



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CLASIFICACIÓN DIDÁCTICO PARA SUPERVISAR UN
PROCESO INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE
HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA**

AUTORA: MAYRA TAMARA JARAMILLO MURRIETA

DIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ

CODIRECTOR: ING. MARIO JIMÉNEZ

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO

ING. WILSON SÁNCHEZ (DIRECTOR)
ING. MARIO JIMÉNEZ (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DIDÁCTICO PARA SUPERVISAR UN PROCESO INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA”**, realizado por la señorita **MAYRA TAMARA JARAMILLO MURRIETA**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que ayudará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a **MAYRA TAMARA JARAMILLO MURRIETA** que lo entregue a la señora Ing. Katya Torres Vásquez, en su calidad de Directora de la Carrera.

Latacunga, Junio 19 del 2015

.....
Ing. Wilson Sánchez
DIRECTOR

.....
Ing. Mario Jiménez
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Mayra Tamara Jaramillo Murrieta

DECLARO QUE:

El proyecto de grado **titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DIDÁCTICO PARA SUPERVISAR UN PROCESO INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Junio 19 del 2015

.....
Mayra Tamara Jaramillo Murrieta

C.C.: 1718444761

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, MAYRA TAMARA JARAMILLO MURRIETA

AUTORIZO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DIDÁCTICO PARA SUPERVISAR UN PROCESO INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA”**, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Junio 19 del 2015

.....
Mayra Tamara Jaramillo Murrieta

C.C.: 1718444761

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico primeramente a Dios quien es una luz a lo largo de toda mi vida, me dá las fuerzas necesarias para superarme constantemente, perseverancia para no decaer ante los problemas y situaciones adversas y por ser esa fuente de sabiduría que guía mi camino.

A mi madre, quien me dio la vida y quien con su amor y comprensión estuvo siempre junto a mí brindándome su apoyo incondicional en todo momento.

A mi padre, quien es la cabeza de mi hogar y la persona que más admiro porque a pesar de las dificultades siempre veló por la felicidad mi familia.

A Israel y a mi hijo Gustavo, quienes son los que me alegran cada día de mi vida y son mi fortaleza para seguir cumpliendo mis metas.

A mis hermanos, Roxana y José quienes me han demostrado su apoyo incondicional, a lo largo de mi trayectoria.

Tamy

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por llenar mi vida de bendiciones, y no dejarme desmayar en los momentos difíciles, por haberme permitido culminar una meta más trazada hace mucho tiempo y que hoy al fin se hace realidad.

A toda mi familia padres, hermana, hermano, abuelos; quienes hicieron posible la culminación de mis estudios académicos, ya que con su apoyo y los incontables consejos que supieron brindarme a lo largo de todo este tiempo de preparación he logrado llegar hasta estas instancias.

A mis amigos y compañeros por todos esos momentos inolvidables que quedaran grabados siempre en mi mente por los buenos y malos momentos.

A mi Director Ing. Wilson Sánchez y Codirector Ing. Mario Jiménez y al Ing. Washington Freire por el suferencia y la contribución técnica como en el aporte logístico para la realización de este proyecto

Tamy

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD Y RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
CAPÍTULO I	19
1. GENERALIDADES	19
1.1. Antecedentes.....	19
1.2. Definición del problema.....	20
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Específicos.....	21
1.4. Justificación.....	21
1.5. Alcance del proyecto.....	22
CAPÍTULO II	23
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	23
2.1. Sistemas modulares de clasificación.....	23

2.1.1.	Definición.	24
2.2.	Bandas transportadoras.	25
2.2.1.	Definición.	25
2.2.2.	Funcionamiento de las bandas transportadoras.....	26
2.2.3.	Dispositivos de tensado.....	27
2.2.4.	Tipos de cintas.	28
2.2.5.	Características de las bandas transportadoras.	28
2.2.6.	Selección.	29
2.2.7.	Equipo y herramientas utilizadas.	30
2.2.8.	Aplicaciones.....	30
2.3.	Reductores de velocidad.	31
2.4.	Motores eléctricos.	32
2.4.1.	Motores de corriente continua	32
2.4.2.	Motores Paso a Paso	33
2.4.3.	Servomotores	34
2.5.	Sistema de automatización.....	35
2.5.1.	Sensores.	35
2.5.2.	Tipos de sensores discretos.	35
2.5.3.	Tipos de sensores analógicos.	44
2.5.4.	Fuente de alimentación.	44
2.6.	Actuadores neumáticos.	45
2.6.1.	Actuadores de simple efecto.	45
2.6.2.	Actuadores de doble efecto.	46
2.6.3.	Actuadores rotantes.....	48
2.7.	Elementos adicionales del sistema neumático.	49
2.7.1.	Manguera.	49
2.7.2.	Racores.....	49
2.7.3.	Controladores de flujo.....	50
2.7.4.	Unidad de mantenimiento (FRL).	50
2.8.	Controlador Lógico Programable (PLC).	52
2.8.1.	Ventajas e inconvenientes del PLC.....	52

2.8.2.	Componentes internos de un PLC.....	53
2.8.3.	Lenguaje de programación.....	56
2.9.	Interfaz Hombre – Máquina (HMI).	56
2.9.1.	Tipos de HMI.....	57
2.9.2.	Funciones de un Software HMI.....	58
2.9.3.	Tareas de un Software de Supervisión y Control.....	58
2.10.	Ethernet industrial.....	59
2.10.1.	Topologías de Ethernet Industrial.....	60
2.10.2.	Algoritmo de la Pantalla touch HMI.....	62
2.11.	Algoritmo del módulo de clasificación.....	62
CAPÍTULO III.....		64
3.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS - NEUMÁTICOS.....	64
3.1.	Selección de la banda transportadora.....	66
3.2.	Selección de la cinta.....	66
3.2.1.	Selección de soporte de cinta transportadora.....	70
3.3.	Selección del motor.....	71
3.4.	Dimensionamiento de los rodillos.....	77
3.4.1.	Análisis de esfuerzos en el rodillo móvil.....	78
3.4.2.	Análisis de esfuerzos en los rodillos intermedios y fijos.....	81
3.5.	Selección de la bancada.....	84
3.6.	Diseño de la mesa móvil.....	88
3.7.	Selección del sistema eléctrico.....	91
3.7.1.	Selección del elemento de protección.....	91
3.7.2.	Selección sensores.....	94
3.8.	Selección de elementos del tablero de control.....	97
3.9.	Selección del PLC.....	98

	x
3.10.	Diseño del circuito eléctrico. 102
3.11.	Selección del sistema neumático. 103
3.11.1.	Selección de unidad de mantenimiento..... 103
3.11.2.	Selección de los cilindros neumáticos y elementos de control. 104
3.12.	Diseño del circuito neumático. 108
3.13.	Selección de la pantalla..... 109
CAPÍTULO IV 111
4.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN..... 111
4.1.	Construcción de la banda transportadora. 111
4.1.1.	Rodillo motriz 111
4.1.2.	Rodillos tensores..... 112
4.1.3.	Soporte de banda..... 112
4.1.4.	Montaje de las rampas clasificadoras. 114
4.1.5.	Acoplamiento del motor. 115
4.1.6.	Montaje de la banda transportadora. 115
4.2.	Montaje de los sensores. 116
4.3.	Montaje del sistema neumático..... 117
4.4.	Implementación del circuito de mando y control 119
4.4.1.	Tablero de control. 119
4.4.2.	Implementación de la interfaz ABE7-HR1631 121
4.5.	Montaje del sistema terminado 121
4.7.	Programación del PLC Siemens S7-1200..... 122
4.7.	Programación de la pantalla HMI 126
4.8.	Configuración de la Red Ethernet..... 130
CAPÍTULO V 132
5.	PRUEBAS DEL MÓDULO DE CLASIFICACIÓN..... 132

	xi
5.1.1. Pruebas eléctricas.....	132
5.1.2. Pruebas neumáticas.....	133
5.1.3. Pruebas de monitoreo del PLC y pantalla.....	133
5.1.4. Prueba del programa del módulo de clasificación.....	134
5.1.5. Prueba de transferencia del módulo de clasificación.....	135
5.3. Análisis de costos.....	137
5.4. Manual de operación del sistema didáctico de clasificación de piezas	138
CAPÍTULO VI	139
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	139
6.1. Conclusiones.....	139
6.2. Recomendaciones	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
ANEXOS	145

ANEXO A: Características técnicas de equipos utilizados en el módulo de sistema de clasificación

ANEXO B: Planos mecánicos del módulo de clasificación didáctico

ANEXO C: Diagrama eléctrico del módulo clasificación didáctico

ANEXO D: Diagrama neumático del sistema de clasificación

ANEXO E: Programación en el TIA Portal V 13 PLC S7-1200 CPU 1214c

ANEXO F: Manual de operación del módulo de clasificación didáctico

ANEXO G: Guías prácticas de laboratorio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1.	Sistema Mecatrónico Modular Compacto	25
Figura 2. 2.	Banda Transportadora.....	26
Figura 2. 3.	Elementos de la banda transportadora	31
Figura 2. 4.	Vista interna de la caja de reducción y un motoreductor sinfin	32
Figura 2. 5.	Motor CC	33
Figura 2. 6.	Motores PaP.....	33
Figura 2. 7.	Servomotor Hitech.....	35
Figura 2. 8.	Sensor Inductivo	36
Figura 2. 9.	Funcionamiento de los sensores ópticos.....	37
Figura 2. 10.	Sensores capacitivos	38
Figura 2. 11.	Sensores analógicos.....	44
Figura 2. 12.	Componentes de una fuente de alimentación	44
Figura 2. 13.	Sección de un cilindro de simple efecto.	45
Figura 2. 14.	Sección de un cilindro de doble efecto.....	46
Figura 2. 15.	Características de los cilindros de doble efecto.....	47
Figura 2. 16.	Cilindro de giro piñón-cremallera	48
Figura 2. 17.	Manguera neumática.....	49
Figura 2. 18.	Tipos de racores	50
Figura 2. 19.	Control de flujo y su símbolo	50
Figura 2. 20.	Unidad de mantenimiento.....	51
Figura 2. 21.	Simbología de la unidad de mantenimiento.....	51
Figura 2. 22.	Estructura externa de un PLC	53
Figura 2. 23.	Interfaces.....	55
Figura 2. 24.	Señales de programación en HMI.....	57
Figura 2. 25.	Estructura del software HMI.	57
Figura 2. 26.	Red Ethernet Industrial	59
Figura 2. 27.	Topología bus.	60
Figura 2. 28.	Topología Anillo.....	61
Figura 2. 29.	Topología Estrella.....	61
Figura 2. 30.	Algoritmo de la pantalla	62
Figura 2. 31.	Algoritmo de programación de clasificación de piezas.....	63

Figura 3. 1. Factores de seguridad	65
Figura 3. 2. Cinta seleccionada para el transportador.....	67
Figura 3. 3. Longitud de la banda	67
Figura 3. 4. Características de perfil ranurado	70
Figura 3. 5. Fuerza aplicada a la banda.....	72
Figura 3. 6. Curva característica del motor seleccionado	74
Figura 3. 7. Motor BOSCH 24V DC	76
Figura 3. 8. Características técnicas del motorreductor.	77
Figura 3. 9. Rodillo móvil.....	77
Figura 3. 10. Rodillos tensores.....	78
Figura 3. 11. Análisis de esfuerzos	79
Figura 3. 12. Análisis de deflexiones	80
Figura 3. 13. Análisis de factor de seguridad.....	81
Figura 3. 14. Análisis de esfuerzos	82
Figura 3. 15. Análisis de deflexiones	83
Figura 3. 16. Análisis de factor de seguridad.....	84
Figura 3. 17. Placa perfilada de aluminio	85
Figura 3. 18. Análisis de esfuerzos en la placa de aluminio	85
Figura 3. 19. Análisis de deflexiones en la placa de aluminio.....	86
Figura 3. 20. Análisis de factor de seguridad en la placa de aluminio.....	87
Figura 3. 21. Mesa móvil.	88
Figura 3. 22. Análisis de esfuerzos en la mesa móvil.	89
Figura 3. 23. Análisis de deflexiones en la mesa móvil.....	90
Figura 3. 24. Análisis de factor de seguridad en la mesa móvil.....	91
Figura 3. 25. Contactor de 24V	92
Figura 3. 26. Características de la bobina del relé Camsco ly2	93
Figura 3. 27. Portafusibles Camsco RT 18-32 y fusible RT 14-20.....	94
Figura 3. 28. Sensor de color IBEST PESL-R18POC3MD.....	94
Figura 3. 29. Sensor inductivo IBEST IPS-8PO2B	95
Figura 3. 30. Sensor fotoeléctrico IBEST PES-TC50.....	95
Figura 3. 31. Sensor fotoeléctrico IBEST LAS-T12PO3MD	96
Figura 3. 32. Sensor óptico réflex IBEST PESL-R18POC3MD	96
Figura 3. 33. Selector ON/OFF	97

Figura 3. 34. Luz piloto.....	98
Figura 3. 35. Pulsadores	98
Figura 3. 36. Módulo de entradas - salidas y conexiones internas.....	101
Figura 3. 37. Cable de comunicación.....	102
Figura 3. 38. Unidad de mantenimiento DANFOSS.....	103
Figura 3. 39. Información de la Unidad FRL.....	104
Figura 3. 40. Carrera de cilindros de doble efecto Airtac MI	105
Figura 3. 41. Cilindro de doble efecto AIRTAC.....	106
Figura 3. 42. Características del cilindro MI 25*25.....	106
Figura 3. 43. Fuerzas de avance y retroceso de cilindros de doble efecto	107
Figura 3. 44. Válvula 5/2 AIRTAC.....	107
Figura 3. 45. Silenciadores, racores y regulador de caudal.....	108
Figura 3. 46. KTP400 Basic PN.....	109
Figura 3. 48. Touch Panel Siemens KTP-400 Basic PN.....	110
Figura 4. 1. Rodillo motriz.....	111
Figura 4. 2. Rodillos de cola	112
Figura 4. 3. Rodillos Tensores	112
Figura 4. 4. Soporte de banda	113
Figura 4. 5. Acople de rodillos.....	113
Figura 4. 6. Expulsión de piezas	114
Figura 4. 7. Canaleta de aluminio para rampas de clasificación.....	114
Figura 4. 8. Acoplamiento del motor	115
Figura 4. 9. Montaje de la banda transportadora.....	115
Figura 4. 10. Tuercas cabeza martillo	116
Figura 4. 11. Montaje de los sensores del sistema de clasificación	116
Figura 4. 12. Ubicación de cilindros neumáticos	117
Figura 4. 13. Ubicación de las electroválvulas 5/2	117
Figura 4. 14. Ubicación de las válvulas estranguladoras.	118
Figura 4. 15. Montaje de la unidad de mantenimiento DANFOSS	118
Figura 4. 16. Tablero de control.....	119
Figura 4. 17. Cableado del PLC	120
Figura 4. 18. Módulo ABE7-HR1631	121
Figura 4. 19. Sistema de clasificación didáctico	121

