ilyas, 2012)

La etiqueta va colocada en la parte superior de la horma, estableciendo un rango de lectura de aproximadamente 15 cm. Esta etiqueta se lee desde el sensor ID20-LA cuando el operario coloca la horma en el inicio de la banda (ver figura 28). El modelo de la etiqueta es el EM4001, que es una etiqueta pasiva y regrabable.



**Figura 28.** Ubicación del sensor ID20-LA.

### 3.2.3. Grabado de la tarjetas

Se usa un grabador (writer) (ver figura 29) que tiene conexión para trabajar bajo la plataforma Windows, y así poder grabar los datos de los diferentes modelos y tallas en cada una de las etiquetas para su posterior colocación en las hormas. Los modelos, tallas, y cantidades de las diferentes hormas que Tecnocalza posee se puede observar

en el anexo D. Se usa una codificación en binario por modelo que también se puede ver en el mismo anexo.



**Figura 29.** Grabador 125 kHz.

### **3.3. Diseño del sistema actuador**

Para el desarrollo del sistema actuador se necesita comparar las características de los distintos tipos de actuadores, por lo cual es necesario realizar una tabla comparativa entre los mismos (ver tabla 6). Se propone el uso de un sistema neumático debido a las mejores prestaciones (mayor puntuación) que presenta el mismo, el cual consta de varios elementos: actuadores, electroválvulas, compresor, los cuales van a permitir realizar el proceso de clasificación de la banda transportadora hacia las diferentes gavetas ubicadas en la parte lateral de la banda.

El largo de la banda es de 3.6 m, con un ancho de 0.16 m, para una correcta clasificación se debe de manejar 4 gavetas, 3 de las cuales se encuentran ubicadas en el lateral de la banda, y la última será ubicada al extremo final de la misma. Este sistema es accionado por el controlador dependiendo de las señales que envíen los sensores.

#### **3.3.1. Actuador neumático**

Uno de los factores más importantes por lo cual se decide utilizar los actuadores neumáticos, es porque la empresa Tecnoalza tiene instalado tomas de aire a lo largo de todas sus instalaciones y esto facilita la implementación de los mismos, haciendo que uno de los recursos (alimentación neumática) que necesita el sistema esté disponible y sea de bajo costo, otra razón es que la mayoría de sistemas de clasificación utilizan este tipo de actuadores.

El sistema actuador consta de 3 pistones, los cuales activan las compuertas dependiendo de la clasificación que el sistema RFID envíe al controlador. El sistema posee 4 gavetas en las cuales se va a hacer la clasificación, la última no dispone de actuador ya que se coloca al final de la banda para que la horma caiga en ésta.

Se utiliza actuadores neumáticos ya que poseen rapidez y así cerrar las compuertas que permitan que las hormas caigan en su gaveta correspondiente de forma inmediata a la activación.

Las características técnicas que el actuador debe tener son las listadas a continuación:

- Actuador de doble efecto, este tipo de actuador permite tener el control de la salida y retorno del vástago.
- Carrera mínima 13 cm, debido a que este es el ancho de la banda.
- Presión de trabajo mínima debe ser de 6 Bar, ya que esta es la presión que se encuentra en la línea principal.

Existen diversas marcas en el mercado, las cuales se adaptan a las necesidades del sistema, por lo cual se elabora una tabla (ver tabla 7) comparativa que permite identificar las principales características de las marcas seleccionadas. El principal factor para elegir actuadores neumáticos de la marca XCPC es el costo en el mercado, ya que presentan las mismas prestaciones, características técnicas y garantías con respecto a las otras marcas.

**Tabla 6.**

Cuadro comparativo de las marcas de actuadores neumáticos

<i>Marca/</i>	<i>PT</i>	<i>Max. O</i>	<i>Min. O</i>	<i>T</i>	<i>C</i>	<i>G</i>
<i>Característica</i>						
<i>FESTO</i>	5 Bar	11 Bar	5 Bar	8 a 80 C	\$120	SI
<i>XCPC</i>	6 Bar	10 Bar	3 Bar	-5 a 70 C	\$50	SI
<i>SMC</i>	6 Bar	12 Bar	4 Bar	5 a 70 C	\$90	SI

**PT** = Presión de Trabajo

**Máx. O** = Presión máxima de operación

**T** = Temperatura de trabajo

**Mín. O** = Presión mínima de operación

**C** = Costo

**G** = Garantías

El actuador seleccionado de marca XCPC, dispone de las características mostradas en la tabla 8.

**Tabla 7.**  
Características del actuador neumático XCPC

<i>Descripción</i>	<i>Características</i>
<i>Marca</i>	XCPC
<i>Modelo</i>	DNC 32X160-S
<i>Tipo</i>	Doble efecto
<i>Presión de Compresión</i>	1.5MPa
<i>Máxima presión de operación</i>	1.0MPa
<i>Mínima presión de operación</i>	0.1MPa
<i>Temperatura</i>	-5-70°C
<i>Velocidad de operación</i>	50-800mm/s

### 3.3.2. Cuadro comparativo entre los diferentes tipos de actuadores

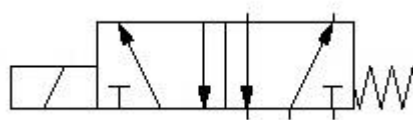
**Tabla 8.**  
Ventajas y desventajas de los actuadores

<i>Descripción</i>	<i>Neumático</i>	<i>Hidráulico</i>	<i>Eléctrico</i>
<i>Precisión</i>	3	5	5
<i>Velocidad</i>	5	2	4
<i>Limpieza</i>	5	1	4
<i>Ruidoso</i>	3	2	3
<i>Mantenimiento Posterior</i>	5	1	4
<i>Dificultad de Control</i>	5	5	5
<i>Costo</i>	4	2	3
<b><i>TOTAL</i></b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>28</b>

<i>Precisión</i>	<i>Velocidad</i>	<i>Limpieza</i>	<i>Ruidoso</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Control</i>	<i>Costo</i>
<i>Muy Preciso -5</i>	No tan rápidos - 1	Difícil - 1	Alto ruido -1	Difícil - 1	Difícil - 1	Alto - 1
<i>No tan precisos - 1</i>	Rápidos - 5	Sencilla - 5	Bajo ruido -5	Sencillo - 5	Sencillo -5	Bajo - 5

### 3.3.3. Electroválvula 5/2 NC

De acuerdo al actuador especificado anteriormente, la electroválvula que se utiliza tendrá dos posiciones y 5 vías, su activación será mediante un solenoide (110 V) mientras que su retorno será por muelle, la electroválvula debe soportar una presión de trabajo máxima de 1 Mpa ya que es la presión a la que trabaja el actuador, este tipo de electroválvulas son usadas con frecuencia para la activación de actuadores de doble efecto, posee dos estados los cuales son cerrado y abierto, de esta forma se puede garantizar la activación de los actuadores y de prevenir algún tipo de contratiempo.



**Figura 30.** Electroválvula 5/2.

Existen diversas marcas en el mercado, las cuales se adaptan a las necesidades del actuador, por lo cual se elabora una tabla (ver tabla 9) comparativa que permite identificar las principales características de las marcas seleccionadas.

**Tabla 9.**

Cuadro comparativo de las marcas de electroválvulas

<i>Marca/ Característica</i>	<i>Presión</i>	<i>Activación</i>	<i>Retorno</i>	<i>Vías</i>	<i>Costo</i>
<b>FESTO</b>	5 Mpa	Solenoide	Muelle	5/2	\$90
<b>FLUIDTEC</b>	6 Mpa	Solenoide	Muelle	5/2	\$35
<b>SMC</b>	6 Mpa	Solenoide	Muelle	5/2	\$55

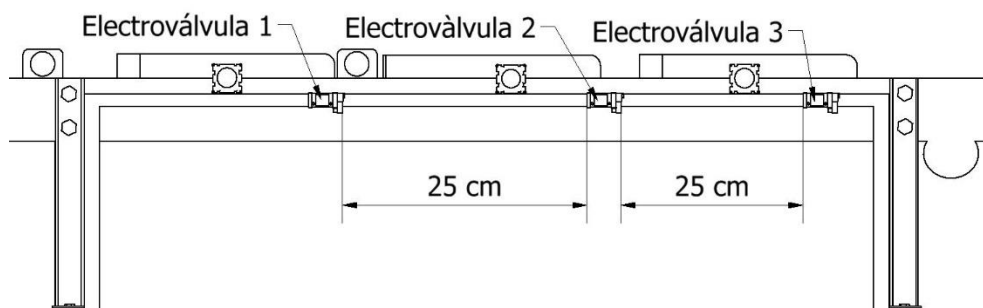
La electroválvula que se selección es de marca Fluidtec y dispone de las características mostradas en la tabla 10. Se puede observar el diagrama de conexión neumático en el anexo B.

**Tabla 10.**

Cuadro de características de la electroválvula Fluidtec

<i>Características</i>	<i>Valor</i>
<i>Modelo</i>	4V210-08
<i>Voltaje de Trabajo</i>	AC 110 V
<i>Presión de Trabajo</i>	0.05 – 1.0 Mpa
<i>Accionada por</i>	Solenoide
<i>Retorno Por</i>	Muelle
<i>Estado inicial</i>	Normalmente abierta
<i>Vías</i>	5/2

Las electroválvulas son colocadas en la misma base que sostiene al actuador con una separación entre ellas de 25 cm (ver figura 31).



**Figura 31.** Esquema ubicación de las electroválvulas.

### 3.4. Instrumentación

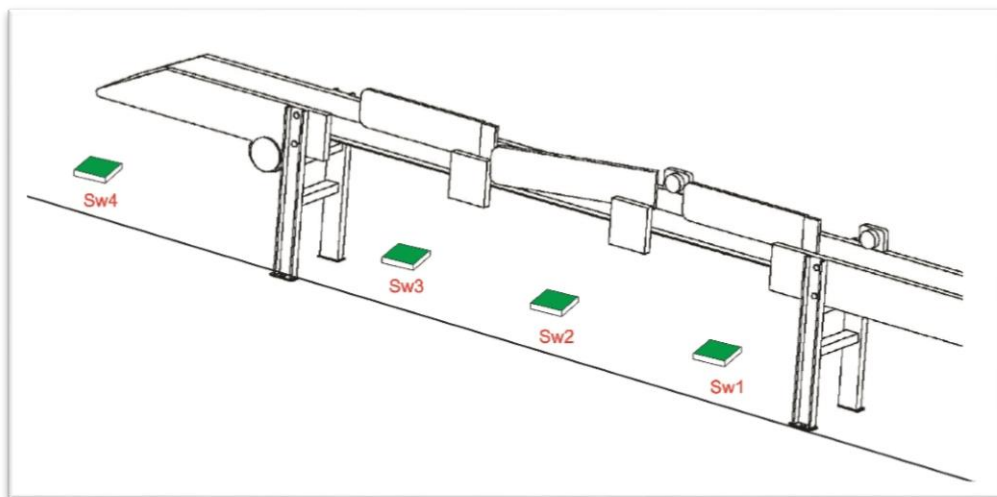
Para determinar el estado del sistema es necesario conocer si las gavetas se encuentran en la posición adecuada y además la detección de la horma (ubicación de la misma). El sistema de instrumentación también se encarga de la detección de posibles fallas generadas por varios factores como: pérdida de la horma, horma atascada y gavetas fuera de sitio.

### 3.4.1. Presencia de gavetas para hormas

El sensor mecánico permite conocer que las gavetas se encuentren en posición al momento de realizar la clasificación, para esto se usa un sensor tipo switch (ver figura 32) el cual es colocado en la base de cada una de las gavetas, dicho sensor tiene dos posiciones cerrado – Gaveta en posición y abierto – Gaveta fuera del lugar, en la primera posición el sensor entrega una señal eléctrica de 24 V, la cual está conectada a una entrada del controlador lo cual permite conocer el estado de las 4 gavetas.



**Figura 32.** Sensor mecánico.



**Figura 33.** Ubicación de los sensores mecánicos.

### 3.4.2. Detección de gaveta llena

Para conocer si la gaveta se encuentra llena (ver figura 34), se utiliza la activación de los actuadores mediante los cuales se realiza el conteo del número máximo de hormas que puede tener cada gaveta (22 hormas), dicho conteo se lo realiza en el software, para poder informar al usuario que gaveta se encuentra llena y proceda a



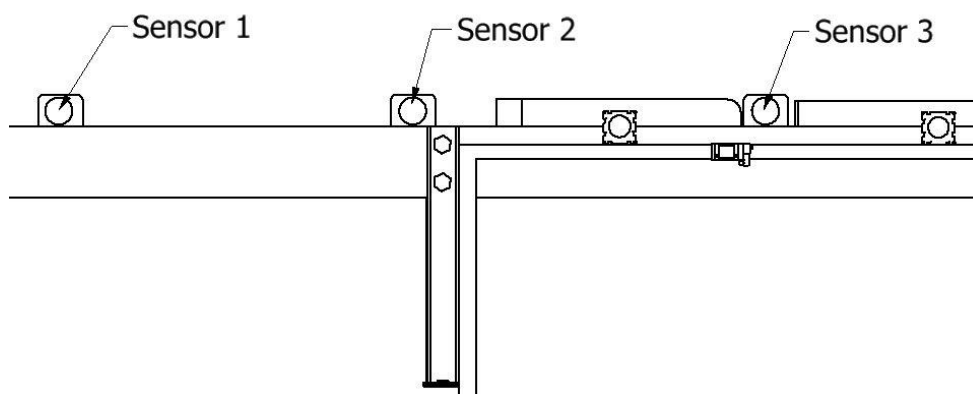
retirarla, el sistema no puede continuar con su funcionamiento normal hasta que se coloque nuevamente la gaveta en su respectiva posición.



**Figura 34.** Ubicación de las gavetas.

### 3.4.3. Alarmas del sistema

Para la detección de la horma, se propone el uso de un sensor infrarrojo, de rango de detección ajustable, se usa el sensor en modo switch ON/OFF (ver figura 37) el sensor es colocado en la parte lateral de la banda (ver figura 35) para no obstaculizar ningún elemento, permitiéndose una mejor manipulación de los mismos.



**Figura 35.** Posición esquemática de los sensores ópticos.



**Figura 36.** Sensor Infrarrojo de Presencia.

Existen diversas marcas en el mercado, las cuales se adaptan a las necesidades del sistema de instrumentación, por lo cual se elabora una tabla (ver tabla 11) comparativa que permite identificar las principales características de las marcas seleccionadas.

**Tabla 11.**

Cuadro comparativo de los tipos de sensores infrarrojos

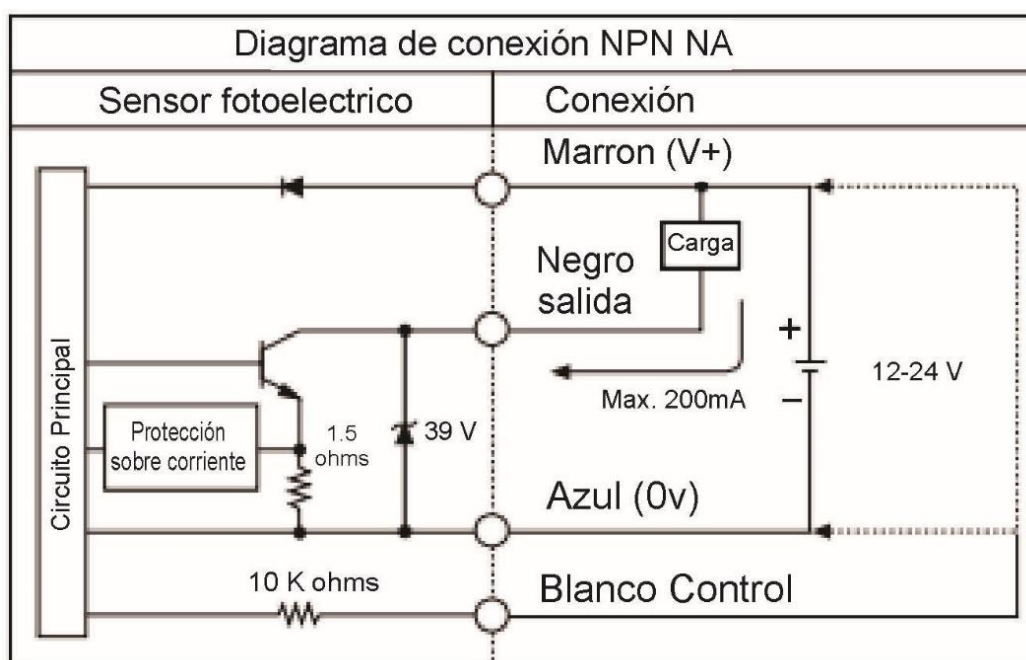
<i>Marca/ Característica</i>	<i>Tipo</i>	<i>Voltaje de trabajo</i>	<i>Rango</i>	<i>Costo</i>
<b>AUTONICS</b>	PRDWT30-25	12 - 24 V	0 a 1.7 cm	\$75
<b>GRAINGER</b>	BR100-DDT	12 - 24 V	0.5 a 10 cm	\$20
<b>OMEGA</b>	OS137	0 - 5 V	0 a 24 cm	\$150

El sensor infrarrojo que se usa es de la marca Groninga y dispone de las características, tal como se observa en la tabla 12.

**Tabla 12.**

Tabla de especificación del sensor grainger BR100-DDT

Conexión	NPN NA
Voltaje de trabajo	12 - 24 V
Tiempo de Respuesta	Max. 1 ms
Corriente de trabajo	45 mA
Rango de detección	0.5 a 10 cm
Diámetro	24 mm

**Figura 37.** Diagrama de conexión sensor BR100-DDT

### 3.4.4. Descripción de alarmas

El sistema tiene cuatro tipos de alarmas, las cuales son de gran importancia al momento de informar al operario el estado en el que se encuentra el sistema y la horma. La primera alarma se activa cuando una de las cuatro gavetas no se encuentra en posición, evitando de esta forma que las hormas caigan al piso, si esta alarma es activada el sistema no puede continuar hasta que la gaveta faltante vuelva a su lugar. La segunda alarma permite identificar en que tramo se atascó la horma y de esta forma el operario podrá retirarla, para que el sistema continúe con su funcionamiento normal. La tercera alarma informa al operario que gaveta es la que se encuentra llena para que pueda retirarla, el sistema no continuara con su funcionamiento normal hasta

que la gaveta sea colocada nuevamente en su posición. La cuarta alarma se activa cuando algún objeto extraño ingrese a la banda transportadora, de esta forma el operario podrá conocer la zona en la que se encuentra el objeto extraño para que pueda tomar las acciones correctivas correspondientes.

### **3.5. Diseño del panel de control**

Para un correcto manejo del sistema es necesario que el operario pueda visualizar los diferentes parámetros y tomar acciones sobre el sistema, la solución propuesta es la de implementar un visualizador touch, teclado y botonera (inicio, paro, reset, modo de trabajo).

En el diseño del panel de control, se considera el tamaño de los elementos que forman el panel de control: panel touch, selector y tres pulsadores de diferentes colores (rojo, verde, azul), una vez conocidas las dimensiones de dichos elementos se dimensiona el tamaño del panel de control para el sistema. Se utiliza una caja metálica de 20cm x 20cm x 10cm, con un grado de protección IP 55 7 (resistente al polvo, a chorros de agua de baja presión y a golpes de energía menores a 6 julios), en la cual se ubican todos los elementos que forman el panel de control (ver figura 38).

Existen visualizadores de diversas marcas en el mercado, las cuales se adaptan a las necesidades del cliente (Tecnocalza, requiere poder observar talla, modelo y si la gaveta llena o no), por lo cual se elabora un tabla (ver tabla 13) comparativa que permite identificar las principales características de las marcas seleccionadas.

El visualizador que se selecciona es de la marca Siemens y dispone de las características mostradas en la tabla 14.

**Tabla 13.**

Cuadro comparativo de los tipos de visualizadores.

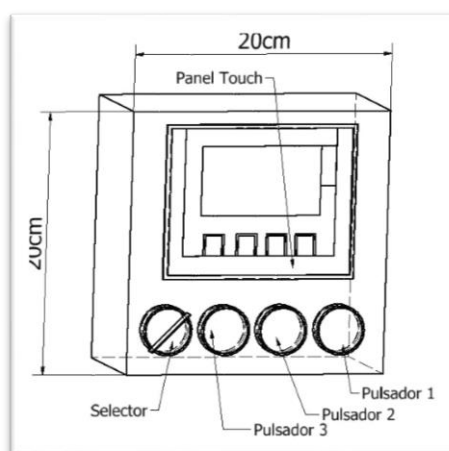
<i>Marca/ Característica</i>	<i>Tipo</i>	<i>Voltaje de trabajo</i>	<i>Pulgadas</i>	<i>Costo</i>
<i>Siemens</i>	KTP 400 basic	24 V	4.3	\$156
<i>Alan Bradley</i>	2711-T10G3 AB	12 - 24 V	5	\$250

**Tabla 14.**

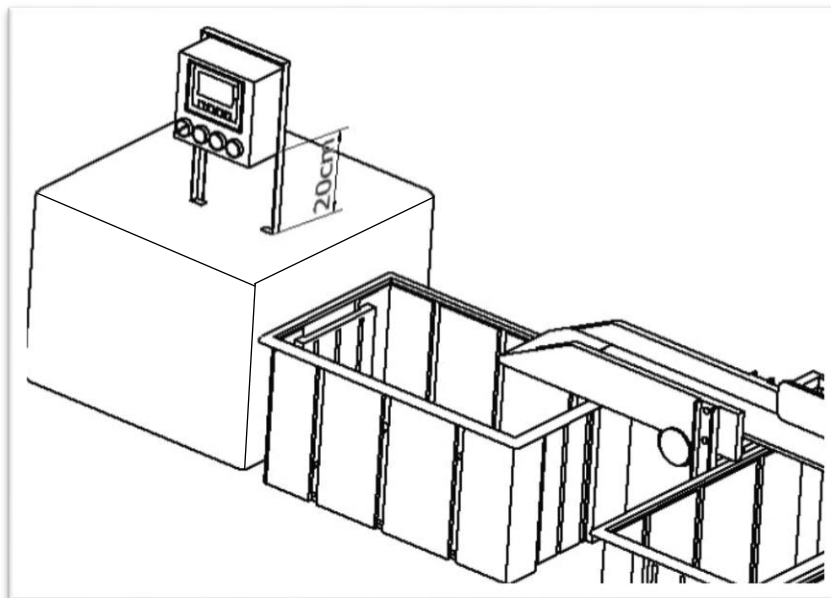
Tabla de especificaciones del visualizador Siemens KTP 400 basic.

***Siemens KTP 400 basic.***

<i>Voltaje de trabajo</i>	24 V
<i>Conexión</i>	Ethernet
<i>Colores</i>	256, 4 niveles de grises
<i>Teclas de función dedicadas</i>	Si, 4 teclas
<i>Retroiluminación</i>	Si, Pantalla Led
<i>Tipo</i>	Táctil
<i>Peso</i>	

**Figura 38.**Panel de control.

El panel de control se coloca al lado izquierdo de la banda transportadora con una base de 20cm, por su mejor visibilidad y fácil acceso al operario (ver figura 39).



**Figura 39.** Ubicación del panel de control.

### 3.6. Diseño del controlador

Para poder automatizar el sistema de clasificación de hormas, la activación de los actuadores y la comunicación la instrumentación, se requiere un controlador que posea activaciones de 24 V, así como lectura de sensores, por lo que se determina la necesidad de entradas y salidas de acuerdo al número de elementos que posee nuestro sistema, tal como se observa en la tabla 15.

**Tabla 15.**

Cuadro de entrada – salidas del sistema

<i>Ítem</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>
<i>Entrada RS-232 Serial</i>	1	Sistema RFID
<i>Entrada Digital</i>	4	Sensores de Presencia Gavetas
<i>Entrada Digital</i>	3	Sensores de Presencia Hormas
<i>Entrada Digital</i>	3	Botonera (Emergencia – Start - Stop)
<i>Salida Digital</i>	4	Electroválvulas

Ya que se cuenta con un ambiente de trabajo industrial, una de las características del controlador es que debe ser robusto. Existen controladores de diversas marcas en el mercado, el controlador las cuales se adaptan a las necesidades del sistema, por lo cual se elabora una tabla (ver tabla 16) comparativa que permite identificar las principales características de las marcas seleccionadas.

**Tabla 16.**

Cuadro comparativo de los tipos de controladores

<i>Marca/ Característica</i>	<i>Tipo</i>	<i>Entradas</i>	<i>Salidas</i>	<i>Costo</i>
<b>SIEMENS</b>	S7 -1200	14 digitales	10 digitales	\$690
<b>LG</b>	K1205	12 digitales	8 digitales	\$500
<b>ALLEN BARDLEY</b>	SLC 5/03	16 digitales	12 digitales	\$1200

El controlador que se selecciona es el PLC Siemens S7-1200 CPU 1214, debido a la robustez, bajo costo y de fácil adquisición en el mercado local, las características del controlador son mostradas en la tabla 17.