Figura 4. 20. Asignación de una dirección IP y submáscara de red para la PC.....	122
Figura 4. 21. Configuración IP en el PLC.....	123
Figura 4. 22. Declaración de entradas y salidas	123
Figura 4. 23. Programar en Main.	124
Figura 4. 24. Bloque de organización "Main [OB1]"	124
Figura 4. 25. Transferir configuración	125
Figura 4. 26. Transferencia de la programación al PLC	126
Figura 4. 27. Agregar pantalla HMI.....	126
Figura 4. 28. Funciones de la pantalla HMI.....	127
Figura 4. 29. Interfaz HMI	128
Figura 4. 30. Presentación de la pantalla HMI.....	128
Figura 4. 31. Asignación de la dirección IP a la pantalla HMI.....	129
Figura 4. 32. Transferir configuración	129
Figura 4. 33. Cargar programación HMI	130
Figura 4. 34. Comunicación Ethernet	130
Figura 4. 35. Comprobación de la comunicación "Online"	131
Figura 4. 36. Dispositivos accesibles en la red Ethernet.....	131
Figura 5. 1. Módulo de clasificación de piezas didácticas.....	132
Figura 5. 2. Verificación de la comunicación entre la PC y el PLC	134
Figura 5. 3. PLC y KTP 400 conectado y funcionando.	134
Figura 5. 4. Monitoreo de la programación en tiempo real.....	135
Figura 5. 5. Transferencia de datos a la pantalla KTP400.	135
Figura 5. 6. Switch Ethernet comunicación entre dispositivos.....	136
Figura 5. 7. Dispositivos conectados en red (PLC y HMI).....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Cintas transportadoras de acuerdo al tipo de fabricación	28
Tabla 2. 2. Tipo de cintas según el aspecto de la superficie portante de la carga	29
Tabla 2. 3. Ventajas y desventajas de los motores PaP.....	34
Tabla 2. 4. Características de los motores eléctricos	39
Tabla 2. 5. Características de los sensores ópticos.....	41
Tabla 2. 6. Características técnicas de los sensores discretos	42
Tabla 2. 7. Características de los actuadores neumáticos.	43
Tabla 3. 1. Matriz de decisión para la banda.....	66
Tabla 3. 2. Características de las piezas a color.....	71
Tabla 3. 3. Características de las piezas metálicas.....	71
Tabla 3. 4. Características de los rodillos	72
Tabla 3. 5. Características de los rodillos tensores	72
Tabla 3. 6. Eficiencia mecánica de equipos reductores de velocidad	75
Tabla 3. 7. Matriz de decisión del motor para la banda de transportación	76
Tabla 3. 8. Características del relé CAMSCO ly2	92
Tabla 3. 9. Total de entradas y salidas requeridas por el PLC	99
Tabla 3. 10. Matriz de decisión del PLC.....	100
Tabla 3. 11. Características de la interfaz ABE7-HR1631	101
Tabla 3. 12. Características del Cable Telefast HE 10.....	102
Tabla 3. 13. Características técnicas de la KTP 400 BASIC PN color.....	109
Tabla 4. 1. Identificación de colores de cables en el Tablero de control	120
Tabla 5. 1. Verificación de voltajes en dispositivos.....	133
Tabla 5. 2. Detalles de costos.....	137

RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto “Diseño e implementación de un sistema de clasificación didáctico para supervisar un proceso industrial en el Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica” permitirá manipular piezas didácticas cilíndricas de características como color y metal por medio de sensores y actuadores. El diseño del módulo de clasificación didáctico se caracteriza por tener un sistema de transporte por medio de una banda y de un sistema de almacenamiento donde se clasifican el material; el proyecto se desarrolla partiendo del diseño mecánico donde dos actuadores neumáticos sirven para clasificar y transportar las piezas y un motor para trasladar hacia las rampas clasificadoras. El sistema eléctrico se constituye mediante la selección de sensores para la identificación externa de la pieza y activación del motor a 24 V dc, electroválvulas para la activación de cilindros neumáticos a un voltaje de trabajo de 24 V dc. Y el sistema de control consta de un diagrama eléctrico-neumático y la programación del PLC. Al culminar con el diseño se llevó a cabo la implementación del proceso donde se reconoce la presencia de una pieza de trabajo, se identifica su color y si esta es metálica; posteriormente será trasladada mediante la banda transportada de la posición de ingreso hacia las rampas de clasificación, donde se desvía por medio de los cilindros neumáticos, y finalmente se lleva al almacenamiento del material en las rampas. El orden de esta será programado y optimizado por el usuario que desarrolle la práctica de laboratorio de este equipo.

PALABRAS CLAVE:

- MOTORES ELÉCTRICOS
- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL
- NEUMÁTICA - SISTEMA DIDÁCTICOS
- CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

SUMMARY

The development of this project "Design and implementation of a system of classification training to supervise an industrial process in the laboratory of hydronic and neutron" will allow handling didactic pieces cylindrical features like color and metal by means of sensors and actuators. Design of didactic classification module is characterized by a system of transport by means of a band and a storage system where classified material; the project is developed on the basis of mechanical design where two pneumatic actuators are used to classify and transport parts and an engine to move towards sorting ramps. Electrical system is constituted by the selection of sensors for the external identification of the piece and activation of engine 24 V dc, solenoid valves for the activation of pneumatic cylinders to a 24 V Working voltage dc. And control system consists of an electro-pneumatic diagram and the programming of the PLC. To culminate with the design was carried out the implementation of the process where it recognizes the presence of a piece of work, its color is identified and if this is metal; Subsequently it shall be transferred by the band conveyed the position of entry towards the ramps of classification, where it deviates by means of pneumatic cylinders, and eventually leads to the material storage on the ramps. This order will be programmed and optimized by the user who developed the practice of this equipment laboratory.

KEY WORDS:

- ELECTRIC MOTORS
- INDUSTRIAL AUTOMATION
- PNEUMATIC - TEACHING SYSTEM
- PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES.

1.1. Antecedentes.

En la fabricación automatizada, las bandas transportadoras juegan un papel muy importante, los productos son transportados en bandas de diferentes dimensiones. Para la innovación de sistemas automatizados en una línea de producción sobre una banda transportadora se debe poder efectuar procesos industriales tales como: clasificación, transporte y verificación, además del empleo de componentes industriales.

Prácticamente todas las industrias alrededor del mundo poseen al menos un pequeño sistema automático, lo cual significa que la automatización es un área que está permanentemente en contacto con el hombre. Con el avance de la tecnología, los procesos industriales han sufrido grandes cambios y quienes están involucrados de una o de otra forma con el tema, deben estar permanentemente informados acerca de los nuevos productos, métodos de proceso, solución de fallas, sistemas de control, etc. La implementación de una banda transportadora para la simulación de procesos industriales, forma parte de un proceso continuo de transporte.

El Sistema de Producción Modular (MPS) de clasificación de piezas hace posible un aprendizaje más eficaz en condiciones reales de tiempo y contiene todos los conocimientos relevantes en cuanto a técnica, planificación, montaje, programación y puesta en funcionamiento, mantenimiento y localización de errores. El resultado es la adquisición de conocimientos técnicos bien fundamentados que servirán de base al alumno para las exigencias profesionales en el futuro.

El presente MPS de clasificación será didáctico para el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica donde los estudiantes podrán aplicar de forma práctica, los conocimientos adquiridos en las aulas, realizando diversos talleres prácticos de

laboratorio de automatización industrial. El MPS de clasificación permitirá una ampliación posterior en donde podrán comunicarse mediante red Ethernet.

1.2. Definición del problema.

Debido al giro que viene dando en la actualidad el control de procesos en la industria y viendo la necesidad que los estudiantes de Ingeniería Electromecánica, se familiaricen con estos temas de un modo más práctico, se desarrollará este proyecto que tendrá como objetivo diseñar e implementar un sistema de clasificación didáctico de piezas para supervisar procesos industriales en el laboratorio de hidrónica y neutrónica.

La Carrera de Ingeniería Electromecánica no cuenta con un sistema modular didáctico de clasificación de procesos industriales; con este sistema los estudiantes podrán aplicar conocimientos teóricos de automatización industrial, neumática e instrumentación.

Además con la implementación del sistema de clasificación didáctico podremos integrar los diferentes módulos en un solo ensamble y donde se puede manufacturar productos variados para así satisfacer las necesidades del estudiante permitiéndole el desarrollo de una herramienta didáctica que asista la enseñanza y facilite su aprendizaje por medio de la manipulación, supervisión y control de las estaciones dentro y fuera del laboratorio de Hidrónica y Neutrónica.

1.3. Objetivos.

Diseñar e implementar un sistema de clasificación didáctico para supervisar un proceso industrial en el laboratorio de hidrónica y neutrónica.

1.3.1. Específicos.

- Diseñar y construir la banda transportadora de clasificación de piezas.
- Diseñar y construir la bancada para la sujeción de todos los componentes eléctricos y neumáticos del sistema de clasificación.
- Seleccionar componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos para la construcción del módulo de clasificación de piezas.
- Modelar el sistema de clasificación de materia prima para desarrollar prácticas experimentales de modo real de procesos industriales.
- Programar el PLC para el control de sensores y actuadores de acuerdo a las condiciones que el modulo requiera para el sistema de clasificación didáctico.
- Diseñar e implementar los diagramas eléctricos y neumáticos del módulo de clasificación didáctico.
- Diseñar e implementar un módulo de sistema de clasificación que permita asociar procesos industriales modulares didácticos, mediante la configuración de una Red Ethernet Industrial.
- Desarrollar pruebas y guías de laboratorio para efectuar prácticas del sistema de clasificación didáctico.

1.4. Justificación.

Debido al giro que viene dando en la actualidad el control en la industria y viendo la necesidad que los estudiantes de Ingeniería Electromecánica, se afinen con estos temas de un modo más práctico, se desarrollará este proyecto que tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de clasificación didáctico para supervisar un proceso industrial en el laboratorio de hidrónica y neutrónica.

Con la creación de este módulo didáctico los docentes tendrán a su alcance herramientas para realizar determinadas prácticas; además de homogenizar el conocimiento adquirido por parte de los alumnos al manejar los dispositivos reales utilizados en las empresas, ya que le permitiría la integración del conocimiento

adquirido en las diferentes clases impartidas por la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

Este proyecto tiene la finalidad de ayudar a conocer a los estudiantes de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L un sistema modular didáctico de clasificación; donde permite conocer el funcionamiento y comportamiento de dispositivos como actuadores, sensores, sistemas electrónicos y computacionales asociados para desarrollar plantas típicas donde se puedan mostrar efectos físicos, eléctricos y mecánicos mediante diversas prácticas.

1.5. Alcance del proyecto.

El Diseño e Implementación del Sistema de Producción Modular (MPS) de clasificación didáctico hace posible un aprendizaje eficaz en condiciones reales de tiempo de esta manera permite a los estudiantes adquirir metodologías y experiencias en condiciones lo más cerca de su futura actividad profesional y a su vez nos ayuda de esta manera en el proceso de acreditación de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1. Sistemas modulares de clasificación.

La creciente necesidad de optimizar la productividad ocasiona que la automatización de los procesos industriales se convierta en una de las prioridades más acuciantes de las empresas de fabricación. Se han inventado muchas formas para el transporte de materiales, materias primas, minerales y diversos productos, pero una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas transportadoras, ya que estos elementos son de una gran simplicidad de funcionamiento.

Los sistemas de clasificación, vienen desempeñando un rol muy importante en los diferentes procesos industriales y esta se debe a varias razones entre las que destacamos las grandes distancias a las que se efectúa el transporte, su facilidad de adaptación al terreno, su gran capacidad de transporte, la posibilidad de transportar diversos materiales tales como minerales, vegetales, combustibles, fertilizantes, materiales empleados en la construcción, etc. El control automático ha sido la base sobre la cual descansa el gran adelanto industrial de los países más poderosos del planeta. Es un hecho que con procesos automatizados, las industrias progresan en cuanto producen con mayor calidad y en menos tiempo, es decir, se hacen más competitivas. [1]

El Sistema de Producción Modular (MPS) de clasificación hace posible un aprendizaje eficaz permitiendo aproximarse al mundo real de automatización industrial y cubrir necesidades prácticas, realizando los mismos pasos que se llevarían a cabo trabajando con sistemas reales, un alumno puede aprender de manera teórica sobre un dispositivo, pero no es, sino hasta cuando comienza a estudiarlo físicamente; por ello al implementar el sistema de clasificación didáctico se está en realidad capacitando de manera muy práctica y dejando en la mente lo aprendido

teóricamente al alumno, quien logrará satisfacer necesidades dentro de la industria, que servirán de base al alumno para las exigencias profesionales en el futuro.

2.1.1. Definición.

El sistema automatizado de una banda transportadora permite la ejecución de intervenciones de mantenimiento mecánico, eléctrico u de automatización de un sistema de manutención presente en numerosas líneas de producción industrial que utilizan las bandas transportadoras. Además permite realizar trabajos prácticos con orientación técnica y de mantenimiento. A continuación se muestra los campos de aplicación de los sistemas de clasificación industrial:

- Embotelladoras
- Empacadoras
- Cementeras
- Industria azucarera
- Generadoras
- Ensambladoras de partes
- Industrial del plástico
- Plantas de producción en general

Por otro lado, se encuentran los sistemas modulares de clasificación los cuales consisten en un grupo de estaciones de trabajo interconectadas en forma física y lógica por medio de sistemas automáticos de manejo de materiales e integrada por una red de procesadores digitales. El sistema regularmente tiene un procesador que realiza la función de supervisor del mismo con la finalidad de tomar decisiones, para que produzca las metas para las que fue creado a través de flujo de información digital y red de computadoras. Es una herramienta que ayuda a los profesores a mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de los alumnos en materias de sistemas y técnica de automatización industrial; así como también en la demostración del uso de la electrónica, en controles neumáticos y mecánicos para procesos

complejos de producción industrial. Los sistemas modulares didácticos están clasificados según los siguientes criterios: [2]

- Equipos didácticos básicos para la adquisición de conocimientos tecnológicos básicos generales.
- Equipos didácticos tecnológicos, que abordan temas de importancia sobre la técnica de control y regulación.
- Equipos didácticos de funciones, que explican las funciones básicas de sistemas automatizados.
- Equipos didácticos de aplicaciones, que permiten estudiar en circunstancias que corresponden a la realidad práctica.

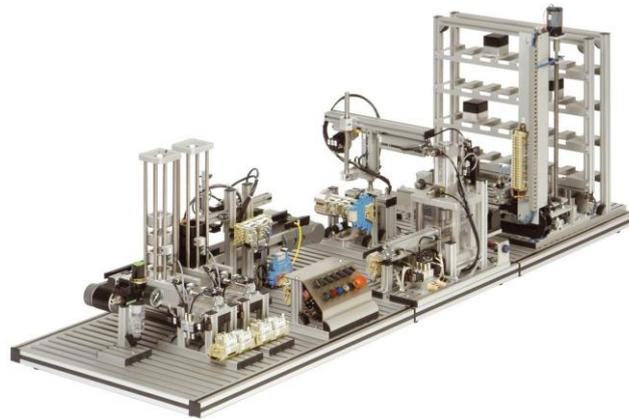


Figura 2. 1. Sistema Mecatrónico Modular Compacto

Fuente: [3]

2.2. Bandas transportadoras.

2.2.1. Definición.

Es uno de los sistemas de transporte continuo más utilizados en la manufactura, tanto para el transporte de cargas aisladas o bultos, como para materiales granulados, agrícolas e industriales, tales como cereales, carbón, minerales, etcétera.

Es considerado como un sistema que minimiza el trabajo que permite que grandes volúmenes sean movidos rápidamente a través de procesos, permitiendo a

las empresas recibir volúmenes más altos con espacios de almacenamiento menores a un menor costo. El uso de las cintas transportadoras está aplicado especialmente al procesamiento de productos industriales, agroindustriales, agrícolas, mineros, automotrices, navales o farmacéuticos. [4]



Figura 2. 2. Banda Transportadora

Fuente: [4]

2.2.2. Funcionamiento de las bandas transportadoras.

Es un sistema de transporte consistente en una cinta que se mueve continuamente entre dos o más rodillos. Esta banda es arrastrada por fricción por uno de los dos rodillos, que es accionado por un motor, sobre la que se trasladan las cargas tanto horizontalmente como con cierta inclinación. El otro rodillo gira libremente y tiene como función el de servir de retorno a la banda. [5] En el funcionamiento de las bandas transportadoras se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- **Tensión en una correa:** Es una fuerza actuando a lo largo de la cinta, tendiendo a elongarla. La tensión de la correa es medida en Newtons.

$$T = F * d \quad \text{Ec (2.1)}$$

Donde:

T → Tensión en la correa

F → Fuerza aplicada

D → distancia recorrida

- **Torque:** Es el resultado de una fuerza que produce rotación alrededor de un eje.

$$\tau = \frac{P}{w} \quad \text{Ec (2.2)}$$

Donde:

τ → Par torsional

P → Potencia (W)

w → velocidad angular (rad/s)

- **La potencia:** Es la relación entre la realización de un trabajo o transmisión de energía.

$$P = \frac{\tau}{w} \quad \text{Ec (2.4)}$$

Donde:

P → Potencia (W)

τ → Torque (N.m)

w → Velocidad angular (rad/s)

2.2.3. Dispositivos de tensado

Los dispositivos de tensado sirven para conseguir los siguientes objetivos:

- Mantener la tensión adecuada en el ramal de retorno durante el arranque, y cuando se producen variaciones de carga, para asegurar un correcto funcionamiento de la banda.
- Acomodar las variaciones de la longitud de la banda debido a las dilataciones de la misma.

- Proporcionar un almacenamiento de banda, que pueda utilizarse cuando se varía su longitud debido a un daño o a la necesidad de efectuar un empalme. Proporcionar un grado de tolerancia en la longitud de la banda instalada. [6]

2.2.4. Tipos de cintas.

Pueden llevarse a cabo las siguientes clasificaciones de las cintas ver Tabla 2.1 de acuerdo al Tipo de fabricación y en la Tabla 2.2 según el aspecto de la superficie portante de la carga.

Tabla 2. 1.

Cintas transportadoras de acuerdo al tipo de fabricación

Tipo	Clasificación
Según el tipo de tejido	<ul style="list-style-type: none"> • De algodón. • De tejidos sintéticos. • De cables de acero.
Según la disposición del tejido	<ul style="list-style-type: none"> • De varias telas o capas. • De tejido sólido.
Según el aspecto de la superficie portante de la carga	<ul style="list-style-type: none"> • Lisas (aspecto más corriente). • Rugosas. • Con nervios, tacos o bordes laterales vulcanizados.

2.2.5. Características de las bandas transportadoras.

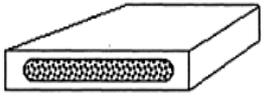
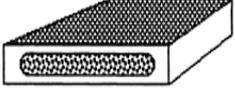
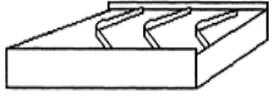
Las bandas transportadoras reúnen ciertos tipos de características entre las destacadas podemos mencionar las siguientes características:

- Alta resistencia mecánica longitudinal.

- Flexibilidad en dirección longitudinal (en rodillos) y transversal (en apoyo de rodillos). Elevada resistencia al desgaste y poca elasticidad y alta resistencia a la humedad. [4]

Tabla 2. 2.

Tipo de cintas según el aspecto de la superficie portante de la carga

Tipo de Fabricación	Descripción
 <p>Lisa</p>	Para instalaciones horizontales y de pequeño ángulo de inclinación.
 <p>De superficie rugosa</p>	Para evitar el desplazamiento de las piezas transportadas.
 <p>Con nervios en “V”</p>	Para instalaciones de elevado ángulo de inclinación, a fin de impedir el corrimiento del material

2.2.6. Selección.

Existe un gran número de variables que nos permiten llegar a una elección de la banda transportadora requerida para un proceso determinado. Entre las más importantes y comunes se tienen:

- Material a manejar: Características, temperatura, etc.
- Capacidad y peso.
- Distancia de transporte.
- Niveles de transporte.
- Condiciones ambientales.
- Clasificación de usuarios y tiempo de utilización. [4]

2.2.7. Equipo y herramientas utilizadas.

Las bandas y rodillos transportadores poseen las siguientes herramientas para poder funcionar óptimamente y con una buena eficiencia:

- a. **Estructura soportante:** la estructura soportante de una cinta transportadora está compuesta por perfiles tubulares o angulares, formando en algunos casos verdaderos puentes que se fijan a su vez, en soportes o torres estructurales apernadas o soldadas en una base sólida.

- b. **Elementos deslizantes:** son los elementos (Figura 2.3), sobre los cuales se apoya la carga, ya sea en forma directa o indirecta, perteneciendo a estos los siguientes:
 - **Correa o banda:** la correa o banda propiamente tal, que le da el nombre a éstos equipos, tendrá una gran variedad de características, y su elección dependerá en gran parte del material a transportar, velocidad, esfuerzo o tensión a la que sea sometida, capacidad de carga a transportar, etc.

 - **Elementos motrices:** el elemento motriz de mayor uso en los transportadores es el del tipo eléctrico, variando sus características según la exigencia a la cual sea sometido. Además del motor, las poleas, los engranajes, el motorreductor, son otros de los elementos que componen el sistema motriz.

 - **Elementos tensores:** es el elemento que permitirá mantener la tensión en la correa o banda, asegurando el buen funcionamiento del sistema. [4]

2.2.8. Aplicaciones.

Podemos decir que el uso general de estos sistemas es transportar elementos de un sitio a otro. De igual forma se debe considerar que las bandas transportadoras no solo se usan en la industria sino en espacios comunes como hospitales, para

transportar a las personas por bandas o escaleras eléctricas. Otros usos de estas cintas se evidencian en la carga de buques y también en su descarga. Las bandas transportadoras se utilizan para el transporte de:

- Materiales como carbón, minerales y cereales.
- Transporte de personas en recintos cerrados.
- Cargar y descargar buques cargueros o camiones.
- Transportar material por terreno inclinado.
- Industria del Cemento.
- Industria Química. [4]

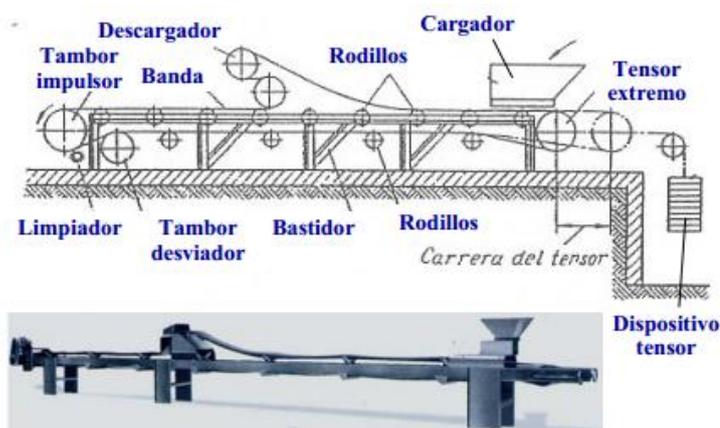


Figura 2. 3. Elementos de la banda transportadora

Fuente: [4]

2.3. Reductores de velocidad.

Consiste en un micromotor CC con una caja reductora (ver Figura 2.4), un motor de este tipo es una unidad motriz integral que incorpora un motor eléctrico y un reductor a base de engranajes, de manera que el armazón de uno soporte el del otro, ángulos diseños utilizan motores con extremos especiales en los árboles y montaje, o bien sólo éstos, en tanto que otros se adaptan a los motores standard. [7]

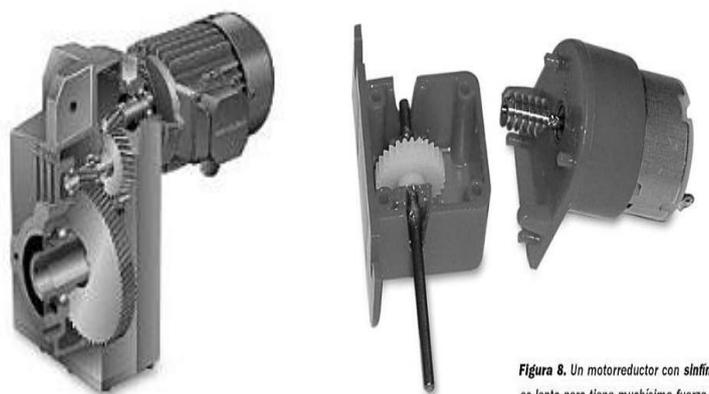


Figura 8. Un motorreductor con sinfin es lento pero tiene muchísima fuerza.

Figura 2. 4. Vista interna de la caja de reducción y un motorreductor sinfin

Fuente: [7]

2.4. Motores eléctricos.

Los motores eléctricos son utilizados en diferentes aparatos mecatrónicos, como son los robots de tamaño mediano, pues éstos no requieren de tanta velocidad ni potencia como los robots diseñados para funcionar con actuadores hidráulicos o neumáticos. Los robots que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetibilidad. Existen actuadores electrónicos que consumen una considerable cantidad de energía, para este tipo de casos se utilizan drivers. Son muy precisos y fiables, son silenciosos, su control es sencillo y son de una fácil instalación; su inconveniente es que son de potencia limitada. [8] Los actuadores eléctricos se clasifican de la siguiente manera:

- Motores CC
- Motores PAP
- Servomotores

2.4.1. Motores de corriente continua

Se encuentran con mucha más facilidad, en general están formados por dos imanes pegados a la carcasa del motor y un conjunto de bobinas de cobre en el eje del motor. El funcionamiento se basa en la tracción o la repulsión entre el campo

magnético que se genera en las bobinas por el paso de la electricidad y los imanes que se encuentran alrededor de ella (ver Figura 2.5). [7]



Figura 2. 5. Motor CC

Fuente: [7]

2.4.2. Motores Paso a Paso

Si necesitáramos precisión en la cantidad de rotaciones del motor, sería casi imposible lograrlo con un motor de CC (ver Figura 2.6). Los motores de cc tardan un tiempo en lograr la velocidad buscada y cuando se los deja de alimentar, poseen inercia y tardan en detenerse. Por lo tanto es una cuestión de lograr un número preciso de vueltas. Si le agregamos un sistema de reducción al motor podremos disminuir el problema, pero no desaparece por completo por la cantidad de variables que entran en juego: fricción de los engranajes, peso del rotor, fricción interna del motor, temperatura, etc.

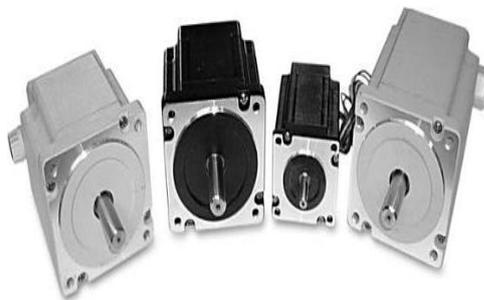


Figura 2. 6. Motores PaP

Fuente: [7]

Para lograr esta precisión necesitamos un motor PAP o un servo. Los motores PAP tienen un mecanismo que les permite girar un ángulo determinado. Los más comunes están formados por un rotor (un imán permanente) y un conjunto de bobinados en el estator. No giran libremente por sí mismos, sino que avanzan a girar pequeños pasos por cada pulso que se aplica. El tamaño en paso en grados es lo que definirá la precisión que tendremos en nuestro motor. [7]. En la Tabla 2.3 podemos ver sus ventajas y desventajas de estos motores.

Tabla 2. 3.

Ventajas y desventajas de los motores PaP

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - El ángulo de rotación es proporcional a los pulsos de entrada. - El motor tiene torque máximo cuando el mismo está enclavado (bobinas energizadas). - Exactitud en la posición y repetición de movimientos. Los motores PaP tienen un error de 3 a 5% del paso. - Excelente respuesta ante arranque, parada y reversa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ocurrir un fenómeno de resonancia si el motor no es controlado adecuadamente. - Muy difícil de operar a altas velocidades.

2.4.3. Servomotores

Un servo es un motor CC pero con dos características fundamentales que lo diferencian: una caja de reducción interna al motor que le brinda un gran torque y un sistema electrónico de control que le permite posicionar al motor en el ángulo deseado (ver figura 2.7), se utiliza con mucha frecuencia en aparatos radio controlados como aviones, barcos y autos a control remoto. También se usa en

robótica por su bajo peso y sus altas prestaciones [7]. En la Tabla 2.4 se muestra un resumen de las características de los motores de V cc.