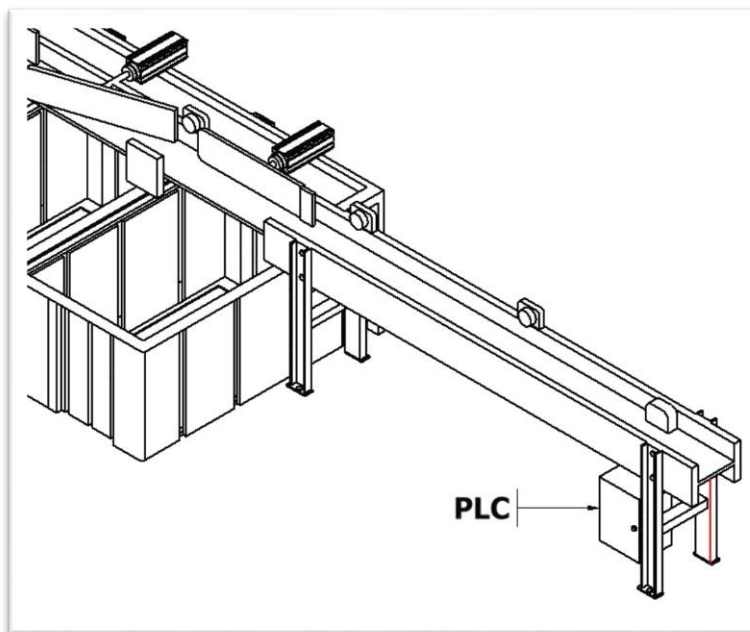
**Tabla 17.**

Características del PLC s7 - 1200

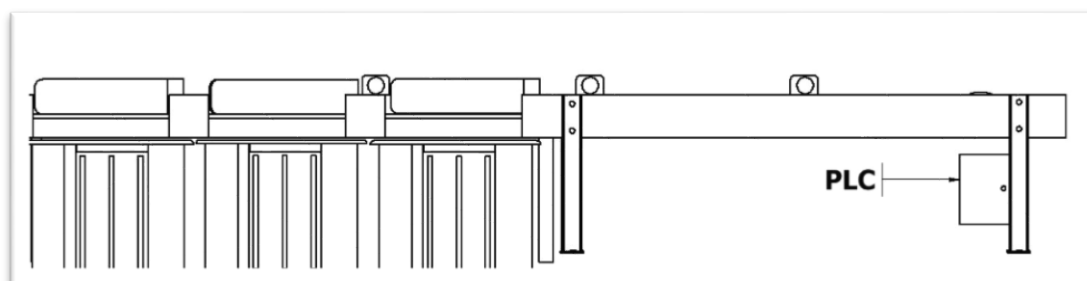
<i>Ítem</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>
<i>Entrada RS-232 Serial</i>	1	Sistema RFID
<i>Entrada Digital E1 – E4</i>	4	Sensores de Presencia Gavetas
<i>Entrada Digital E5 - E7</i>	3	Sensores de Presencia Hormas
<i>Entrada Digital E8 – E10</i>	3	Botonera (Emergencia – Start - Stop)
<i>Salida Digital S1-S4</i>	4	Electroválvulas

### 3.6.1. Ubicación del controlador

El controlador Siemens está ubicado en la parte inferior de la banda a un lado de sensor ID-20LA, como se muestra en las figuras 40 y 41.



**Figura 40.** Ubicación del controlador.

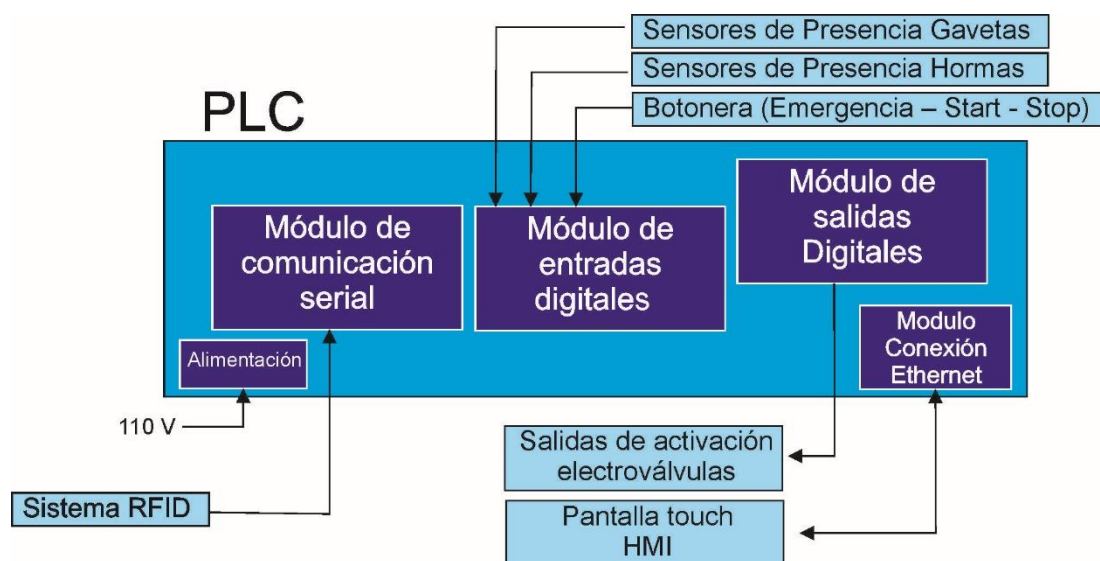


**Figura 41.** Vista frontal de la ubicación del controlador.

### 3.6.2. Diagrama de bloques y conexión eléctrica del PLC

De acuerdo al diagrama eléctrico de entradas y salidas del controlador Siemens S7-1200 (ver anexo D y E) se elabora un diagrama de bloques mostrado en la figura 42.





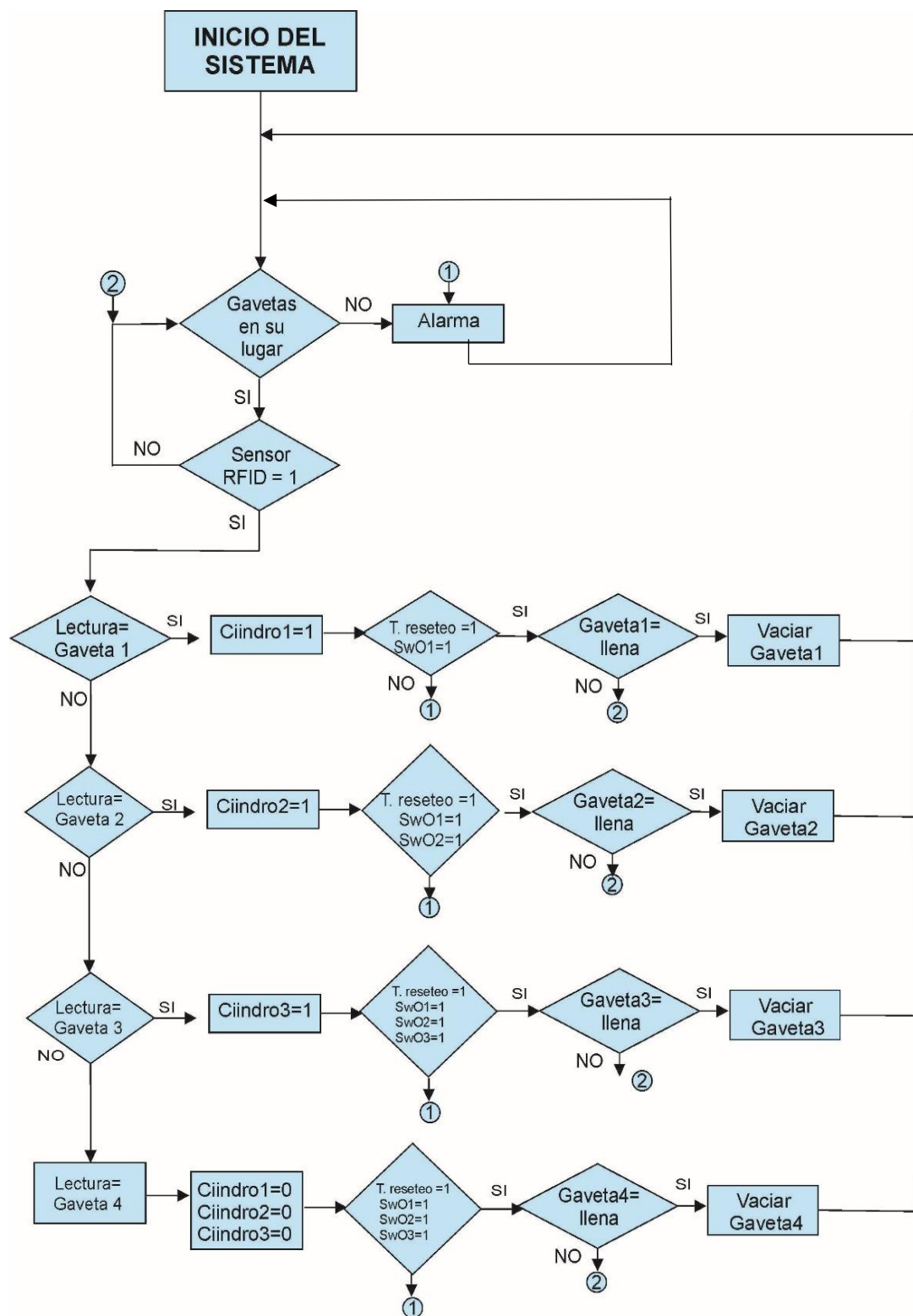
**Figura 42.** Diagrama de bloques entrada/salidas al PLC.

### 3.6.3. Descripción del sistema y diagrama de flujos

En la figura 43 se define el diagrama de flujo del programa, y una breve descripción del mismo para un mejor entendimiento. El programa del PLC comienza detectando la etiqueta que tiene cada horma, si la etiqueta es válida esta información es enviada al PLC para su lectura por el puerto serial, una vez validado la identificación de la etiqueta RFID, el PLC decide a que gaveta debe ir la horma sensada, la electroválvula correspondiente se activa y el actuador neumático sale para cerrar la compuerta.

La horma hace su recorrido por la banda transportadora activado los sensores de presencia que se tendrán a lo largo de la banda, cuando llegue al sensor correspondiente, un actuador se activa cerrando el paso por la banda y abriendo la compuerta correspondiente para que la horma caiga en la gaveta adecuada,

Cuando la gaveta se llene un aviso se presenta en el panel, para que el operario se dirija a la gaveta correspondiente, retire y cambie la misma para que el proceso pueda continuar, si la gaveta no está en su sitio, el sensor no la detecta y el PLC envía un aviso de error.



**Figura 43.** Diagrama de flujo del control del sistema de clasificación de hormas.

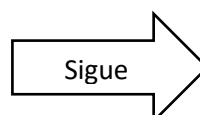
### 3.6.4. Cuadro de variables del PLC

En la tabla 18 se presenta la configuración de las variables usadas en el PLC para la programación.

**Tabla 18.**

Variables usadas en la programación.

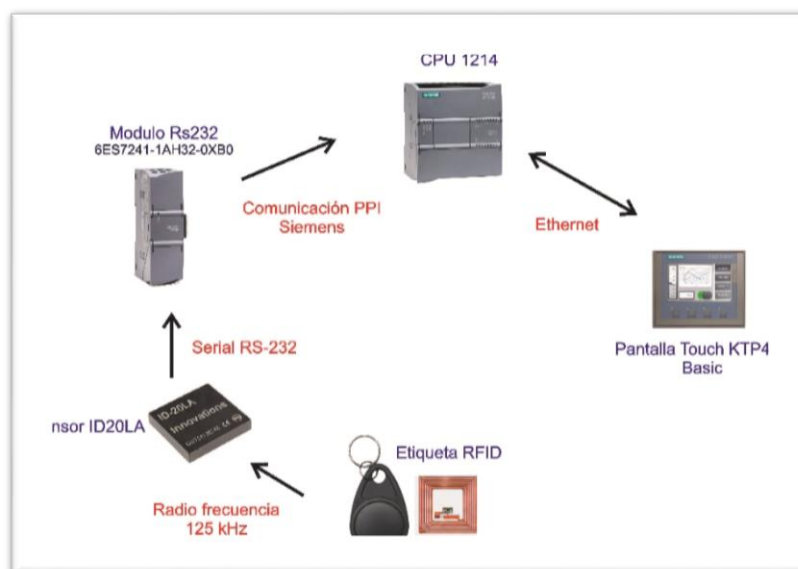
<i>Variables del programa</i>		
<i>Nombre</i>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
<i>Inicio</i>	Bool	%I0.0
<i>Paro</i>	Bool	%I0.1
<i>Reset</i>	Bool	%I0.2
<i>Sensor 1</i>	Bool	%I0.3
<i>Sensor 2</i>	Bool	%I0.4
<i>Sensor 3</i>	Bool	%I0.5
<i>Switch 1</i>	Bool	%I0.6
<i>Switch 2</i>	Bool	%I0.7
<i>Switch 3</i>	Bool	%I1.0
<i>Actuador 1</i>	Bool	%Q0.0
<i>Actuador 2</i>	Bool	%Q0.1
<i>Actuador 3</i>	Bool	%Q0.3
<i>Gaveta 1</i>	Bool	%M0.1
<i>Gaveta 2</i>	Bool	%M0.2
<i>Gaveta 3</i>	Bool	%M0.3
<i>Gaveta 4</i>	Bool	%M0.4
<i>Switch 4</i>	Bool	%I1.1
<i>Gavetas en posición</i>	Bool	%M1.2
<i>Sensor rfid lector rfid</i>	Bool	%M1.4
<i>Comparación 1</i>	Bool	%M1.6
<i>Comparación 2</i>	Bool	%M1.7
<i>Comparación 3</i>	Bool	%M2.0
<i>Comparación 4</i>	Bool	%M2.1
<i>Tiempo-C1</i>	Bool	%M2.2
<i>bobina- actv-1</i>	Bool	%M2.5
<i>Tiempo-C2</i>	Bool	%M2.3
<i>Tiempo-C3</i>	Bool	%M2.4
<i>bobina- actv-2</i>	Bool	%M2.6
<i>bobina- actv-3</i>	Bool	%M2.7
<i>Cont-Gave-1</i>	Bool	%M3.0
<i>Cont-Gave-2</i>	Bool	%M3.1
<i>Cont-Gave-3</i>	Bool	%M3.2
<i>Cont-Gave-4</i>	Bool	%M3.3
<i>Alarma zona 1</i>	Bool	%M3.4
<i>Alarma zona 2</i>	Bool	%M3.5