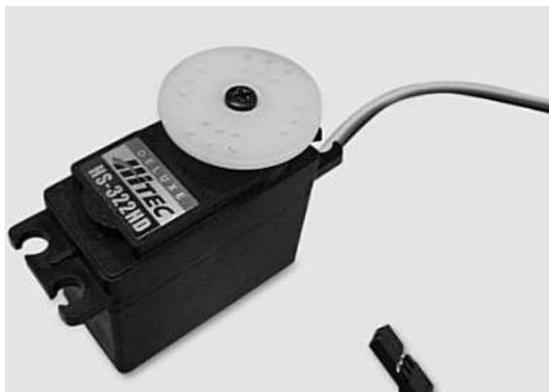


Figura 2. 7. Servomotor Hitech

Fuente: [7]

2.5. Sistema de automatización

2.5.1. Sensores.

Un sensor es un dispositivo para detectar y señalar una condición de cambio. ¿Y que es esta condición de cambio? Con frecuencia se trata de la presencia o ausencia de un objeto o material (detección discreta). También puede ser una cantidad capaz de medirse, como un cambio de distancia, tamaño o color (detección analógica) Esta información o salida del sensor, es la base del proceso de monitoreo y control de un proceso de fabricación. Los sensores tienen la tarea de medir información y transferirla a la parte de procesamiento de las señales de forma que pueda ser fácilmente procesada. [9] .

2.5.2. Tipos de sensores discretos.

Entregan una señal binaria, uno o cero, encendido o apagado (on u off) al detectar un cambio en el fenómeno físico, o magnitud, siendo capaces así de cerrar o abrir un circuito, entre los cuales podemos clasificar los siguientes:

a. Sensor inductivo.

Este tipo de sensor por su naturaleza de operación se dedica a detectar la presencia de metales. Los sensores inductivos se basan en corrientes inducidas por campos magnéticos para detectar objetos metálicos cercanos.

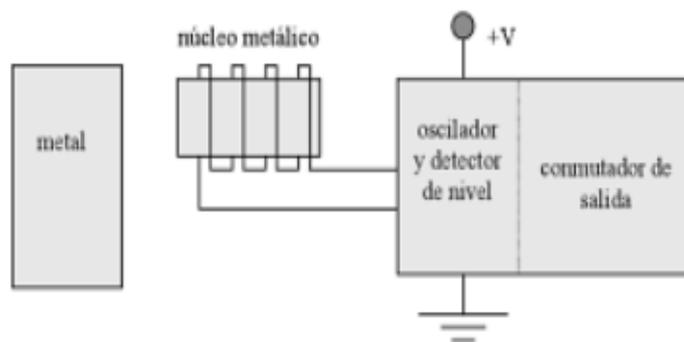


Figura 2. 8. Sensor Inductivo

Fuente: [10]

El sensor usa un núcleo (inductor) para generar un campo magnético de alta frecuencia, como se muestra en la Figura 2.8. Si existe un objeto metálico cerca del campo magnético, circulará corriente por el objeto, que a su vez creará un nuevo campo magnético que se opone al inductor. El efecto neto es un cambio en la inductancia del núcleo en el sensor inductivo. Por tanto, midiendo la inductancia del sensor se puede determinar que existe un objeto metálico cerca. [10]

b. Sensor óptico.

El sensor óptico genera una barrera a base de la emisión de un haz de luz infrarrojo, motivo por el cual este sensor se dedica a la detección de interferencias físicas o incluso a identificar colores y obtener distancias. Requieren de una fuente de luz el emisor y un detector. Los emisores producen rayos de luz en los espectros visibles e invisibles usando leds y diodos láser. Los detectores se construyen habitualmente usando fotodiodos y fototransistores. Se colocan de tal forma que

puedan detectar si un objeto corta o refleja el rayo. [10]. En la Tabla 2.5 podemos ver a más detalle la clasificación de los sensores ópticos y sus características.

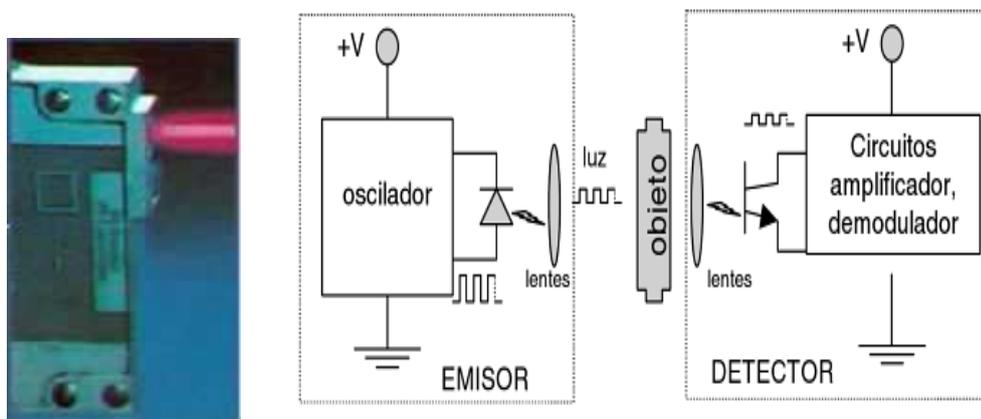


Figura 2. 9. Funcionamiento de los sensores ópticos

Fuente: [10]

En la Figura 2.9. Se genera el rayo de la luz izquierda y se concentra usando lentes. En la parte del detector también se usa una segunda lente para concentrar el rayo. Si un objeto corta el rayo de luz indicará que hay un objeto presente. El hecho de emitir una onda cuadrada de luz es para que el sensor pueda filtrar la luz normal presente. [10]

c. Sensor capacitivo.

Son capaces de detectar la mayoría de materiales funciona bien para plásticos, la capacitancia C en Faradios viene dada por $C=A*k/d$, donde k es la constante dieléctrica del espacio entre platos enfrentados, A es el área de los platos enfrentados y d la distancia entre los platos. En el sensor el área de los platos y la distancia entre ellos es fija, pero la constante dieléctrica del espacio alrededor puede variar en función del material que se acerque al sensor. Una ilustración es la Figura 2.10 donde se usa un campo oscilatorio para determinar la capacitancia de los platos, cuando este cambia dentro del margen de sensibilidad preestablecido, el sensor se activa como consecuencia de un cambio de amplitud de la señal oscilatoria. [10]

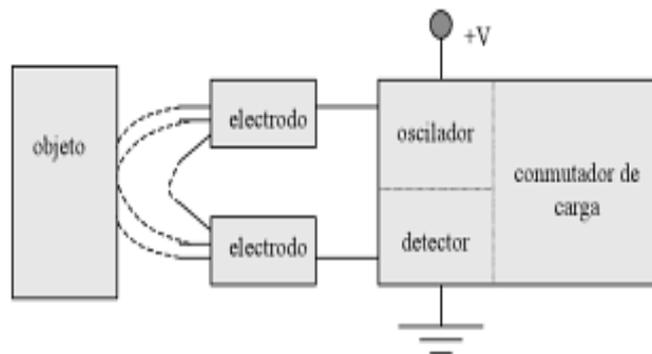


Figura 2. 10. Sensores capacitivos

Fuente: [10]

La constante dieléctrica del aire que es igual que 1, cualquier otro material que puede ser plástico, vidrio, agua, cartón, etc, tienen una constante dieléctrica mayor que 1, para detectar un material que no sea el aire, el sensor capacitivo tiene que ser ajustado para que sepa que material debe detectar. En la Tabla 2.6 se resume las características de los sensores discretos.

Tabla 2. 4.

Características de los motores eléctricos

	Motores reductores	Motores Paso a Paso	Servomotores
RECORRIDO	MOTORES DE ROTACIÓN CONTINUA EN SUS 360°		El recorrido del eje de salida es de 180° en la mayoría de ellos, pero puede ser fácilmente modificado para tener un recorrido libre de 360° y actuar así como un motor.
CARACTERÍSTICAS	Tienen una rotación continua rápida y son utilizados para cualquier cosa que necesite para hacer girar a altas RPM	Es más lento, su rotación es precisa, es de fácil configuración y control	Tienen un alto par rápido y rotación precisa dentro de un ángulo limitado, son por lo general una alternativa de alto rendimiento a los motores paso a paso
CONTROL DE VELOCIDAD	El control de la velocidad es mediante la modulación de ancho de pulso. Cada pulso es tan rápida que el motor parece estar girando continuamente sin tartamudeo.	Utilizan múltiples electroimanes dentados dispuestos alrededor de un engranaje central para definir su posición. Requieren de un circuito de control externo o microcontrol	Los servomotores reciben una señal de control que representa una posición de salida y se aplica energía al motor de CC hasta que el eje gira a la posición correcta, determinado por el sensor de posición.

CONTINÚA



DISPONIBLE EN: APARATOS ELÉCTRICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Máquinas de envase y embalaje. - Cintas transportadoras. - Ventilación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disqueteras, - Reproductor de DVD - impresora 	<ul style="list-style-type: none"> - Un sistema de movilización de cámaras de vigilancia. - Las puertas automáticas de un ascensor. - Movimiento de palancas
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo consumo de energía en el transporte, disponibilidad en el mercado, costo relativamente bajo 	<ul style="list-style-type: none"> -Precisión aceptable, repetitividad, control sencillo y realizable con circuitos lógicos, bajas vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> -Precisión, velocidad aceptable, facilidad en el control, bajas vibraciones
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento costoso y laborioso - complejidad en el sistema de posición al necesitar la adaptación de encoders y puente H para cambio de giro - Altas vibraciones - Baja precisión 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita varias variables para su control - Alto consumo de energía - Sobre calentamiento en la bobinas si se requiere mantener una posición 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevado - Media disponibilidad en el mercado

Tabla 2. 5.

Características de los sensores ópticos

	Sensor de barrera	Sensor réflex	Sensor retro - réflex
Alcance	-Alcance máximo de 40 m -Instalación sencilla -Ajuste fácil	-Alcance máximo de 6000 mm -Detección segura de objetos pequeños -Detección bajo condiciones difíciles	-Alcance máximo de 30 cm -Detección segura de objetos pequeños
Diferencias	-Rango largo de trabajo -Detección de objetos pequeños, aun a largas distancias -Adaptable a condiciones de ambiente -Los objetos pueden ser difusores o altamente reflectivos o semi-transparentes	-Instalación simple y ajuste. -Generalmente tienen un rango de trabajo mayor en comparación con los sensores réflex.	- Grandes distancias de detección, alta velocidad de respuesta, identificación de colores y detección de pequeños objetos.
Condiciones de trabajo	-Se requieren dos módulos de sensor, con cableado separado -No se puede usar con objetos completamente transparentes.	-Objetos transparentes bajo ciertas condiciones, se pueden detectar con ajustes en el potenciómetro. - Objetos altamente reflejantes deben ser orientados de manera que la reflexión no llegue al receptor.	-Los reflejantes se pueden dañar o ensuciar y esto disminuye el rango de trabajo Y la eficiencia.

Tabla 2. 6.

Características técnicas de los sensores discretos

	Sensor inductivo	Sensor capacitivo	Sensor óptico
Tensión de alimentación	10- 30 V Dc	10- 30 V Dc	10- 30 V Dc
Distancia de detección	0 - 8 mm	5 - 20 mm	5 - 60 mm
Frecuencia	Hasta < 600 Hz	Hasta < 30 Hz	Hasta < 30 Hz
Corriente salida	< 200 mA	< 200 mA	< 200 mA
Temperatura ambiente	-20 a 70 °C	-20 a 85 °C	-20 a 85 °C
Aplicaciones	-Maquinas textiles. -Sistemas de transporte. -Equipos de empaquetado y paletizado -Industria automotriz y alimenticia -Domótica.	Harina, azúcar, leche en polvo, posicionamiento de cintas transportadoras, detección de bobinas de papel, conteo de piezas no metálicas, entre otros.	-Automatismo, acondicionamiento Control de cadenas

Tabla 2. 7.

Características de los actuadores neumáticos.

Actuadores de simple Efecto	Actuadores de doble efecto	Actuadores Rotativos de paleta	Actuadores rotativos piñón -cremallera
Con una entrada de aire para producir una carrera de trabajo en un sentido	Con dos entradas de aire para producir carreras de trabajo de salida y retroceso	Similar a los cilindros de doble efecto con dos entradas de aire.	Similar a los cilindros de doble efecto con dos entradas de aire
No sobrepasan una carrera de 100mm	No sobrepasan una carrera de 2000mm	No superan los 270°	Superan los 180°
Existe una reducción de impulso debido a la fuerza contraria del resorte, para conseguir la misma fuerza que uno de doble efecto el diámetro interno deberá ser más grande.	No se pierde fuerza en el accionamiento debido a la inexistencia del muelle en oposición	Una paleta delimita las dos cámaras	El vástago es una cremallera que acciona un piñón. Transforma el movimiento lineal en un movimiento giratorio
El émbolo se hace retornar por medio de un resorte interno	Se dispone de una fuerza tanto de ida como de regreso lo que hace retornar al cilindro	Al aplicar aire comprimido en una de sus cámaras la paleta tiende a girar sobre un eje, siempre y cuando exista diferencia de presión a la cámara contraria	Al aplicar aire comprimido en una de sus cámaras el sistema piñón cremallera tiende a girar sobre un eje siempre y cuando exista diferencia de presión a la cámara contraria

2.5.3. Tipos de sensores analógicos.

Son aquellos que a su salida entregan un valor de tensión o corriente variable en relación a la variación de la magnitud medida, los rangos más comunes están: De 0 a 10v, de -5 a 5v, de 4 a 20mA. Los cuales podemos clasificar véase Figura 2.11 de la siguiente manera:

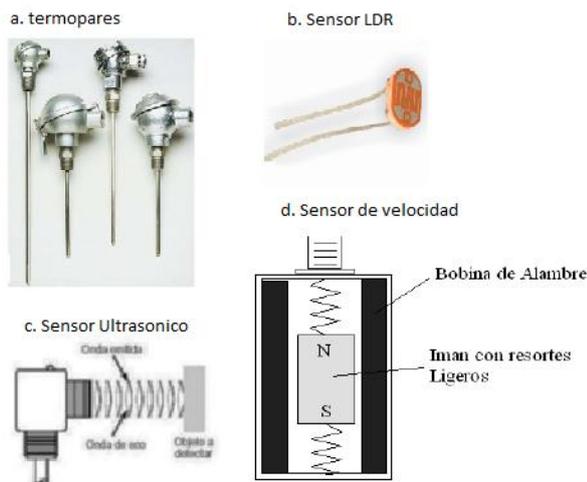


Figura 2. 11. Sensores analógicos.

2.5.4. Fuente de alimentación.

La tensión alterna de la fuente de alimentación se la convierte en una tensión continua y lo más estable posible (ver Figura 2.12), para ello se usan los siguientes componentes: 1.- Transformador de entrada; 2.- Rectificador a diodos; 3.- Filtro para el rizado; 4.- Regulador lineal.

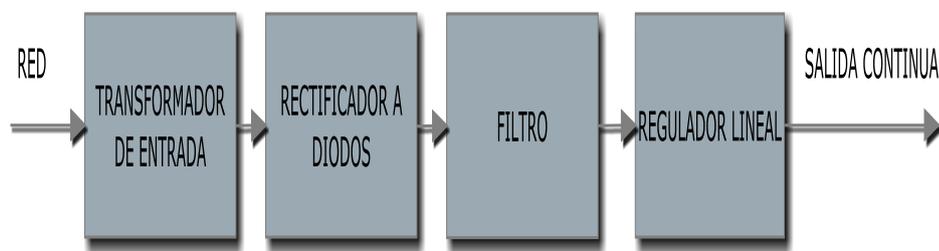


Figura 2. 12. Componentes de una fuente de alimentación

2.6. Actuadores neumáticos.

Los actuadores son dispositivos mecánicos que brindan la posibilidad de transformar energía para generar el funcionamiento dentro de un sistema automatizado determinado. Estos generan una fuerza a partir de distintos elementos, como puede ser energía eléctrica, líquido o bien en estado gaseoso los cuales son su fuente de energía.

Los actuadores neumáticos tienen como fuente de energía el aire. Entre este tipo de actuadores destacan los cilindros neumáticos, que pueden ser de simple o doble efecto, los motores neumáticos, formado por paletas rotativas o pistones axiales y las válvulas neumáticas y electro neumáticas. Los actuadores neumáticos presentan las ventajas de que son baratos, rápidos, sencillos y muy robustos; pero requieren instalaciones especiales, son muy ruidosos y difíciles de controlar. [8]

2.6.1. Actuadores de simple efecto.

El actuador de simple efecto puede realizar trabajo en un único sentido, es decir, el desplazamiento del embolo por la presión del aire comprimido tiene lugar en un solo sentido, pues el retorno a su posición inicial se realiza por medio de un muelle recuperador que lleva el cilindro incorporado o bien mediante la acción de fuerza exteriores. [11]

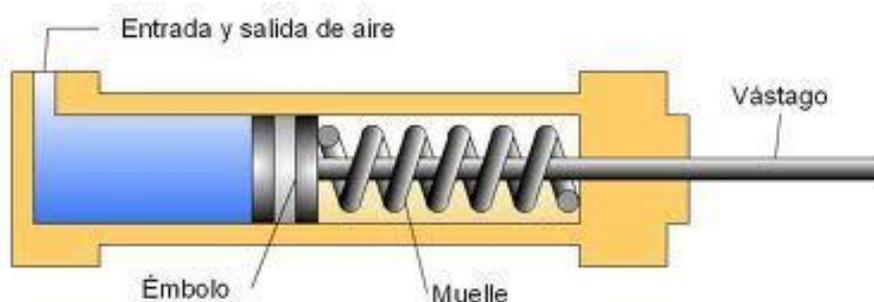


Figura 2. 13. Sección de un cilindro de simple efecto.

Fuente: [11]

El movimiento de trabajo es efectuado por el aire a presión que obliga a desplazarse al émbolo comprimiendo al muelle y al desaparecer la presión, el muelle hace que regrese a su primitiva posición de reposo, por eso se utilizan cuando el trabajo debe realizarse en una sola dirección (ver Figura 2.13). Por regla general la longitud de carrera no supera los 100mm, por razones prácticas son de diámetro pequeño y la única ventaja de estos cilindros es su reducido consumo de aire para aplicaciones auxiliares en las automatizaciones. [11]

2.6.2. Actuadores de doble efecto.

Al decir doble efecto significa que tanto el movimiento de salida como el de entrada son debidos al aire comprimido, es decir, el aire comprimido ejerce su acción en las dos cámaras del cilindro, de esta forma puede realizar trabajo en los dos sentidos del movimiento.

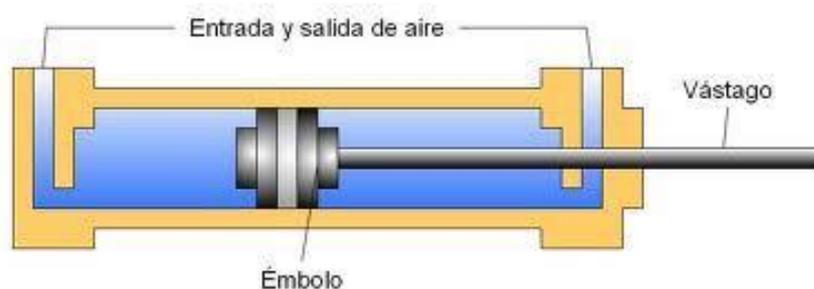


Figura 2. 14. Sección de un cilindro de doble efecto.

Fuente: [11]

Al aplicar aire a presión en la cámara posterior y comunicar la cámara anterior con la atmosfera a través de una válvula, el cilindro realiza la carrera de avance, la carrera de retroceso se efectúa introduciendo aire a presión en la cámara anterior y comunicando la cámara posterior con la atmosfera igualmente a través de una válvula para la evacuación del aire contenido en esa cámara del cilindro (ver Figura 2.14). [11] Una de las desventajas del cilindro de doble efecto es que consume el

doble de cantidad de aire comprimido. Los cilindros de doble efecto tienen como ventajas al cilindro de simple efecto:

- Posibilidad de realizar trabajo en los dos sentidos.
- No se pierde fuerza para comprimir el muelle
- No se aprovecha toda la longitud del cuerpo del cilindro como carrera útil.

Los fabricantes de cilindros adoptan varios criterios sobre las dimensiones de los mismos ya que, según las procedencias o las licencias de fabricación que poseen, adoptan unas u otras normativas.

# Emb mm	# Vas. mm	Carreras estandar mm	Fuerza avance en Kp a.			Fuerza retroceso en Kp a.			Consumo por ciclo en cm ³ /mm a.		
			4 bar	6 bar	8 bar	4 bar	6 bar	8 bar	4 bar	6 bar	8 bar
10	4	15-25-50	3.12	4.68	6.24	2.64	3.96	5.28	0.72	1.01	1.30
16	6	15-25-50-75	8	12	16	6.8	10.2	13.6	1.93	2.70	3.50
20	8	15-25-50-75	12.5	18.8	25.1	10.5	15.8	21.1	2.90	4.10	5.20
25	10	15-25-50-75-100	19.6	29.4	39.2	16.5	24.7	33	4.50	6.30	8.10
32	12	25-50-75-100-150 200-250-300	32	48	64	27.2	40.8	53.4	7.72	10.8	14.0
40	16	25-50-75-100-150 200-250-300	50	75.2	100	42	63.2	84.4	11.6	16.4	20.8
50	18	50-75-100-150-200 250-300	78.4	117.6	156.8	66	98.8	132	18	25.2	32.4
63	22	50-75-100-150-200 250-300	128	189	252	111.2	166.8	222.4	30.4	42.5	55.1
80	22	50-75-100-150-200 250-300	204.8	307.2	409.6	189.2	283.8	378.4	46.4	65.6	83.2
100	30	50-75-100-150-200 250-300	320	480	640	292	438	584	72	100.8	129.6

Figura 2. 15. Características de los cilindros de doble efecto.

Fuente: [11]

Los valores indicados en la Figura 2.15 se refieren a los datos más comunes de los cilindros existentes en el mercado. Los valores correspondientes indicados pueden ser considerados como valores medios orientativos, dentro de la amplia gama existente en el mercado.

2.6.3. Actuadores rotantes.

La función de este tipo de actuador es la de obtener movimientos de rotación alternativos. Con este fin los fabricantes han recurrido a diferentes mecanismos y principios que comprenden el uso de paletas internas, sistemas de piñón y cremallera o mecanismos de palancas articuladas como el llamado yugo escocés.

Uno está basado en el principio de piñón y cremallera simple, formado por dos cilindros contrapuestos cuyos pistones están unidos por un vástago – cremallera movido en forma alternada por los mismos (ver Figura 2.16). Dicha cremallera engrana con un piñón, de modo de transformar el movimiento lineal del conjunto en un movimiento de rotación. Obviamente, el ángulo de rotación queda limitado por la carrera de los cilindros. Las características de control de velocidad resultan similares a la de los cilindros neumáticos lineales. [12]

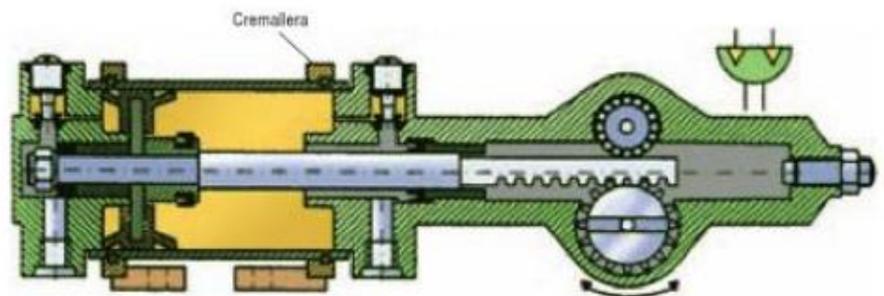


Figura 2. 16. Cilindro de giro piñón-cremallera

Fuente: [12]

Puede controlarse la velocidad en forma independiente en ambos sentidos de rotación, controlando el flujo de aire comprimido, y el par torsor por medio de la presión. Los ángulos de rotación que pueden obtenerse pueden variar desde unos pocos grados a uno o dos giros, según sea la carrera de los cilindros. Los actuadores rotantes neumáticos son empleados en:

- Rotación angular.
- Órganos de máquinas - herramientas, transporte de piezas en alimentadores.
- Selección de pistas en separadores.
- Comando a distancia de válvulas rotantes.

- Movimientos angulares periódicos en máquinas especiales en ambientes explosivos, aperturas de puertas, mezcladoras, etc.

Los actuadores rotantes de paleta son dispositivos mecánicos que convierten la energía del aire comprimido en movimiento rotativo alternado. Poseen como ventaja distintiva, respecto a otras soluciones similares, su gran resistencia a los esfuerzos laterales en el eje. Pueden funcionar con aire comprimido sin lubricación. Los sellos garantizan un movimiento suave, gran estanqueidad, bajo Stick-Slip (presión mínima para comenzar el movimiento) y millones de ciclos sin mantenimiento. Se ofrecen para giros de 90°, 180° y 270°. [12]. En la Tabla 2.7 se especifica diferencias y características de los actuadores neumáticos.

2.7. Elementos adicionales del sistema neumático.

2.7.1. Manguera.

Las mangueras son accesorios utilizados para conducir el aire comprimido de los sistemas neumáticos (Figura 2.17), en donde se requiere un medio de conducción seguro, ligero, resistente y flexible, de aire comprimido.



Figura 2. 17. Manguera neumática

Fuente: [13]

2.7.2. Racores.

Los racores (Figura 2.18) se utilizan para prevenir fugas de aire y estos son de conexión instantánea que sirve para unir tubos u otros perfiles cilíndricos.



Figura 2. 18. Tipos de racores

Fuente: [13]

2.7.3. Controladores de flujo.

Se utiliza estas válvulas para regular el flujo directamente sobre las cabezas del cilindro (ver Figura 2.19).

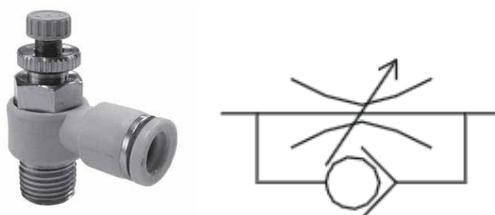


Figura 2. 19. Control de flujo y su símbolo

Fuente: [13]

2.7.4. Unidad de mantenimiento (FRL).

Los compresores aspiran aire húmedo y sus filtros de aspiración no pueden modificar esto, ni eliminar totalmente las partículas contenidas en el aire atmosférico del lugar donde esté situado el propio compresor es por ello que se utilizan las unidades de mantenimiento (FRL). La unidad de mantenimiento es un conjunto de elementos de acondicionamiento constituido por un filtro (F), un regulador de presión (R) y un lubricador (L) (ver Figura 2.20).

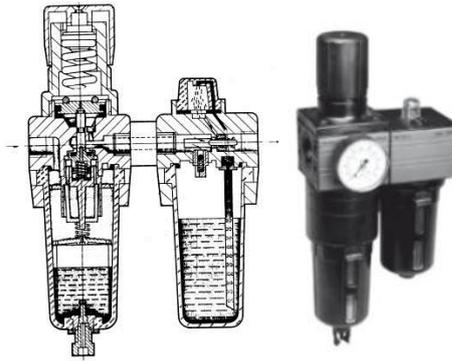


Figura 2. 20. Unidad de mantenimiento

Fuente: [14]

- a. **Filtro separador de agua.-** Sirve para eliminar impurezas que aún pueden llevar al aire comprimido. Este circula a través de un cartucho filtrante que retiene las partículas en suspensión y deposita el agua, que se acumula en el fondo del depósito, de donde se elimina periódicamente por medio de la purga manual o automática. Hay que realizar limpieza periódica del filtro o cambiarlo, de acuerdo al caso para garantizar el correcto funcionamiento. [14]

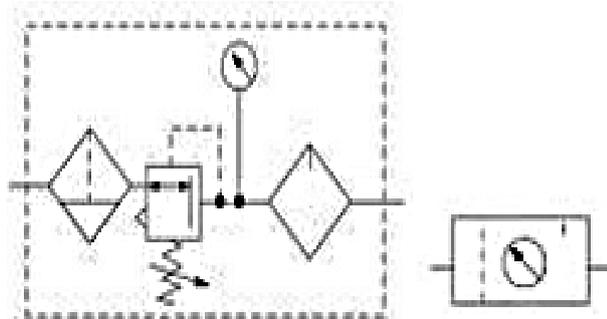


Figura 2. 21. Simbología de la unidad de mantenimiento

Fuente: [14]

- b. **Regulador de presión.-** Una vez filtrado el aire pasa por el regulador de presión y este es reducido a un valor constante. El valor ajustado puede leerse en un manómetro. Para permitir un funcionamiento uniforme, la presión ajustada debe ser ligeramente inferior a la presión mínima de la red. [14]
- c. **Lubricador de aire comprimido.-** Los elementos neumáticos al tener piezas móviles, deben recibir una pequeña dosis de aceite para su lubricación constante.

Para ello se utiliza el mismo aire comprimido, que actúa de vehículo portador. No obstante no debe exagerarse la lubricación, ya que podrían obstruirse los conductos más pequeños de los elementos. [14].