<i>Alarma zona 3</i>	Bool	%M3.6
<i>T-alarm-1</i>	Bool	%M31.0
<i>T-alarm-2</i>	Bool	%M4.0
<i>T-alarm-3</i>	Bool	%M4.1
<i>Total de Pares</i>	Int	%MW11
<i>Prog_inicio</i>	Bool	%M4.3
<i>dato_serial</i>	DWord	%MD5
<i>Talla</i>	Int	%MW6
<i>aux_gav1</i>	Bool	%M4.4
<i>aux_gav1(1)</i>	Bool	%M4.5
<i>aux_gav1(2)</i>	Bool	%M4.6
<i>aux_gav1(3)</i>	Bool	%M4.7
<i>aux_gav1(4)</i>	Bool	%M9.0
<i>aux_gav1(5)</i>	Bool	%M9.1
<i>Modo de trabajo</i>	Bool	%I1.3
<i>Actuador 4</i>	Bool	%M5.0
<i>Tiempo-C4</i>	Bool	%M5.1
<i>bobina-actv-4</i>	Bool	%M5.2
<i>tiempox</i>	Bool	%M9.2
<i>alarma-aux1</i>	Bool	%M9.3
<i>alarma-aux2</i>	Bool	%M9.4
<i>alarma-aux3</i>	Bool	%M9.5
<i>Paro-sistema</i>	Bool	%M9.6
<i>Cueta_gav1</i>	Int	%MW22
<i>Cueta_gav2</i>	Int	%MW24
<i>Cueta_gav3</i>	Int	%MW26
<i>Cueta_gav4</i>	Int	%MW28
<i>alarma_gaveta</i>	Bool	%M30.0
<i>Alarma Zonal</i>	Bool	%M32.0
<i>Falla en el sistema</i>	Bool	%M32.1

### 3.7. Diseño del sistema de comunicación

Todo el sistema está comunicado por medio de diferentes tipos de tecnologías (ver figura 44); es debido a esto, que se usa dos módulos extras al PLC S7-1200 los cuales van a ser los encargados de mantener la comunicación entre los diferentes elementos de hardware.



**Figura 44.** Diagrama de comunicación del sistema.

### 3.7.1. Módulo ethernet

Este módulo (ver figura 45) es el encargado de establecer la comunicación entre la pantalla Simatic HMI y el autómata programable, lo que hará posible la visualización del sistema en funcionamiento y el control por parte del operario.



**Figura 45.** Módulo ethernet S7-1200

Fuente:(Siemens, 2016)

### 3.7.2. Módulo de comunicación Serial

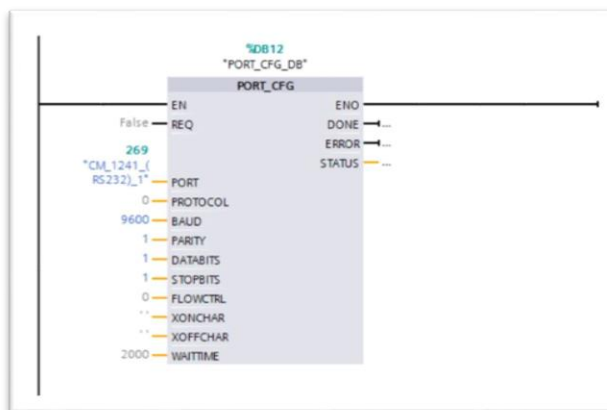
El módulo Siemens (6ES7241-1AH32-0XB0) (ver figura 46), permite realizar la comunicación entre el controlador PLC y el sensor ID20LA, el cual permite el intercambio de datos de manera serial a través de conexiones punto a punto.



**Figura 46.** Módulo RS232- Siemens (6ES7241-1AH32-0XB0)

Fuente: (Siemens, 2016).

Este módulo se encarga de leer los datos de los etiquetas RFID, y enviarlos al PLC, para esto primero se inicia el módulo con los parámetros del sensor ID-20LA (ASCII - 9600 Baud, sin paridad, 1 bit de parada), como se puede observar en la figura 47, teniendo una entrada en comunicación serial; la cual proporciona datos en formato ASCII que posteriormente en el programa se transforma a una variable del tipo string, y de esta forma se puede trabajar con ella en las comparaciones.



**Figura 47.** Configuración del puerto serial para la comunicación.

### 3.8. Diseño del sistema eléctrico

Para el diseño eléctrico del sistema, se considera todas las alimentaciones tanto de los actuadores, sensores y controladores representados en el plano P&ID (ver anexo F). Se observa que las entradas del PLC están conectadas a cada una de los sensores, pulsadores del sistema, estas trabajan a 24 V. Las salidas del PLC a relé están conectadas únicamente a las electroválvulas que son las encargadas de activar los actuadores.

#### 3.8.1. Conexión eléctrica del sistema

Para poder realizar las diferentes conexiones eléctricas se utiliza 150 m (ver anexo G) de cable flexible GPT-TW # 16 AWG de color rojo, dichas conexiones fueron realizadas entre los diferentes sensores y actuadores que posee el sistema, se puede ver la lista de elementos que se utiliza en el diseño eléctrico del sistemas (ver tabla 19).

**Tabla 19.**

Tabla de elementos eléctricos utilizados en el sistema

<i>Elemento</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Gráfico</i>
<i>GPT-TW # 16 AWG</i>	150 m	
<i>Cable UTP</i>	8 m	
<i>Manguera - canaleta</i>	10 m	

*Tablero Principal*

1 unid



*Tablero Secundario*

1 unid



*Pulsadores*

3 unid



*Selector*

1 unid



*Panel Touch Siemens*

1 unid



*PLC Siemens S7 - 1200*

1 unid





*Sensor Infrarrojo de Presencia  
BR100-DDT  
Switch de presencia mecánico*

3 unid



*Sensor ID-20LA*

1 unid



*Actuadores Neumáticos*

4 unid



*Electroválvulas 5/2*




4 unid



*Unidad de mantenimiento*

1 unid



<i>Manguera neumática</i>	15 m	
<i>Acoples y T's</i>	Varios	
<i>Conectores y Terminales</i>	Varios	

Conocida la ubicación de la instrumentación, actuadores y controlador del sistema de clasificación así como el tipo comunicación, conexión eléctrica y neumática para cada caso; se puede observar el diagrama P&ID en el anexo F.

### 3.8.2. Protección eléctrica

La empresa Tecnocalza dispone de un tablero principal y tres tableros secundarios, los cuales disponen de protecciones eléctricas que permitan garantizar la integridad de toda su maquinaria y elementos. Particularmente la línea de alimentación eléctrica de 110V que se usa para energizar el sistema es de calibre 10 AWG y se encuentra ubicada en la parte inferior a lo largo de la banda transportadora, esta línea cuenta con 6 tomacorrientes distribuidos de forma equidistante a lo largo de la misma, en esta línea se encuentran conectadas las cargas que se puede observar en la tabla 20, para esta carga el tablero secundario cuenta con un interruptor termomagnético de 15 amperios.

**Tabla 20.**  
Carga conectadas a la línea eléctrica

<i>Elemento</i>	<i>Potencia</i>
<i>Pulidora</i>	600 W
<i>Computador</i>	500 W
<b><i>Total</i></b>	<b>1100W</b>

Las cargas conectadas del sistema propuesto se las puede observar en la tabla 21, de acuerdo a la carga total ( $T=1510$  W,  $I=13.72$  A) se toma un factor de protección del 20% ( $I=16.5$  A), por esta razón es necesario colocar un nuevo interruptor termomagnético para la protección del sistema de 20 amperios (valor comercial más cercano).

**Tabla 21.**  
Cargas del sistema implementado

<i>Cantidad</i>	<i>Elemento</i>	<i>Potencia</i>
1	PLC	200 W
3	Electroválvula	50 W
1	Módulo	60W
<i>Cargas anteriores</i>		1100W
<b><i>Total</i></b>		<b>1510 W</b>

### 3.9. Diseño del interfaz humano – máquina

#### 3.9.1. Distribución de los elementos en las pantallas

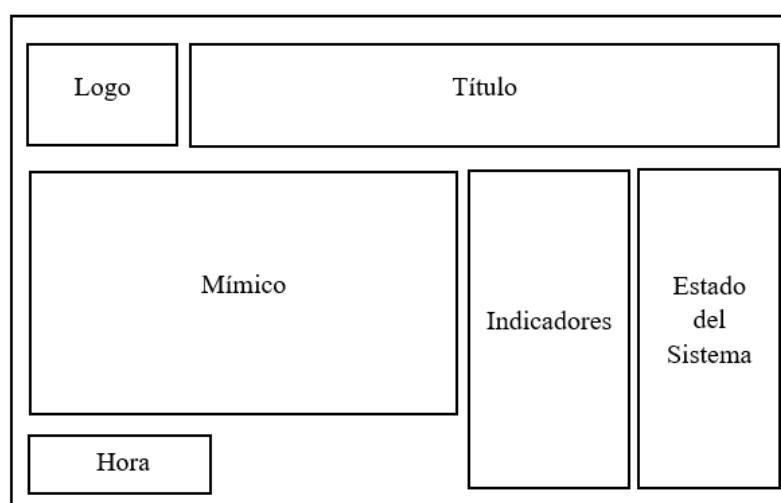
De acuerdo a los requerimientos visuales del cliente como talla, modelo y ubicación se realiza la distribución de los elementos, en la que se considera las sugerencias de la guía GEDIS las cuales son analizadas en el apartado 2.9, la distribución de los elementos en las diferentes pantallas se especifican de manera general en las figuras 48 y 49, con el fin de conocer la ubicación de los diferentes cuadros de texto, botones de navegación, indicadores luminosos e indicadores numéricos.

La interfaz tiene una ventana principal, donde se visualiza el nombre del proyecto desarrollado, el logo de la empresa, la fecha/hora y un botón de navegación el cual envía a la pantalla principal del sistema.



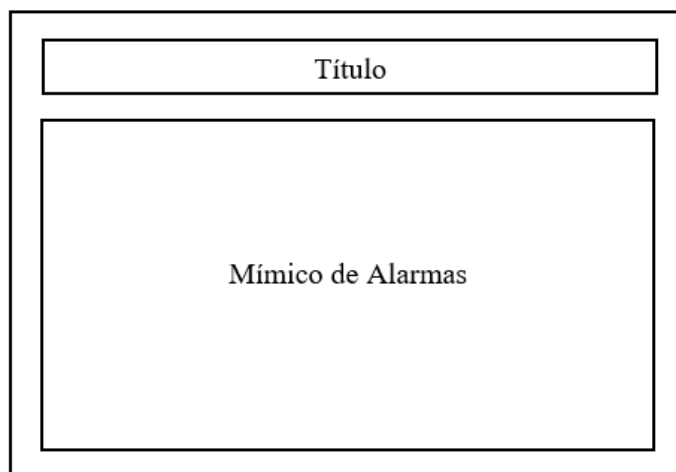
**Figura 48.** HMI ventana principal.

En la ventana de inicio se visualiza el logo de la empresa, el título del proyecto, la fecha y la hora, en el estado del sistema se tiene indicadores luminosos del sistema como: inicio, paro de emergencia, fallas y modo de funcionamiento (Manual), los indicadores numéricos permiten brindar información al operario sobre el número de hormas que tiene disponibles, finalmente se tiene un mímico en el cual se visualiza el proceso.



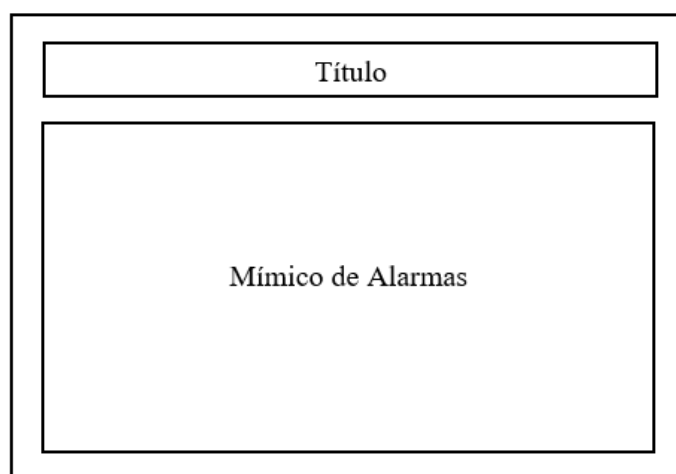
**Figura 49.** HMI ventana de inicio.

La ventana 1 (ver figura 50) de alarmas permite detectar que todas las gavetas se encuentren en posición, garantizando el correcto funcionamiento del sistema, para lo cual se tiene alarmas luminosas las cuales permitan conocer cuál es la gaveta faltante para que el operario pueda tomar acciones correctivas ante esta posible falla.