2.8. Controlador Lógico Programable (PLC).

El término “Controlador Lógico Programable” es definido como sigue por NEMA (National Electrical manufacturers Association) Asociación nacional de fabricantes eléctricos:

“Un aparato digital que usa una memoria programable para almacenar internamente instrucciones e implementar funciones específicas, como lógicas, secuencia, sincronización, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos digitales o analógicos de entrada y salida, diversas clases de máquinas o procesos.” [15]

2.8.1. Ventajas e inconvenientes del PLC

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello debido principalmente, a la variedad de tipos existentes en el mercado y a las innovaciones tecnológicas que surgen constantemente.

Ventajas

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos.
- Una automatización relativamente económica.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Menor costo de mano de obra de instalación.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta de funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción. [15]

Inconvenientes

Como desventajas se tiene que se requiere de un programador, lo que obliga a preparar a uno de los técnicos. Dado que el PLC cubre de forma correcta una amplia visión de necesidades, desde los métodos lógicos cableados hasta el microcomputador, el investigador debe conocer a fondo las prestaciones y limitaciones del PLC. Por tanto, aunque el coste inicial debe ser tenido en cuenta a la hora de decidírnos por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás componentes para asegurarnos una decisión acertada.

2.8.2. Componentes internos de un PLC

La estructura interna del PLC son aquellas partes en que ordenan un conjunto físico o hardware, a continuación en la Figura 2.22 se da a conocer la estructura interna por la que está conformado un PLC.

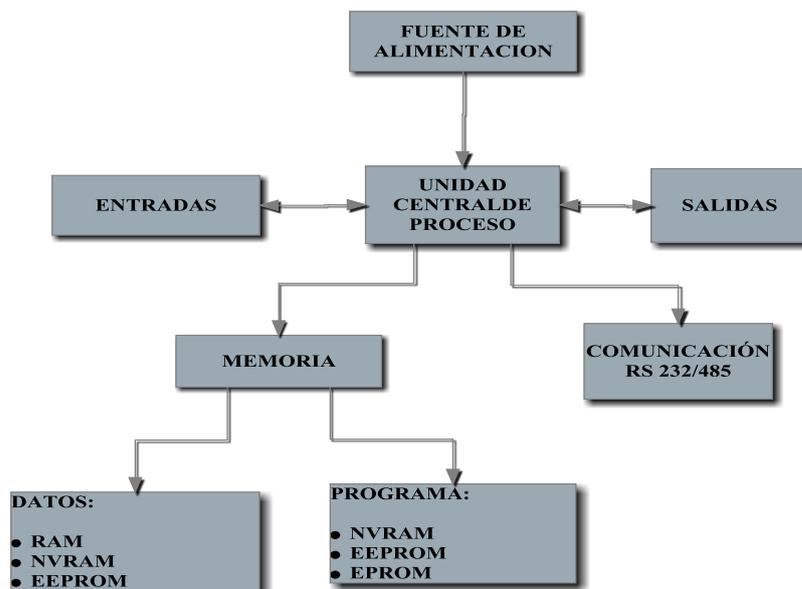


Figura 2. 22. Estructura externa de un PLC

a. Unidad central de proceso (CPU).

Se considera el cerebro del PLC, aquí se ejecuta la lógica de programación, a través del procesador y la memoria, y en función de las entradas activa las salidas que intervienen en el proceso.

b. Entradas

Las entradas son las encargadas de adaptar y codificar, de una manera comprensible de la CPU del controlador lógico, las señales que le llegan a los bornes de entrada procedentes de pulsadores, finales de carrera, contactos de contactores, de fotocélulas, de temporizadores, etc.

Las señales que llegan a los bornes de los controladores lógicos pueden proceder de dispositivos con tensión, como es el caso de los detectores de proximidad y de las fotocélulas. Podemos atender dos grandes grupos de señales de entrada, atendiendo al tipo de señal: [15]

- **Entradas digitales:** son aquellas señales que adoptan siempre un valor fijo, es decir todo o nada. Este es nuestro caso tensión o ausencia de la misma. Ejemplo de elementos de este tipo son Los finales de carrera, interruptores, pulsadores, etc.
- **Entradas analógicas:** son aquellas señales que pueden adoptar distintos valores de entrada de un controlador lógico. Valores de 0-10 V Dc esta señal puede ser de un equipo electrónico con alimentación independiente o de un equipo que utilice la misma alimentación del controlador lógico. Estas señales proceden de magnitudes físicas temperatura, presión, velocidad , etc [15]

c. Salida

La identificación de las salidas se realiza con la indicación de output o salida. Es en las salidas donde se conectan o acoplan los dispositivos de salida o actuadores. Tres son los tipos de salidas que se pueden dar:

- a relé,
- a transistor,
- a triac.

Mientras que la salida a transistor se utiliza cuando los actuadores son a CC, las de relés y triacs suelen utilizarse para actuadores a AC. En cuanto a las intensidades que soportan cada una de las salidas, éstas son variables; pero, suelen oscilar entre 0,5 y 2 A. Al igual que en las entradas, las salidas pueden ser analógicas y digitales si bien estas últimas son las más utilizadas. En las analógicas es necesario un convertidor digital analógico D/A que realice la función inversa a la de la entrada. [15]

d. Interfaces o módulo de entradas o salidas

Son canales de comunicación con diferentes dispositivos o con el exterior por ejemplo: PLC-PC, PLC-PLC, PLC – HMI, etc. Los módulos de entrada o salida (Figura 2.23), son tarjetas electrónicas que proporcionan el vínculo entre la CPU del controlador programable y los dispositivos de campo del sistema.



Figura 2. 23. Interfaces

Fuente: [16]

A través de ellas se origina el intercambio de información, ya sea con la finalidad de adquirir de datos, o para el mando o control de las máquinas presentes en el proceso. [16] . Se caracterizan por no influir en las variables de estado del proceso de automatización. Únicamente se encargan de adecuar las E/S, para que puedan ser inteligibles por el PLC, si son entradas, o para que puedan ser interpretadas correctamente por actuadores (motores, cilindros, etc.), en el caso de las salidas.

e. Fuente

Esta unidad acopla los valores de voltaje de la red convencional (110/220 v AC) y los valores de trabajo del controlador lógico normalmente 24 v DC.

2.8.3. Lenguaje de programación.

Para programar un PLC es necesario conocer el lenguaje de programación, dependiendo de la marca y modelo de PLC son los lenguajes que maneja, pero los siguientes son los lenguajes básicos:

- Diagrama de escalera (Ladder Diagram o Kontakplan) LDR o KOP.
- Lista de Instrucciones (Statement List o Anweisungsliste) STL o AWL.

2.9. Interfaz Hombre – Máquina (HMI).

La sigla HMI es la abreviación en ingles de Interfaz Hombre Maquina. Las señales del procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos Figura 2.23 como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores) como se muestra en la Figura 2.24. Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI como se muestra en la Figura 2.25. [17]

2.9.1. Tipos de HMI

- Desarrollos a medida. Se desarrollan en un entorno de programación gráfica como VC++, Visual Basic, Delphi, etc.
- Paquetes enlatados HMI. Son paquetes de software que contemplan la mayoría de las funciones estándares de los sistemas SCADA. Ejemplos son FIX, WinCC, Wonderware, etc.

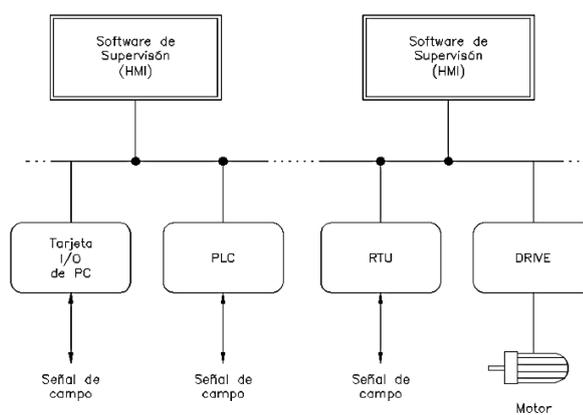


Figura 2. 24. Señales de programación en HMI

Fuente: [17]

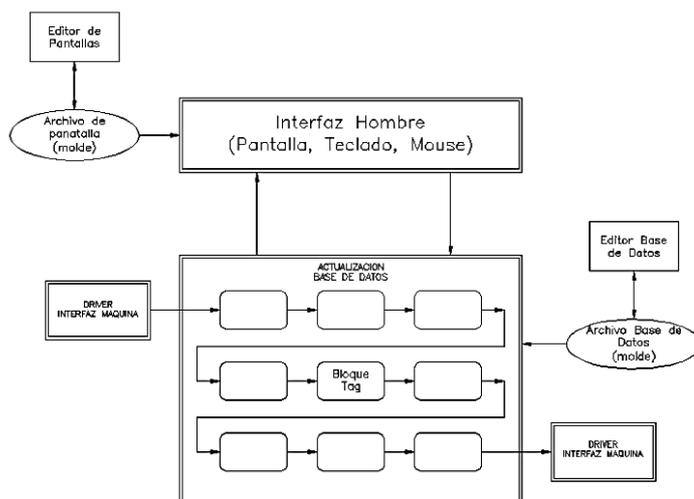


Figura 2. 25. Estructura del software HMI.

Fuente: [17]

2.9.2. Funciones de un Software HMI

- a. **Monitoreo:** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- b. **Supervisión:** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- c. **Alarmas:** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos.
- d. **Control:** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema.
- e. **Históricos:** Es la capacidad de mostrar y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos. [17]

2.9.3. Tareas de un Software de Supervisión y Control

- Permitir una comunicación con dispositivos de campo.
- Actualizar una base de datos “dinámica” con las variables del proceso.
- Visualizar las variables mediante pantallas con objetos animados (mímicos).
- Permitir que el operador pueda enviar señales al proceso, mediante botones, controles ON/OFF, ajustes continuos con el mouse o teclado.

- Supervisar niveles de alarma y alertar/actuar en caso de que las variables excedan los límites normales.
- Almacenar los valores de las variables para análisis estadístico y/o control.
- Controlar en forma limitada ciertas variables de proceso. [17]

2.10. Ethernet industrial.

La tendencia actual es nivelar la estructura de la red y utilizar el menor número posible de tecnologías para reducir el coste de propiedad Ethernet (Figura 2.26) se ha transformado en el estándar de la conectividad para ambientes corporativos y hogareños por su alta velocidad, bajo costo, facilidad de instalación y mantenimiento, entre otros factores. Hace algunos años, comenzó a popularizarse el concepto de Ethernet Industrial, que engloba el uso de la tecnología Ethernet para aplicaciones de control y automatización en un ambiente industrial pero para ello debe fijarse en el protocolo. [18]

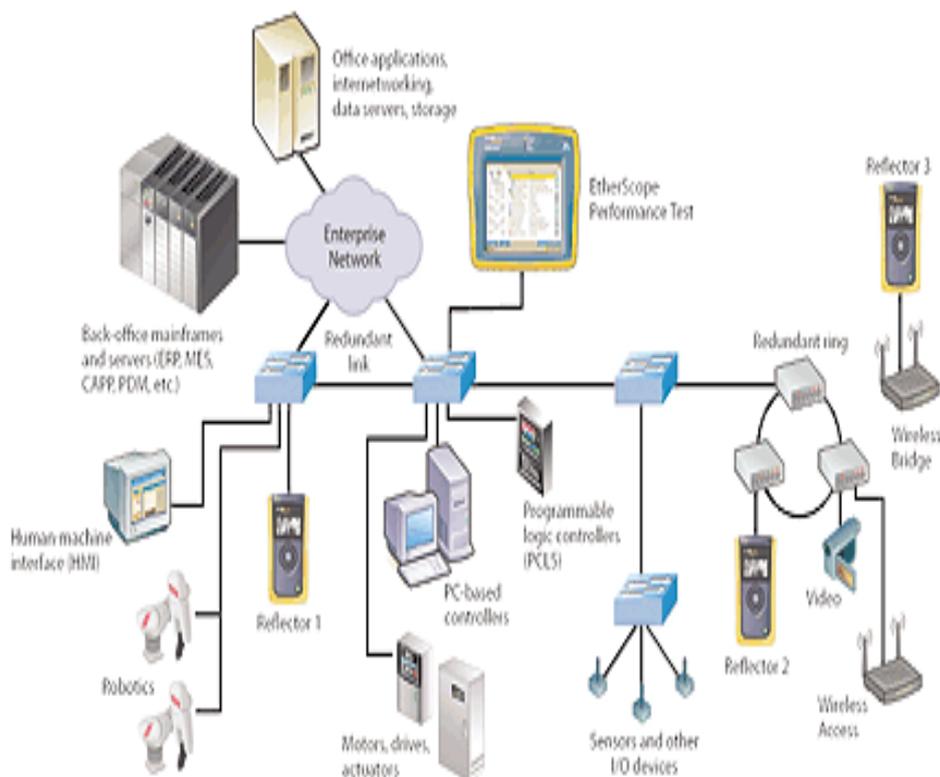


Figura 2. 26. Red Ethernet Industrial

Fuente: [18]

2.10.1. Topologías de Ethernet Industrial.

a. Bus

Las estaciones están unidas entre sí a través de unas líneas comunes compartidas por todos los nodos como se muestra en la Figura 2.27. Sus beneficios son flexibilidad, el fallo de una estación no provoca fallos en la red, fiabilidad, mientras que los inconvenientes pueden presentar en la rotura del cable afectaría a todos los usuarios, límites de longitud del cable. [18]



Figura 2. 27. Topología bus.

Fuente: [18]

b. Anillo

Cada equipo se conecta con otros dos lazos cerrados y los datos circulan en una sola dirección de forma que cada punto recoge información del anterior, comprueba si él es el destinatario y, en caso contrario, lo retransmite al siguiente como se muestra en la Figura 2.28. Los beneficios son igual acceso para todos los equipos, añadir usuarios no afecta excesivamente, mientras que los inconvenientes se pueden presentar en el fallo del cable afectaría a muchos usuarios, la conexión y el cableado es costoso, y difícil añadir equipos. [18]

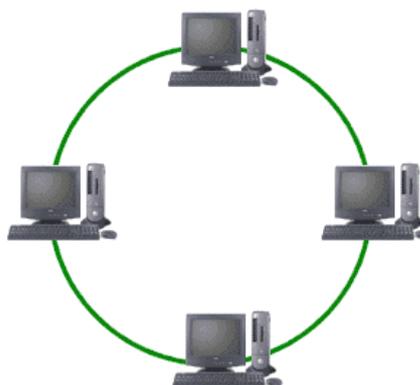


Figura 2. 28. Topología Anillo

Fuente: [18]

c. Estrella

Todos los nodos están conectados a un nodo central, por el cual pasan todos los datos y sirve de punto de enlace con los nodos periféricos como se muestra en la Figura 2.29. Entre los beneficios se encuentran la facilidad de añadir nuevas estaciones, el manejo y monitorización de la red está centralizado, la rotura de un cable solo afecta a un usuario y los inconvenientes son: mucho cableado, si falla el computador central se inutiliza la red. [18]

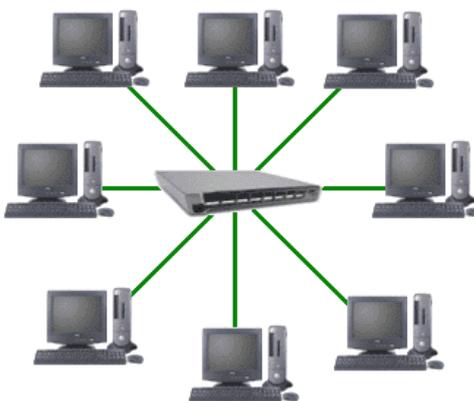


Figura 2. 29. Topología Estrella

Fuente: [18]

2.10.2. Algoritmo de la Pantalla touch HMI

El HMI tiene dos funciones principales (Figura 2.30), la selección del proceso que realiza el equipo ya sea manual o automático y el monitoreo de todas las variables del módulo de clasificación didáctico tomando en cuenta la programación del PLC y las condiciones necesarias para crear una interfaz amigable con el medio que permita un fácil manejo al operador.