**Figura 50.** HMI ventana 1 de alarmas (presencia de gavetas).

La ventana 2 (ver figura 51) de alarmas permite detectar que ninguna horma quede atascada en la banda transportadora, garantizado que las hormas clasificadas lleguen a sus respectivas gavetas, caso contrario el sistema debe tomar acciones preventivas ante esta posible falla.



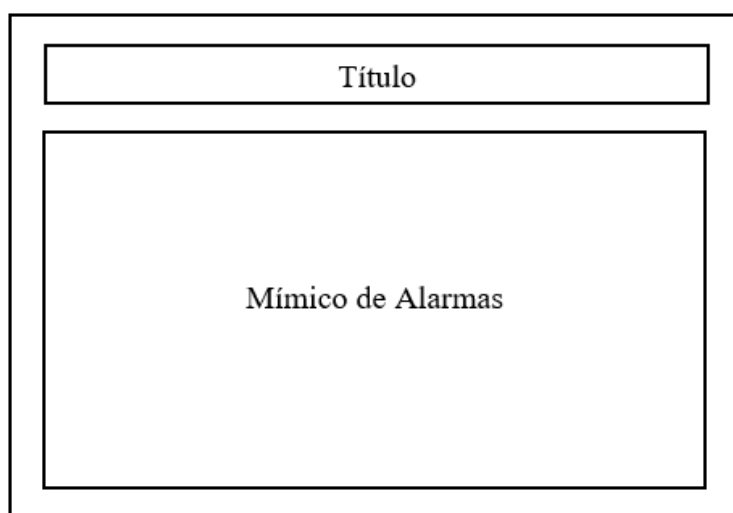
**Figura 51.** HMI ventana 2 de alarmas (problemas en la banda).

La ventana 3 (ver figura 52) de alarmas permite detectar que gaveta se encuentra llena, informando al operario mediante alarmas luminosas cual es la gaveta que debe ser retirada para que el sistema pueda seguir funcionando correctamente.



**Figura 52.** HMI ventana 3 de alarmas (Gaveta llena).

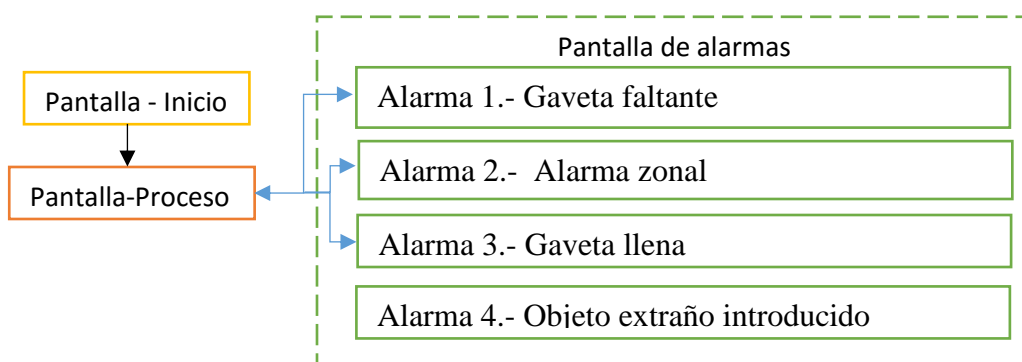
La ventana 4 (ver figura 53) de alarmas permite detectar el ingreso de algún objeto extraño a la banda transportadora, informando al operario en que zona se encuentra el objeto introducido para que pueda tomar acciones correctivas.



**Figura 53.** HMI ventana 4 de alarmas (Objeto extraño introducido).

### 3.9.2. Navegabilidad de pantallas

El sistema de navegabilidad se muestra en la figura 54, en la que se puede apreciar que existe una navegabilidad horizontal con un total de 5 pantallas y una pantalla de inicio. La pantalla de inicio da la bienvenida al operario para poner en marcha el sistema. Las pantallas de alarma se activan cuando suceden los eventos descritos en cada una de ellas. Y la pantalla de proceso es la que está en ejecución siempre que el sistema se encuentre en marcha.



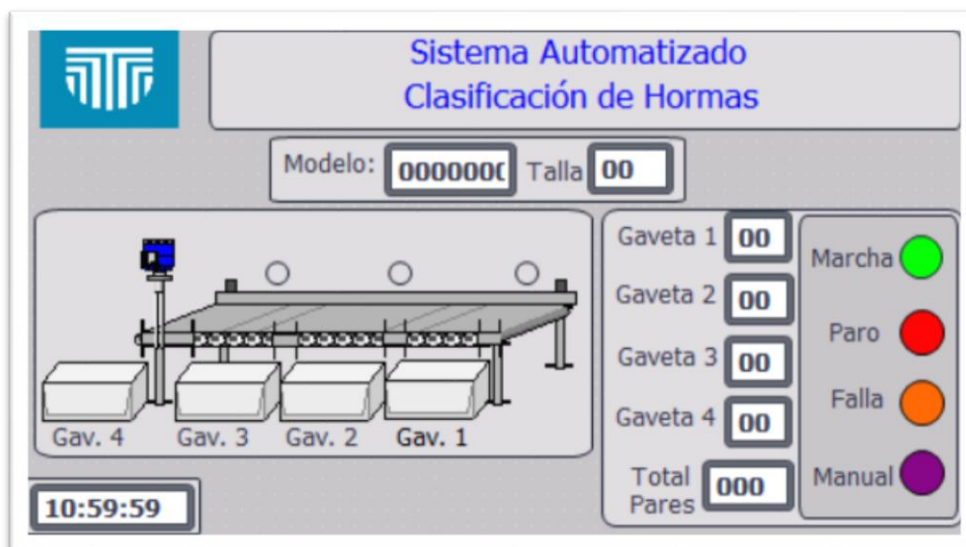
**Figura 54.** Navegabilidad de pantallas.

### 3.9.3. Descripción de la interfaz gráfica

Una vez realizada la distribución de los elementos en las pantallas usando la guía GEDIS, se utilizó el software WinCC el cual permite tener varias ventajas al momento de realizar la interfaz gráfica, el diseño de las pantallas se muestran en las figuras 55-60.

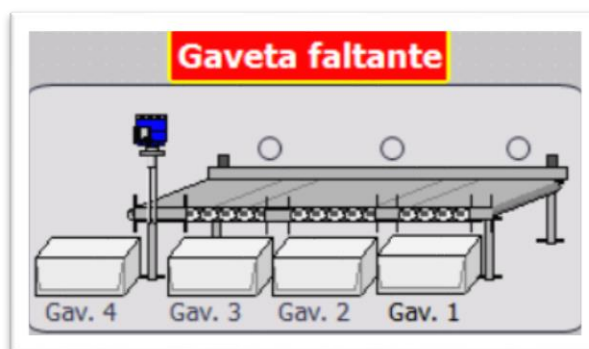


**Figura 55.** Pantalla de inicio.



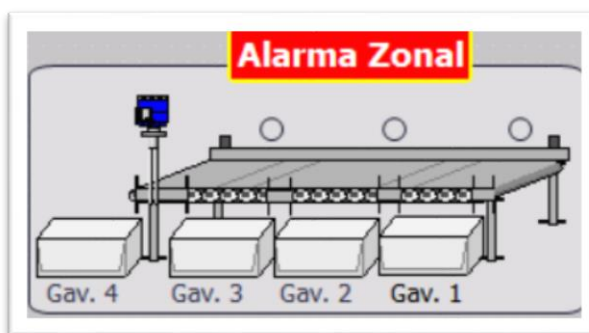
**Figura 56.** Pantalla de proceso.

El funcionamiento de cada una de las alarma se lo puede observar en el apartado 3.3.5.

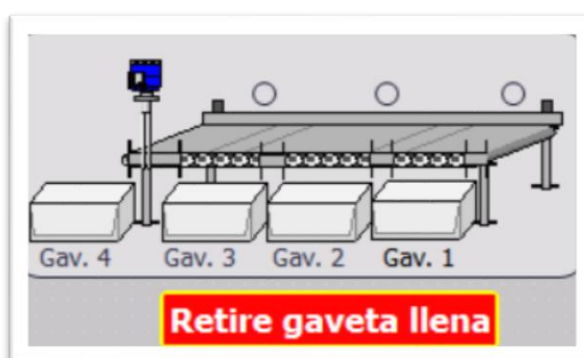


**Figura 57.** Pantalla de alarma 1.

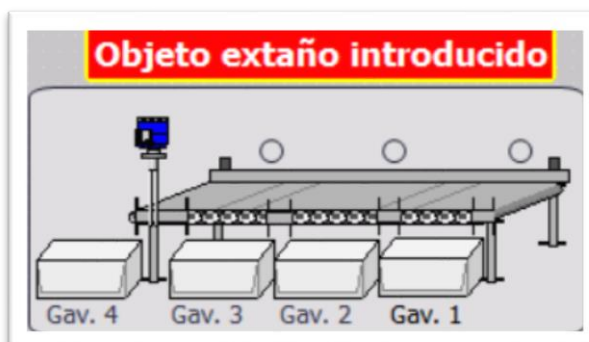




**Figura 58.** Pantalla de alarma 2.



**Figura 59.** Pantalla de alarma 3.



**Figura 60.** Pantalla de alarma 4.

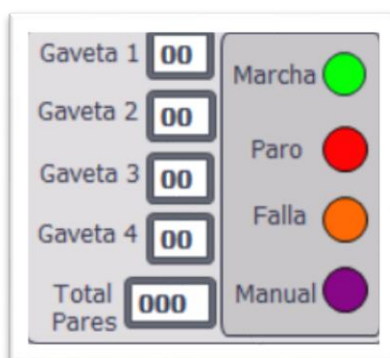
#### **3.9.4. Descripción del funcionamiento**

En la pantalla de inicio, en la parte superior izquierda se encuentra ubicado el logo de la empresa Tecnocalza S.A (ver figura 61).



**Figura 61.** Logo de la empresa Tecnocalza S.A.

En la parte derecha de la pantalla se encuentran los indicadores numéricos y luminosos (ver figura 62).



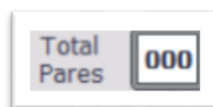
**Figura 62.** Indicadores numéricos y luminosos.

Los primeros 4 indicadores numéricos (ver figura 63) permiten que el operario pueda conocer el número de hormas clasificadas se encuentran en cada gaveta.



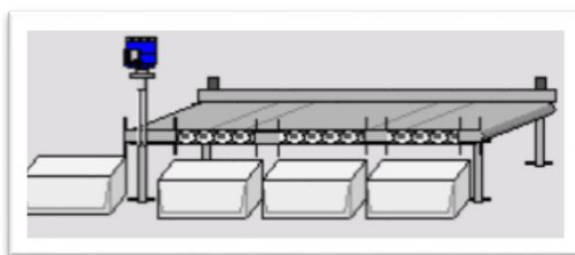
**Figura 63.** Número de hormas por gaveta.

Al finalizar la jornada laboral, el operario puede conocer el número total de pares fabricados en ese día (ver figura 64).



**Figura 64.** Total de pares.

En la parte central de la pantalla, se puede observar el mímico en dos dimensiones del sistema automatizado desarrollado (ver figura 65).



**Figura 65.** Mímico del sistema automatizo de clasificación de hormas.

El panel touch que se utiliza para desarrollar la interfaz cuenta con cuatro botones físicos (ver figura 66), los cuales serán utilizados para realizar diversas funciones como:

- F1.- Inicio del sistema
- F2.- Paro de emergencia
- F3.- Reset
- F4.- Modo manual



**Figura 66.** Botonera del panel Touch.

### 3.9.5. Botones de control

El sistema posee 3 botones de diferente color (verde, rojo, azul) y un selector, mediante los cuales el operario puede poner en marcha el sistema o tomar acciones ante la presencia de cualquier error. El funcionamiento de los botones de control se lo puede observar en la tabla 22.

**Tabla 22.**

Funcionamiento de los botones de control

<i>Color</i>	<i>Funcionamiento</i>
<i>Verde</i>	Inicio del sistema
<i>Rojo</i>	Paro de emergencia
<i>Azul</i>	Reset
<i>Selector</i>	Selección de modo de trabajo

## CAPÍTULO IV

# IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta como fue modificada la banda para el correcto funcionamiento del sistema, además de la implementación tanto de los actuadores como de los sensores ubicados a lo largo de la misma, la conexión del cableado eléctrico, la tubería neumática, y la instalación de los diferentes tipos de hardware que se usa para el sistema. Se describe también las pruebas que se realizaron después de la culminación de la implantación para su posterior análisis.