2.11. Algoritmo del módulo de clasificación.

Se llevará a cabo el siguiente proceso, donde se reconocerá la presencia de una pieza de trabajo, identificará su color y si es metálica; posteriormente será trasladada mediante la banda transportada de la posición de ingreso hacia la rampas de clasificación, donde será clasificada por medio de los cilindros desviadores, y finalmente será llevada a las rampas de clasificación. El orden de esta clasificación será programado y optimizado por el usuario que desarrolle la práctica de laboratorio con este equipo. En el algoritmo de programación véase Figura 2.31 se describe el funcionamiento del sistema de clasificación didáctico.

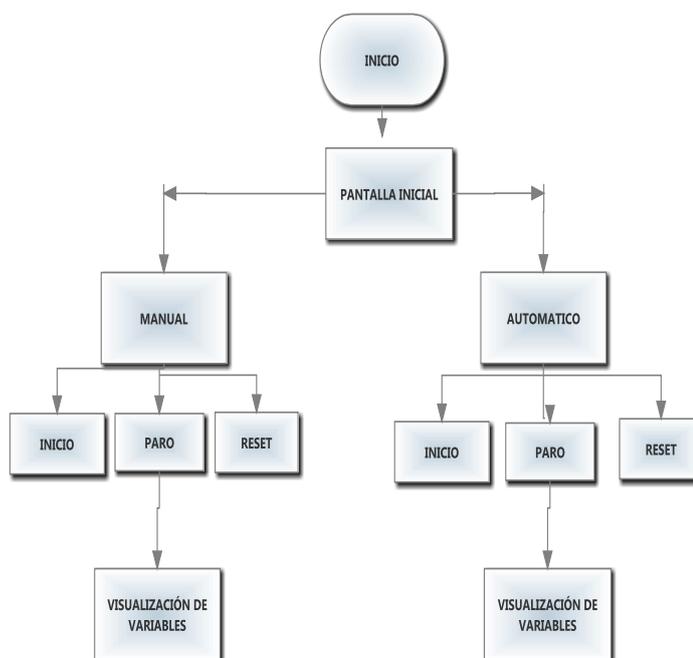


Figura 2. 30. Algoritmo de la pantalla

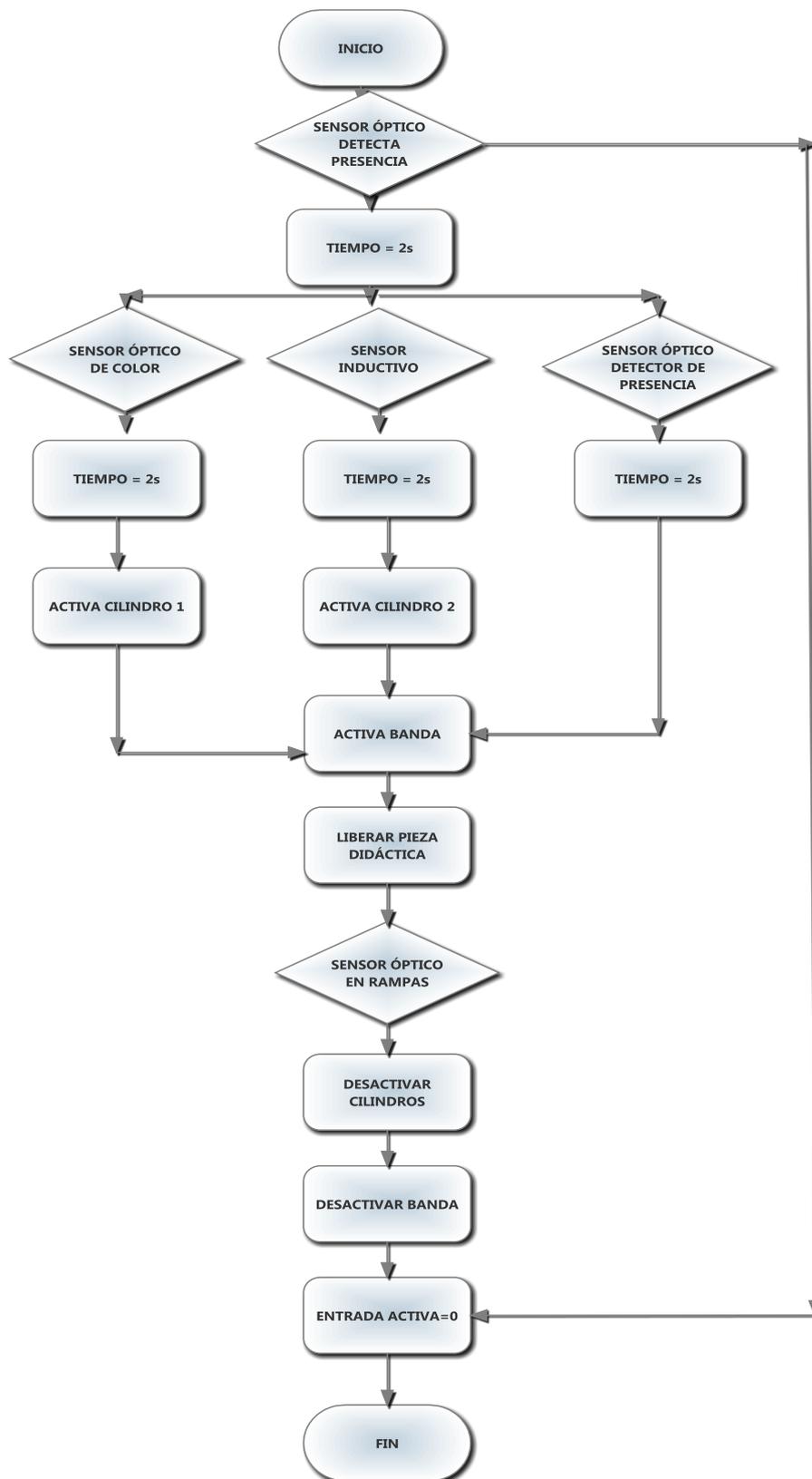


Figura 2. 31. Algoritmo de programación de clasificación de piezas

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS - NEUMÁTICOS

La información recopilada en el marco teórico nos ayuda en el proceso de selección que sirve para justificar los elementos seleccionados del módulo didáctico, partiendo del motorreductor, el sistema de automatización y neumático semejantes a los modelos industriales existentes, a continuación se determina los parámetros principales para el transportador.

Como se señaló en el capítulo anterior con el presente proyecto se pretende optimizar un aprendizaje eficaz en condiciones reales de tiempo y realización de prácticas en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica, mediante la implementación de un módulo didáctico que permita la clasificación de piezas de nylon a color y metálicas.

- **Banda transportadora**

Velocidad máxima de avance de la banda → 0,134 m/s

Longitud máxima del espacio disponible → 350mm → 0,35 m

Ancho máximo del espacio disponible → 40mm → 0,04 m

Peso de la banda → 0,018 Kg

- **Factor de seguridad**

Si se tiene que evitar una falla estructural, las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a las que se va a someter cuando este en servicio. Como la resistencia es la capacidad de una estructura para resistir cargas: la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida. La relación de la resistencia real entre la resistencia requerida se llama factor de seguridad:

$$\text{factor de seguridad } n = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Naturalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar la falla. Dependiendo de las circunstancias, los factores de seguridad varía desde un poco más que 1.0 hasta 10. En la Figura 3.1 se detallan los factores de seguridad para este proyecto según la teoría (Mott, 2006) quien manifiesta que para estructuras estáticas con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material se utiliza un factor de seguridad:

F.S → 3

SELECCIÓN ORIENTATIVA DE FACTORES DE SEGURIDAD, PARA MATERIALES DÚCTILES		
Información disponible	Fiabilidad de los datos que se disponen	Factor
Ensayos de materiales	El material de diseño ha sido probado en condiciones similares.	A= 1.3
	Características mecánicas de probetas del material ensayado.	A= 2
	Datos fiables de tablas y catálogos genéricos de materiales.	A= 3
	Datos poco fiables de los cuales no sabemos su procedencia.	A> 5
Condiciones de contorno de utilización de material.	Idénticas condiciones a las del material ensayado.	B= 1.3
	La pieza diseñada funcionará en un entorno aislado.	B= 2
	Entorno de utilización moderadamente agresivo.	B= 3
	Entorno de utilización muy agresivo.	B> 5
Procedimientos de diseño y modelado analítico utilizados.	Han sido probados científicamente mediante experimentos.	C= 1.3
	Representan las condiciones de funcionamiento con precisión.	C= 2
	Representan las condiciones de funcionamiento aproximadamente.	C= 3
	Representan las condiciones de funcionamiento con poca precisión.	C> 5

Figura 3. 1. Factores de seguridad

Fuente: [19]

Para una correcta adquisición de elementos y materiales del módulo de clasificación se realizará matrices de decisión los cuales se someterán a una valoración, con criterios bajo los cuales serán calificados para así poder determinar su calidad. Las alternativas se evaluarán con puntajes entre 5 y 10, siendo un valor negativo el 5 para la selección de los elementos. Se evaluarán las distintas opciones que se ha tenido hasta el momento para la selección del módulo de clasificación, se sumarán todos los factores y el componente que tenga una calificación más elevada será el mejor seleccionado para el módulo.

3.1. Selección de la banda transportadora

Como se señaló en el capítulo anterior existen diversos tipos de bandas transportadoras de acuerdo al tipo de material, carga y longitud, para el diseño de la banda transportadora se realizó un previo análisis como se puede apreciar en la Tabla 3.1, se selecciona la banda de múltiples rodillos debido a su característica de transportar materiales livianos un peso no mayor a los 10 kg como madera, plástico y su longitud no superior a los 2 metros.

Tabla 3. 1.

Matriz de decisión para la banda.

factor	Factor de ponderación	Banda de dos rodillos	Bancada accionada por gravedad	Banda de múltiples rodillos
Costo	4	5	7	8
		2.0	2.8	3.2
Velocidad	4	8	7	8
		3.2	2.8	3.2
Construcción	1	6	7	8
		0.6	0.7	0.8
Fiabilidad	1	9	7	9
		0.9	0.7	0.9
TOTAL	10	6.7	7	8.1

3.2. Selección de la cinta

Para el módulo de clasificación de acuerdo a la Tabla 2. 2 los tipo de bandas según el aspecto de la superficie portante de la carga, la cinta seleccionada a utilizar para la implementación del módulo de clasificación será la cinta horizontal lisa debido a que en el sistema de clasificación didáctico no tiene inclinación y su distancia es corta.



Figura 3. 2. Cinta seleccionada para el transportador.

Fuente: [20]

Velocidad de la banda transportadora:

Para determinar la cantidad de piezas didácticas sobre la cinta transportadora se toma en cuenta la ecuación 3.2:

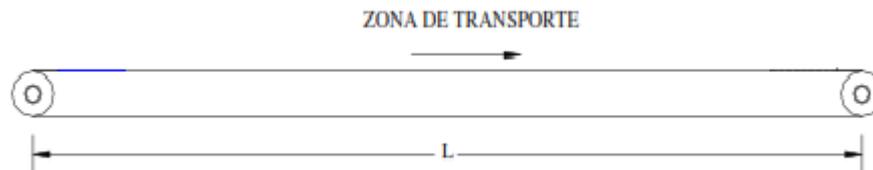


Figura 3. 3. Longitud de la banda

$$n = \frac{L}{D} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde:

$n \rightarrow$ número de piezas didácticas

$L \rightarrow$ Longitud de la banda: 0,35 [m]

$D \rightarrow$ Diámetro de piezas didácticas: 0,04 [m]

$$n = \frac{0,35}{0,04}$$

$$n = 8 \text{ piezas didácticas}$$

En un minuto se tendrá 8 recipientes por una longitud de trabajo de 0,35 m, para calcular la velocidad de la banda transportadora se utiliza la ecuación 3.3 siguiente:

$$v = \frac{e}{t} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde:

$v \rightarrow$ velocidad de la banda $\left[\frac{m}{s}\right]$

$e \rightarrow$ espacio recorrido total de la banda [m]

$t \rightarrow$ tiempo transcurrido en clasificar la pieza didáctica[s]

$$v = \frac{0,35 \text{ m}}{2,6 \text{ s}}$$

$$v = 0,134 \frac{m}{s}$$

Para que la cinta no se encuentre tensionada se calcula una amplitud o llamada también holgura para ello se debe aplicar la ecuación 3.4 se debe transformar primero el ancho de la cinta a pulgadas:

$$c = 0,055(B + 0,9) \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde:

$c \rightarrow$ Holgura de la cinta [in]

$B \rightarrow$ Ancho de la cinta [in] $\rightarrow 0,04 \text{ m} * \frac{39,37 \text{ in}}{1 \text{ m}} = 1,574 \text{ in}$

$$c = 0,055(1,574 + 0,9)$$

$$c = 0,136 \text{ in} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ in}}$$

$$c = 0,0033 \text{ m}$$

Para calcular la longitud total de la cinta primero calcularemos el perímetro de los rodillos mediante la siguiente fórmula.

$$p = 2 * \emptyset * \pi \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Donde:

$p \rightarrow$ Perímetro de los rodillos [m]

$\emptyset \rightarrow$ Diámetro de los rodillos [m]

$$p = 0,040 \text{ m} * \pi$$

$$p = 0,1256 \text{ m}$$

La longitud total de la cinta se calcula de acuerdo a la ecuación 3.5:

$$L_{Tb} = 2(L) + p + c \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Donde:

$L_{Tb} \rightarrow$ Longitud total de la banda [m]

$$L_{Tb} = 2 * 0,35 + 0,1256 + 0,0033$$

$$L_{Tb} = 0,828 \text{ m}$$

El ancho de la cinta es un dato que se toma a partir del diámetro de las piezas didácticas entonces la cinta adquirida para la banda transportadora es de marca Habasit la cual tiene un ancho de 0,04 m y una longitud total de la cinta de 0,828 m, este tipo de cintas son usadas generalmente en transportación de panadería, queso, pastelería, procesamiento de pescado, carnes, verduras, es de material Poliuretano termoplástico (TPU) sus características a mayor detalle Anexo A-3. El área de la banda se calcula mediante la ecuación 3.7:

$$A_b = L_{Tb} * Ancho_b \quad \text{Ec. (3.7)}$$

Donde:

$A_b \rightarrow$ Área de la banda [m]

$Ancho_b \rightarrow$ Ancho de la banda [m]

$$A_b = 0,828 \text{ m} * 0,04 \text{ m}$$

$$A_b = 0,033 \text{ m}^2$$

El peso de la cinta por unidad de área es un dato del fabricante de 1.3 kg/ m^2 , por lo tanto la masa de cinta queda:

$$w_c = w_{cf} * A_b \quad \text{Ec. (3.8)}$$

Donde:

$w_c \rightarrow$ Peso de la cinta [m]

$w_{cf} \rightarrow$ Peso de la cinta por el fabricante $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$

$$w_c = 1,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * 0,033 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. (3.9)}$$

$$w_c = 0,043 \text{ Kg}$$

3.2.1. Selección de soporte de cinta transportadora.

La cinta transportadora necesita de un apoyo que sirve para que se encuentre tensionada con el peso. Para el soporte de la cinta se seleccionó un perfil de aluminio ranurado de 25 cm de largo, su medida comercial es de $40 * 40 \text{ mm}$, usado para sistemas modulares en la Figura 3.4 podemos ver a más detalle las características del material. En el Anexo A-2 se detalla las características del perfil.