### 4.1. Implementación

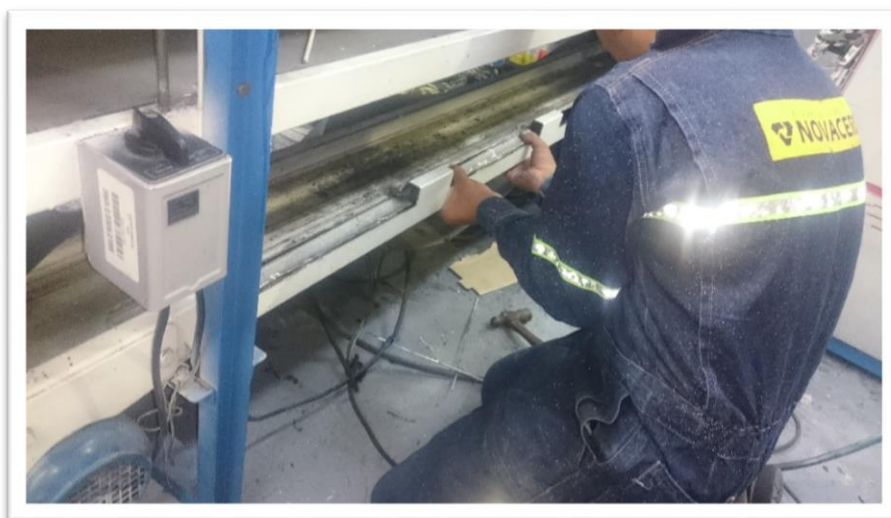
#### 4.1.1. Cortes de la banda

Se realiza los tres cortes en la banda con una separación y medidas que se estableció en el apartado de diseño (Apartado 3.1.1).

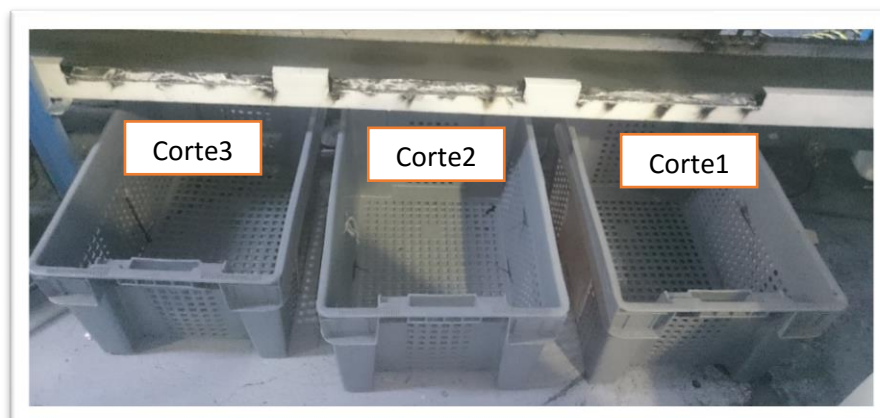


**Figura 67.** Los tres cortes en la banda.

El material sobrante que se obtuvo de los cortes se usó para colocarlo en la base con  $15^\circ$  e inclinación hacia abajo (ver figura 68), con el fin de evitar que la horma pueda quedar atascada en algunos de los cortes realizados (ver figura 69).



**Figura 68.** Colocación del material sobrante en los cortes.

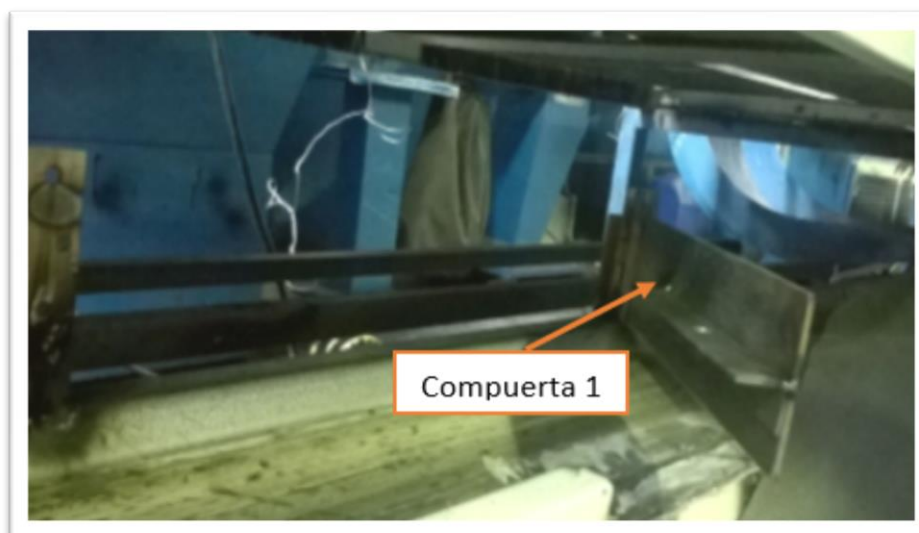


**Figura 69.** Cortes finalizados en la banda.

Los actuadores y platinas fueron colocados de acuerdo a la posición que se determinó en el apartado 3.1.2 (ver figura 70 y 71), para lo cual se tuvo que construir dos bases en las cuales se colocaron los actuadores, las platinas son soldadas en su base junto a la banda.

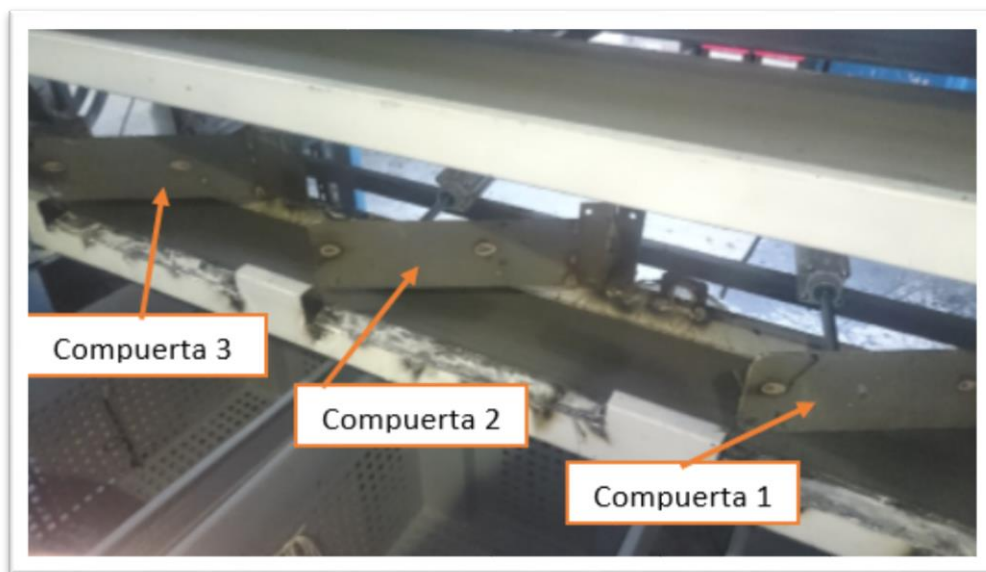


**Figura 70.** Colocación de los actuadores.



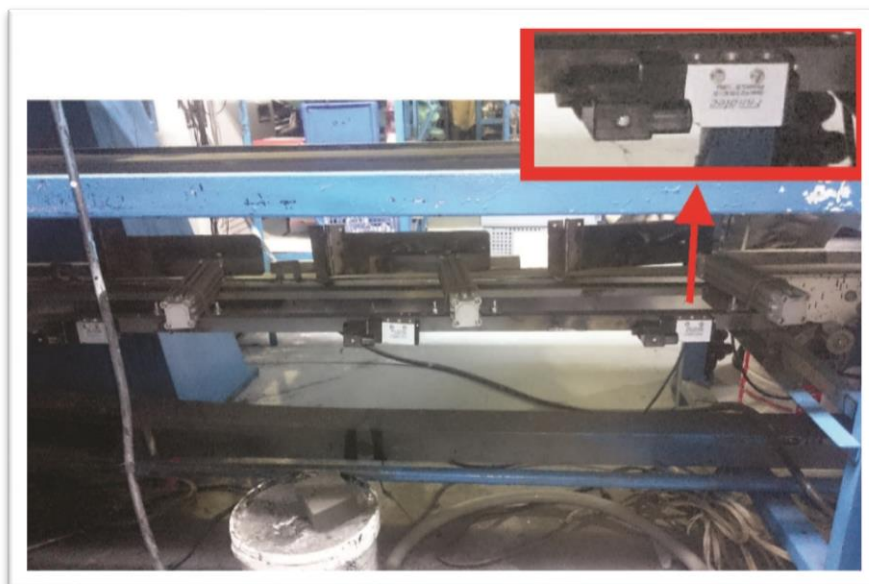
**Figura 71.** Colocación de las platinas.

Los actuadores fueron soldados a las platinas (ver figura 72), permitiendo realizar varias pruebas con cada actuador, garantizando de esta manera que las hormas no queden atascadas de alguna manera en los cortes realizados y de que las mismas lleguen a estar completamente dentro de la gaveta.



**Figura 72.** Actuadores soldados a las platinas.

Finalmente se colocaron las electroválvulas en la parte posterior de los actuadores con una separación de 5cm entre el actuador (ver figura 73).



**Figura 73.** Posición de las electroválvulas.



#### 4.1.2. Montaje de los elementos en la banda

Los actuadores neumáticos se colocan en la parte lateral de la banda (ver figura 74), sobre una base de hierro permitiendo fijarlos a una altura adecuada, la separación que existe entre cada uno es de 40cm, de modo que los actuadores accionen, y cierren las compuertas permitiendo realizar la clasificación de las hormas (ver figura 75).

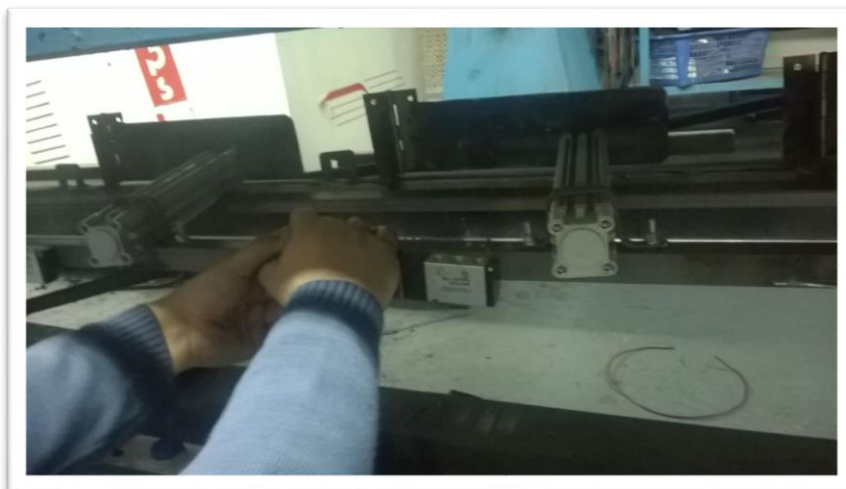


**Figura 74.** Montaje de los actuadores en la banda.



**Figura 75.** Actuadores activados.

Los sensores y las electroválvulas se encuentran colocadas en la parte lateral de la banda junto a los actuadores (ver figura 76), de manera que la conexión neumática sea óptima, evitando la implementación innecesaria de elementos de alimentación y conexión neumática.



**Figura 76.** Montaje de las electroválvulas.

#### **4.1.3. Montaje del panel de control**

El panel de control (ver figura 77) está conformado por los elementos listados a continuación:

- Panel touch Siemens.
- 1 pulsador rojo (Stop).
- 1 pulsador verde (Inicio)
- 1 pulsador azul (Reset)
- 1 selector de modo (Manual – Automático).



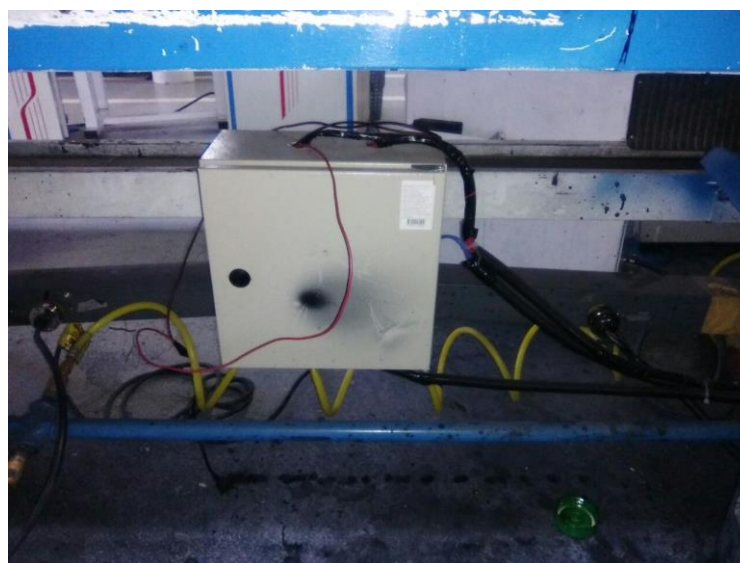
**Figura 77.** Panel de control – Vista frontal.



**Figura 78.** Panel de control – Vista posterior.

#### **4.1.4. Montaje del controlador**

El controlador se encuentra ubicado en la parte inferior de la banda, dentro de una caja metálica de dimensiones 60 x 50 x25 con un grado de protección IP 557, como se observa en la figura 79, está sujeto a una regleta, las conexiones eléctricas de las entradas y salidas del PLC están tomadas de borneras para una mayor facilidad de conexión. (Ver figura 80).



**Figura 79.** Ubicación del controlador.



**Figura 80.** Ubicación del controlador interior.

## **4.2. Pruebas**

Las pruebas y análisis en el sistema son realizadas para validar los diseños tanto eléctrico como neumático y determinar posibles fallas que el sistema pudiere tener, esto brinda una garantía hacia un futuro, para evitar posibles daños.

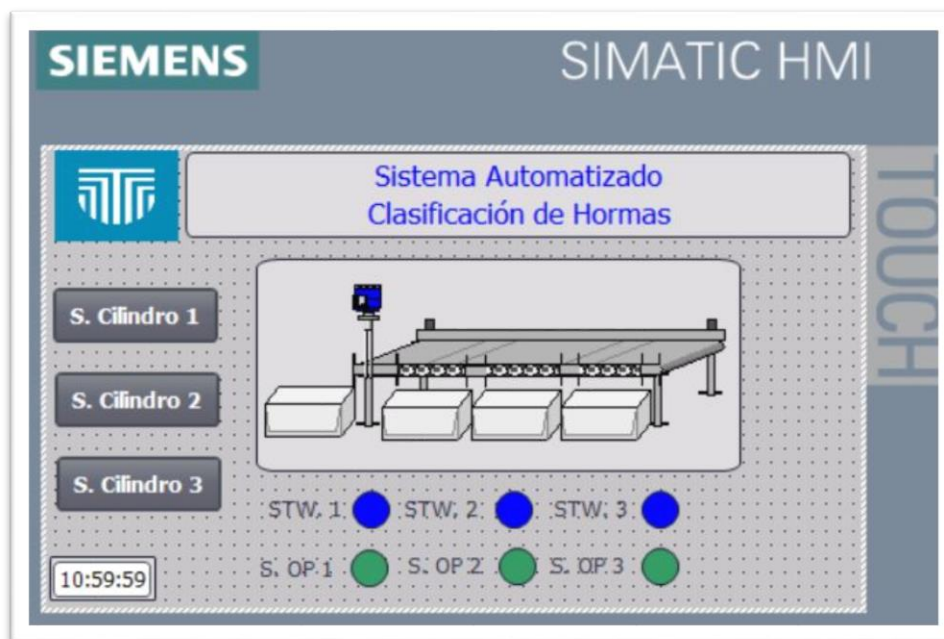
### **4.2.1. Prueba 1: Conexión eléctrica.**

**Objetivo:** Comprobar los diferentes tipos de conexión eléctrica (entradas / salidas) del PLC.

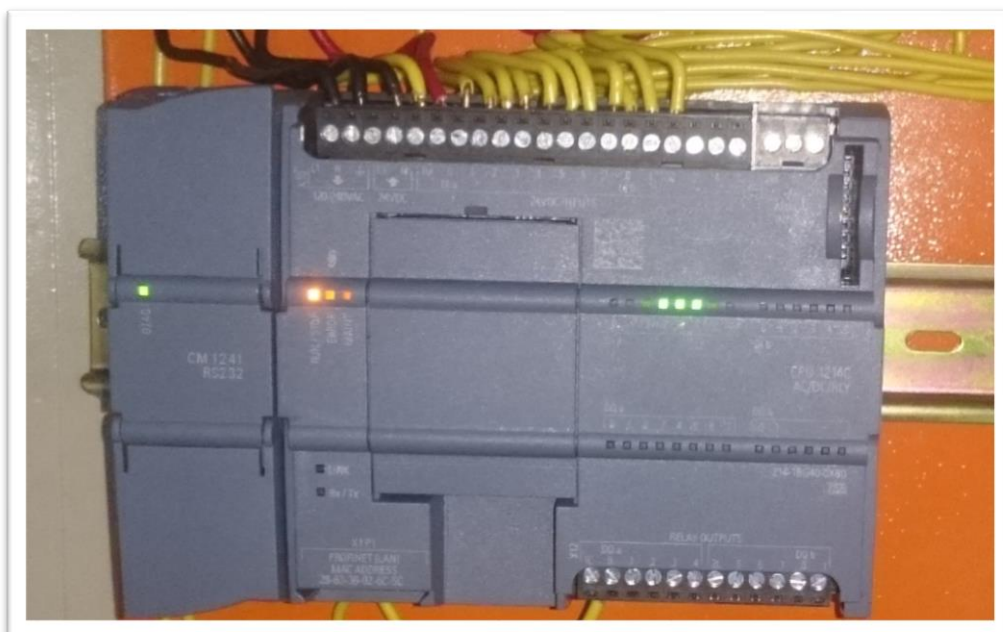
**Procedimiento realizado:** En esta prueba se realiza un programa sencillo en el PLC con la interfaz Humano – Máquina, (ver figura 81), para visualizar y activar uno por uno, los sensores y actuadores. Los switches mecánicos empleados para detectar la presencia de gavetas son activados manualmente y los sensores infrarrojos utilizados en las alarmas del sistema, son activados al hacer pasar un objeto por delante de ellos para poder comprobar la conexión con el PLC. Los actuadores son accionados de forma manual a través de pulsadores creados en la interfaz HMI (ver figura 81).

**Análisis de resultados:** Los indicadores luminosos del PLC (ver figura 82, *en esta figura se presenta el ejemplo cuando se activan las entradas I3 a I5, correspondientes*

al botón de reset, SW1 y SW2, respectivamente) y del HMI se encienden al activar los sensores infrarrojos y los switches mecánicos. Las activaciones realizadas sobre los actuadores neumáticos no presentan ningún tipo de error de conexión. La comunicación entre el PLC y la pantalla táctil se produce correctamente.



**Figura 81.** HMI creado para la prueba #1



**Figura 82.** Ejemplo realizado con sensores y actuadores para la prueba # 1.

#### 4.2.2. Prueba 2: Eficiencia

**Objetivo:** Determinar el porcentaje de eficiencia del sistema.

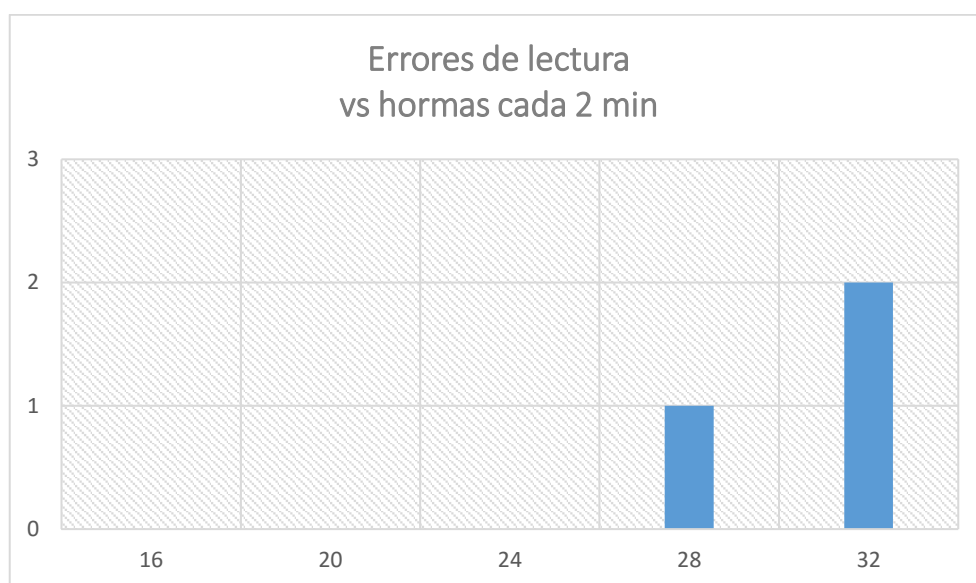
**Procedimiento realizado:** Se envía por la banda 16 hormas en el lapso de dos minutos haciendo que el sistema trabaje al doble de su capacidad normal (8 hormas / minuto). Los datos obtenidos de esta prueba se muestran en la tabla 23.

**Tabla 23.**

Resultados de la prueba #2

<i>Hormas/2 minutos</i>	<i>Errores de lectura sensor RFID</i>	<i>Errores de clasificación</i>
16	0	0
20	0	0
24	0	0
28	1	1
32	2	1

**Análisis:** Como se observa en la tabla 23, el sistema presenta una eficiencia del 100% en un proceso normal de trabajo (16 hormas), garantizando su correcto funcionamiento, cuando el proceso de producción supera las 24 hormas por cada dos minutos la eficiencia del sistema disminuye al 93.75%. Para evitar los errores de lectura y clasificación (ver figura 83), se podrá implementar un pequeño sistema de compuerta que garantice que las hormas puedan ingresar una por una a la banda y no exista ningún tipo de error al momento de realizar la lectura para su posterior clasificación.



**Figura 83.** Errores de lectura vs hormas cada 2 min.

#### 4.2.3. Prueba 3: Identificación de hormas

**Objetivo:** Determinar si existen errores de lectura de etiquetas en presencia de perturbaciones externas.

**Procedimiento realizado:** Se interfiere en el campo de lectura del sensor ID-20LA, acercando diversos dispositivos que utilicen tecnologías similares (radiofrecuencia) como se muestra en la tabla 24, se envía una horma con su respectiva etiqueta hacia la banda para que el sensor la lea.

**Tabla 24.**

Prueba #3. Identificación

<i>Dispositivo utilizado para interferir</i>	<i>Distancia al lector de etiquetas</i>	<i>Error de lectura</i>
<i>Celular – Smartphone</i>	20 cm	No
<i>Celular - Smartphone</i>	5 cm	No
<i>Etiqueta Tecnoalza (80.5 Mhz)</i>	20 cm	No
<i>Etiqueta Tecnoalza (80.5 Mhz)</i>	5 cm	No
<i>Horma con etiqueta (125 Khz)</i>	20 cm	No
<i>Horma con etiqueta (125 Khz)</i>	5 cm	Si

**\*Nota:** La horma enviada está en el rango de detección del sensor ID20-LA

**Análisis:** El sistema es inmune a una serie de interferencias que le rodean en un entorno cotidiano. TecnoCalza dispone de etiquetas RFID que son colocadas en los zapatos para su posterior distribución, estas etiquetas trabajan en la frecuencia de 80.5 Mhz y no se convierte en ningún problema para el sistema. Por otro lado si colocamos una horma que contiene una etiqueta (125 kHz) cerca del sensor, produce un error de lectura haciendo que el sistema accione los actuadores sin soltar la horma hacia la banda, este error es poco probable ya que el sensor se encuentra ubicado en lugar donde se hace el deshormo y al inicio de la banda del sistema de clasificación, y estas no deberían estar cerca del mismo una vez retirada la horma del calzado.

#### 4.2.4. Prueba 4: Verificación de alarmas

**Objetivo:** Constatar que las alarmas de la interfaz humano - máquina se activan de forma correcta.

##### **Procedimiento realizado:**

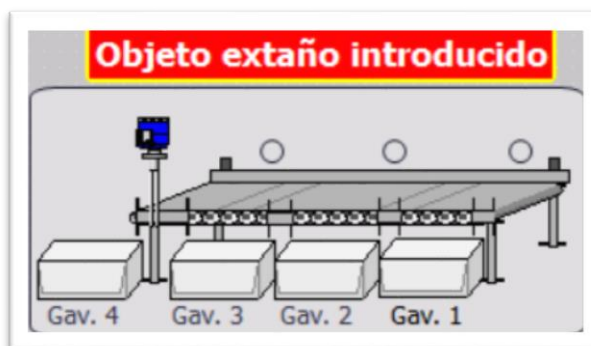
- 1) **Alarma para detección de un objeto extraño:** Se introduce un objeto con una intervención humana en la banda, simulando la caída un objeto por error (ver figura 84).



**Figura 84.** Prueba de detección de un objeto extraño.



**Análisis procedimiento #1:** Cuando el operario ingresa algún objeto, se puede visualizar que la alarma de objeto extraño introducido se despliega de forma inmediata en el HMI (ver figura 85), el error es que si el operario no toma acciones correctivas, el objeto introducido puede causar daños a los elementos del sistema.



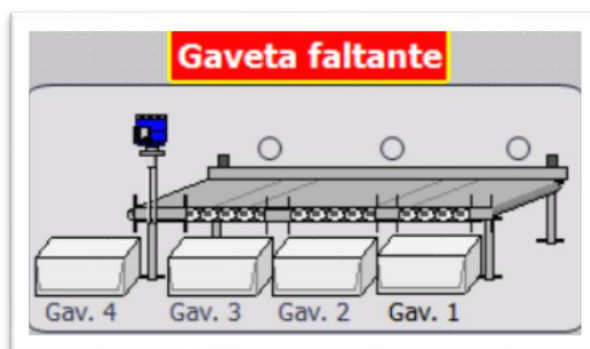
**Figura 85.** Alarma de detección de objeto extraño.

2) **Alarma de detección de gavetas:** Se retira del lugar una gaveta de depósito de hormas cuando la horma está en proceso (ver figura 86).



**Figura 86.** Prueba de detección de gavetas.

**Análisis procedimiento #2:** Al realizar esta prueba cuando la gaveta es retirada, la alarma de gaveta faltante se despliega (aviso parpadeante) en el HMI (ver figura 87). La desventaja observada consiste en que si la horma ya está en la banda, no se tiene ningún tipo de mecanismo para poder detenerla e impedir que caiga al piso.



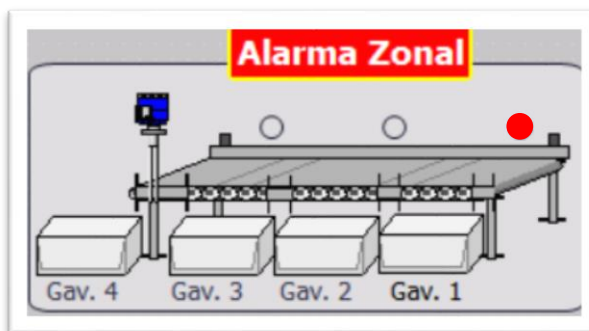
**Figura 87.** Alarma de detección de gavetas.

- 3) **Alarma de horma extraviada por zonas:** Se envía una horma por la banda, haciendo que la misma quede atascada al inicio del proceso de clasificación (ver figura 88).



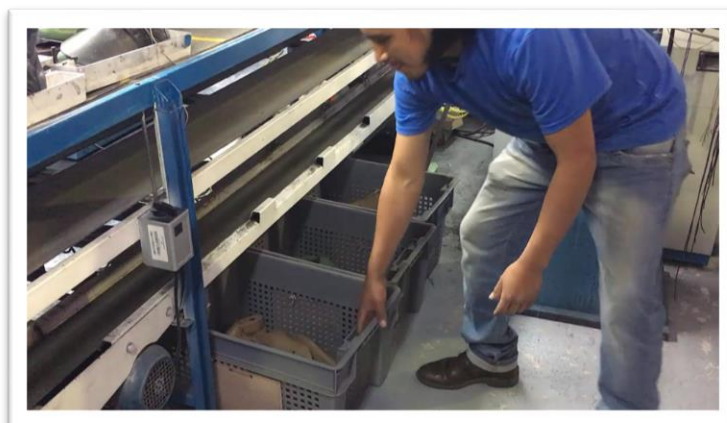
**Figura 88.** Prueba de horma extraviada por zonas.

**Análisis procedimiento #3:** Al realizar esta prueba cuando la horma queda atascada al inicio del proceso, se puede visualizar que en el HMI se despliega la alarma zonal (aviso parpadeante), informando al operario que la horma atascada se encuentra en la zona 1 (ver figura 89). La desventaja observada es que si la horma no es retirada de la zona donde se encuentra extraviada, será un obstáculo para que las demás puedan desplazarse por la banda.



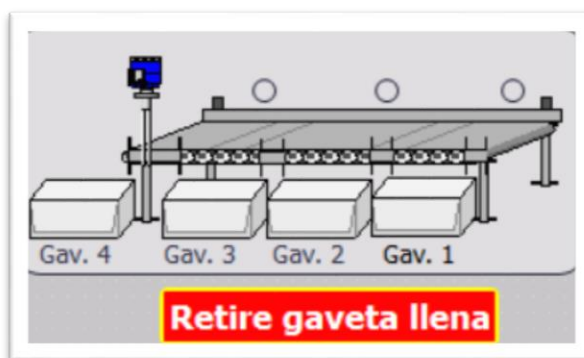
**Figura 89.** Alarma zonal.

- 4) **Alarma de gaveta llena:** Se envía un determinado número de hormas para que el sistema realice la clasificación, hasta que una de las gavetas (gaveta 3) se encuentre llena (ver figura 90).



**Figura 90.** Prueba gaveta llena.

**Análisis procedimiento #4:** Al realizar esta prueba, el sistema realiza el conteo del número de hormas que se encuentra en cada gaveta, informándole al operario que la gaveta 3 se encuentra llena (aviso parpadeante, ver figura 91) y debe retirarla. La desventaja observada es que si la gaveta llena no es retirada oportunamente, las hormas clasificadas pueden caer al piso o ingresar a otra gaveta (gaveta 1, gaveta 2, gaveta 3) ya que las mismas se encuentran ubicadas equidistantemente con una separación de 2cm.



**Figura 91.** Alarma gaveta llena.

#### 4.2.5. Prueba 5: Comparativa clasificación manual vs automática.

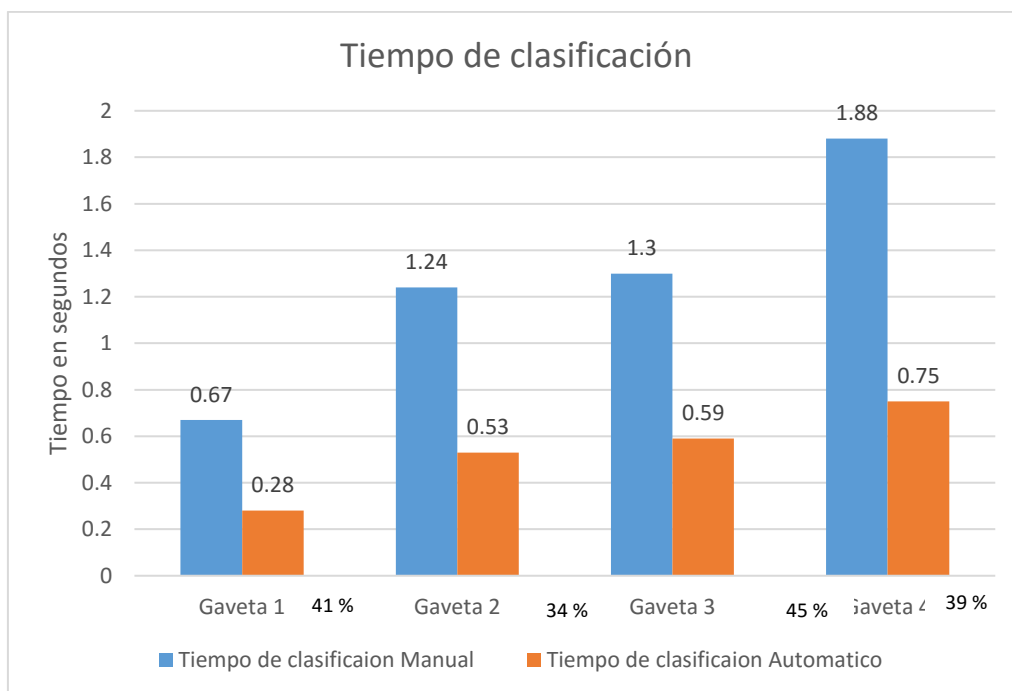
**Objetivo:** Determinar el tiempo que el sistema automático emplea al clasificar un cierto número de hormas y comparar con el tiempo que se emplea en la clasificación manual.

**Procedimiento realizado:** Para esta prueba se toma 8 pares de hormas y se pide al operario que realice la clasificación de forma manual, las hormas son colocadas en las 4 gavetas que dispone el sistema y se toma el tiempo que demora el operario en clasificar las hormas en cada gaveta. Luego de realizar esta clasificación manual, se envía los mismos pares de hormas por la banda transportadora y se obtiene el tiempo. Los resultados que se obtienen se los puede observar en la tabla 25.

**Tabla 25.**

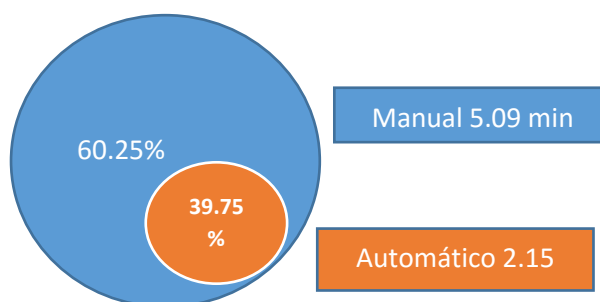
Tiempos de clasificación manual y automática.

<i>Gaveta</i>	<i>Hormas</i>	<i>Tiempo de clasificación manual</i>	<i>Tiempo de clasificación automática</i>
1	2	0.67 min	0.28 min
2	4	1.24 min	0.53 min
3	4	1.3 min	0.59 min
4	6	1.88 min	0.75 min
	<b>Total</b>	<b>5.09 min</b>	<b>2.15 min</b>



**Figura 92.** Comparación de los tiempos de clasificación manual y automática

**Análisis:** En la figura 93 se puede observar que el porcentaje promedio de las diferencias de tiempos entre la clasificación automática y la manual es de 39.75%, dando como resultado que el tiempo de clasificación se reduce en un 60.25% como se puede observar en la figura 88, permitiendo que el operario pueda desempeñar otras funciones laborales y mejorando la producción en la empresa.



**Figura 93.** Porcentaje de reducción de la clasificación manual vs automática.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- La clasificación de hormas mediante el sistema automático implementado, permite a la empresa Tecnocalza, alcanzar una reducción del tiempo empleado para la clasificación de hormas en un 60%, debido a esto ya no es necesario la colaboración de un segundo operario para el proceso de clasificación, optimizando tiempos y costos en la empresa.
- Se implementó un sistema automatizado de clasificación de hormas en la empresa Tecnocalza, con una instrumentación que permite al sistema interactuar con todo el entorno que lo rodea, tanto los switch de presencia de gavetas como los sensores infrarrojos fueron los adecuados, ya que son regulables y se pueden ajustar al medio donde están colocados. El sistema actuador es eficaz por su velocidad de reacción, haciendo que el proceso de clasificación sea rápido y preciso permitiendo al operario visualizar toda la información necesaria para un correcto funcionamiento del sistema.
- La tecnología RFID utilizada, permite tener un mayor control sobre una gran cantidad de hormas haciendo que el sistema de identificación sea totalmente inalámbrico, las pruebas de identificación con el sensor ID20LA permitieron establecer que esta tecnología es una de las más apropiadas, ya que se producen fallos mínimos de lectura en el entorno, esto permite que la empresa Tecnocalza S.A. tenga una visión global del número de hormas, modelos y tallas que el sistema está trabajando en ese momento. Esto también supone una ventaja para el sistema global de calidad de la empresa.
- El HMI implementado es de fácil acceso y manejo para el operario, proporcionando la información necesaria ante la presencia de cualquier falla, permitiendo tomar acciones correctivas de manera rápida, garantizando el correcto funcionamiento del sistema.

## 5.2. Recomendaciones

- En base a la prueba realizada de clasificación, se tiene en cuenta que Tecnocalza en un futuro puede llegar a incrementar su producción, presentando un problema para el sistema implementado, por lo tanto se recomienda implementar un sistema de barreras que permitan crear una cola y de este modo hacer que el sistema ya no tenga ningún fallo al momento de la lectura, en base a esto si se desea hacer algún cambio a futuro, tanto en la implementación como en la programación se lo haga de la mano con el manual de usuario, adjunto a este trabajo de investigación.
- De acuerdo al ambiente de trabajo en el que se encuentra implementado el sistema de clasificación, es recomendable implementar filtros en las salidas de aire de las electroválvulas, además realizar una limpieza general del sistema cada 15 días, evitando de esta forma que se tapen las entradas o salidas de los elementos, por la gran cantidad de impurezas que existe en el entorno.
- Es recomendable el operario tenga un lugar de trabajo limpio y ordenado, evitando de esa forma que algún objeto extraño pueda causar la activación de las alarmas implementadas en el HMI.
- Una vez implementado el sistema de clasificación, se debe realizar una capacitación sobre el funcionamiento del sistema a todos los operarios, para su correcto funcionamiento.
- Al momento de conectar cualquier tipo de maquinaria a la línea de conexión eléctrica de 110V donde se encuentra conectado el sistema de clasificación, es recomendable verificar el dimensionamiento del interruptor termomagnético, evitando posibles sobre cargas.
- Debido a que el sensor ID20LA tiene un rango de lectura de 15 cm, se recomienda al operario que retira el calzado de la horma, envíe la horma de modo que la etiqueta quede del lado del lector, permitiendo que la lectura de la información sea la correcta y no tener ningún problema con la clasificación posterior.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino. (12 de 04 de 2016). *Guía básica de arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Armesto, M. A. (2015). *AUTÓMATAS PROGRAMABLES Y SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN*. Barcelona, España: MARCOMBO, S.A. 1° Edición.
- Atox, S. (16 de Enero de 2016). *Atox Grupo*. Obtenido de Atox Grupo: <http://www.atoxgrupo.com/>
- bcndynamics*. (12 de 04 de 2016). Obtenido de <http://bcndynamics.com/es/product/final-de-carrera-mec%C3%A1nico-micro-switch>
- Diez, A. D. (14 de 04 de 2016). *Actuadores Hidráulicos*. Obtenido de Universidad de Huelva: [http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Antonio%20Delgado%20Diez-Actuadores%20hidraulicos\\_2.pdf](http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Antonio%20Delgado%20Diez-Actuadores%20hidraulicos_2.pdf)
- Galeon*. (12 de 04 de 2016). Obtenido de <http://microcontroladores-e.galeon.com/>
- Ilyas, S. A. (2012). *RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy*. USA: CRC.
- MBCEStore. (2006). *MBCStore*. Recuperado el 10 de 12 de 2015, de <http://www.mbcestore.com.mx/codigo-de-barras/>
- Microcontroladores PIC*. (12 de 04 de 2016). Obtenido de <http://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespic/chapter/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores/>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A. 5° Edición.
- Real-Academia-Lengua. (2014). *Diccionario*. España: Unidrae, 23º.
- Siemens. (12 de 04 de 2016). *Manual 57-1200*. Obtenido de <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>