Parte	Momento de inercia I_x (cm^4)	Momento de inercia I_y (cm^4)	Modulo de sección W_x (cm^3)	Modulo de sección W_y (cm^3)	Area (cm^2)	Peso (kg/m)
10-040	9.46	9.46	4.74	4.74	6.66	1.72

Figura 3. 4. Características de perfil ranurado

Fuente: [21]

3.3. Selección del motor.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la cinta (Anexo A-3) el coeficiente de rozamiento dinámico entre la cinta transportadora y el aluminio ranurado es de 0,5. Para el diseño se consideró una capacidad de carga de 8 piezas didácticas simultáneas sobre la banda transportadora, dándonos un total de peso de 1,9 Kg a este valor se le suma el peso de la cinta y demás componentes que conforman la banda.

Antes de realizar el cálculo respectivo se detallará a continuación, parámetros de las diferentes piezas didácticas para realizar el cálculo en la selección del motor.

- **Piezas didácticas**

Tabla 3. 2.

Características de las piezas a color

Denominación	Pieza a color
Material	Nylon
Dimensiones	Ancho 40 mm
	Altura 25 mm
Masa de Carga	0,0563 Kg
Peso unitario	0,55 N

Tabla 3. 3.

Características de las piezas metálicas

Denominación	Pieza a metálica
Material	Acero
Dimensiones	Ancho 40 mm
	Altura 25 mm
Masa de Carga	0,182 Kg
Peso unitario	1,78 N

- **Rodillo móvil**

Tabla 3. 4.

Características de los rodillos

Denominación	Rodillo	
Material	Nylon	
Dimensiones	Diámetro exterior	20 mm
	Largo	40 mm
Masa de Carga	0,05 Kg	
Peso unitario	0,49 N	

- **Rodillo tensores**

Tabla 3. 5.

Características de los rodillos tensores

Denominación	Rodillo	
Material	Nylon	
Dimensiones	Diámetro exterior	20 mm
	Largo	40 mm
Masa de Carga	0,03 Kg	
Peso unitario	0,29 N	

La fuerza total nos da al reemplazar en la ecuación 3.10 es la fuerza la cual va a ser ejercida sobre el motor siendo esta la resultante del juego de 8 piezas véase Figura 3.5.

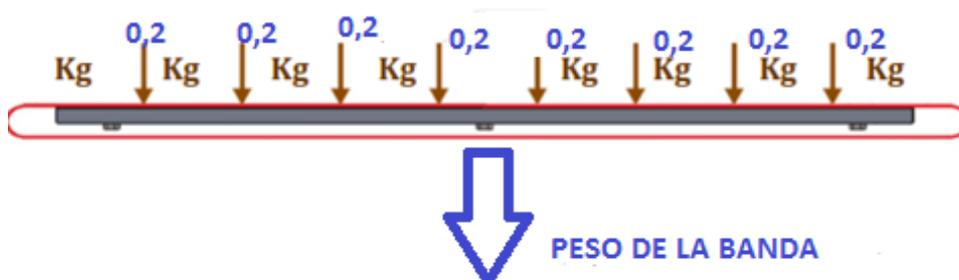


Figura 3. 5. Fuerza aplicada a la banda

$$F_T = (w_p + w_c + w_{rm} + w_{rf} + w_{sb}) * g \quad \text{Ec. (3.10)}$$

Dónde:

$$F_T = \text{Fuerza total [Kg]}$$

$$w_c = \text{masa de la banda [Kg]}$$

$$w_p = \text{masa de las piezas didacticas [Kg]}$$

$$w_{rm} = \text{peso de rodillo movil [Kg]}$$

$$w_{rf} = \text{peso de rodillos fijos [Kg]}$$

$$w_{sb} = \text{peso de soporte de banda [Kg]}$$

$$g = \text{gravedad} \left[9,8 \frac{m}{s^2} \right]$$

$$F_T = (1,90 + 0,043 + 0,05 + (0,03 * 6) + 0,43)Kg * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_T = 25,50 N$$

La fuerza de rozamiento se calcula mediante la fórmula:

$$f_r = \mu N_{max} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

Donde:

f_r = Fuerza de rozamiento entre la cinta transportadora y el aluminio ranurado

μ = Coeficiente d fricción entre la cinta transportadora y el aluminio ranurado

N_{max} = Fuerza normal equivalente al peso máximo que soporta la banda.

$$f_r = (0,5 * 25,50 N)$$

$$f_r = 12,77 N$$

Para calcular la potencia de entrada que necesita la caja reductora, se tiene que tomar en cuenta el rendimiento (η) de 0,5 véase la Tabla 3.6.

$$n = \frac{P_{SAL}}{P_{ENT}} \quad \text{Ec. (3.12)}$$

Donde:

$n \rightarrow$ rendimiento para reductor de tonillo sin fin

P_{SAL} → Potencia de salida determinada por el estándar de la curva característica (Figura 3.6) [W]

P_{ENT} → Potencia de entrada [W]

$$P_{ENT} = \frac{P_{SAL}}{n} \quad \text{Ec. (3.13)}$$

$$P_{ENT} = \frac{15 \text{ W}}{0,5}$$

$$P_{ENT} = 30 \text{ W}$$

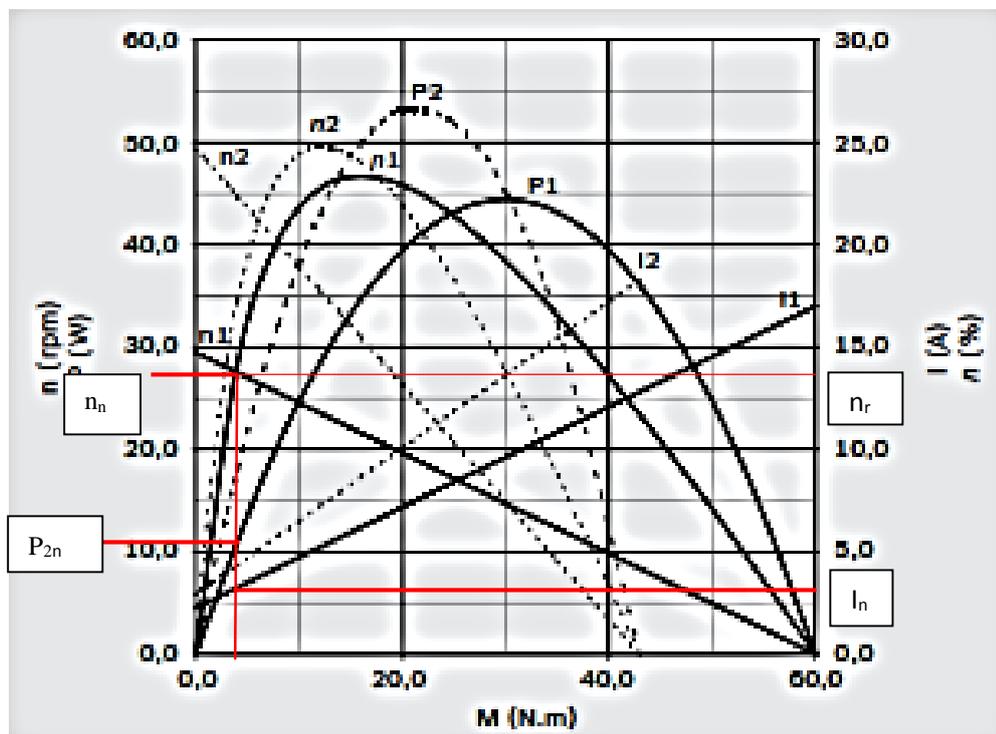


Figura 3. 6. Curva característica del motor seleccionado

El cálculo de la potencia de entrada requerido para el motor, se tomará como dato la potencia de entrada a la caja reductora, con un rendimiento del 0,75.

$$n = \frac{P_{entrada}}{P_{requerida}} \quad \text{Ec. (3.14)}$$

$$P_{requerida} = \frac{P_{entrada}}{n}$$

$$P_{requerida} = \frac{30 \text{ W}}{0,75}$$

$$P_{requerida} = 40 \text{ W}$$

El motor a seleccionar debe cubrir la potencia requerida *Prequerida* para realizar el desplazamiento hacia las rampas de clasificación, considerando situaciones de sistemas mecánicos como vibraciones, para ello se busca un factor de servicio adecuado. El factor de servicio seleccionado para bandas transportadoras para cargas ligeras tenemos un f_s de 1,2 véase Anexo A-16.

$$P_{motor} = P_{requerida} * f_s \quad \text{Ec. (3.15)}$$

$$P_{motor} = 40 W * 1,2$$

$$P_{motor} = 48 W$$

Tabla 3. 6.

Eficiencia mecánica de equipos reductores de velocidad

EFICIENCIAS MECÁNICAS DE EQUIPOS REDUCTORES DE VELOCIDAD

Tipo de reducción	Eficiencia (%)
Poleas y bandas en V	94%
Catalina y cadena de rodillos	93%
Catalina y cadena de rodillos, lubricados en aceite	95%
Reductor de engranes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tornillo sin-fin (ratio 20:1)	90%
Reductor de tornillo sin-fin (ratio de 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tornillo sin-fin (ratio de 60:1 a 100:1)	50%
Reductor de engranes rectos (maquinados)	90%
Reductor de engranes rectos (fundidos)	85%

Luego de obtener los datos requeridos para la selección del motor fue necesario realizar una matriz de decisión para poder tomar una decisión acertada a utilizar de los diferentes tipos de motores se ha considerado poner en evaluación Tabla 3.7 los siguientes aspectos.

Tabla 3. 7.

Matriz de decisión del motor para la banda de transportación

Factor	Factor de ponderación	Servomotor	Motor DC con reductor	Motor AC
COSTO	1	8	8	9
		0.8	0.8	0.9
DISPONIBILIDAD	3	5	6	6
		1.5	1.8	1.8
TAMAÑO	2	9	9	5
		1.8	1.8	1
ESPECIFICACIONES	2	7	8	6
		1.4	1.6	1.2
FUNCIONALIDAD	2	6	8	7
		1.2	1.6	1.4
TOTAL	10	6.7	7.6	6.3

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3.7 se utiliza un motor dc con reductor de 24 V de corriente continua, marca BOSCH modelo CDP como se muestra en la Figura 3.7 y sus características en la Figura 3.8, ya que durante su funcionamiento no tiene un consumo excesivo de corriente.



Figura 3. 7. Motor BOSCH 24V DC

Fuente: [22]

U_N	24 V	
P_N	50 W	
	V1	V2
n_N	28 rpm	46 rpm
I_N	3 A	4 A
$I_{MAX.}$	17 A	18,3 A
M_N	3 N.m	
M_A	50 N.m	
I	77:1	
Rot.	L	
S	S1	
IP	IP 44	
kg	1,300 kg	

Figura 3. 8. Características técnicas del motorreductor.

Fuente: [22]

El motorreductor seleccionado es muy usado como limpiaparabrisas estos motores poseen un alto torque de salida, debido a que en su interior hay un sistema reductor compuesto por un engranaje sin fin, esta configuración es la que le otorga esta fuerza, pero la velocidad de salida es muy baja, la mayoría de estos tienen 2 velocidades. En el Anexo A-1 se detalla las características del motorreductor.

3.4. Dimensionamiento de los rodillos

Los rodillos fueron diseñados con un diámetro externo de 20 mm sugerencia del fabricante de la cinta transportadora usada en la construcción de la banda y el ancho de los rodillos es similar al de la cinta transportadora de 0,04 m.

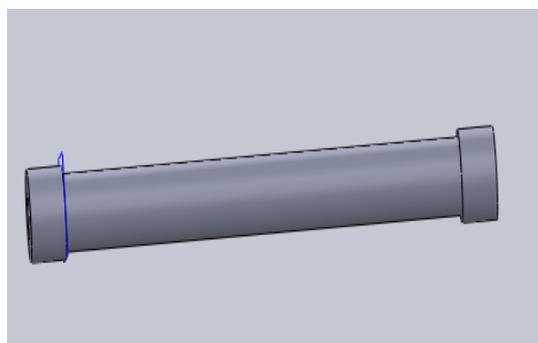


Figura 3. 9. Rodillo móvil

El rodillo móvil (ver Figura 3.9) está construido de nylon que es un material ligero y maleable siendo resistente al calor teniendo como características principales su alta resistencia y durabilidad. Los planos y dimensiones constructivos se pueden encontrar en el Anexo B -1. También se diseñaron dos rodillos tensores (ver Figura 3.10), de las mismas dimensiones que el rodillo móvil, estos rodillos tienen como función principal conseguir contacto entre la banda y el rodillo motriz, además proporcionan la opción de tensar o liberar la longitud de la banda según sea la necesidad. Los planos y dimensiones constructivos se pueden encontrar en el Anexo B -2.

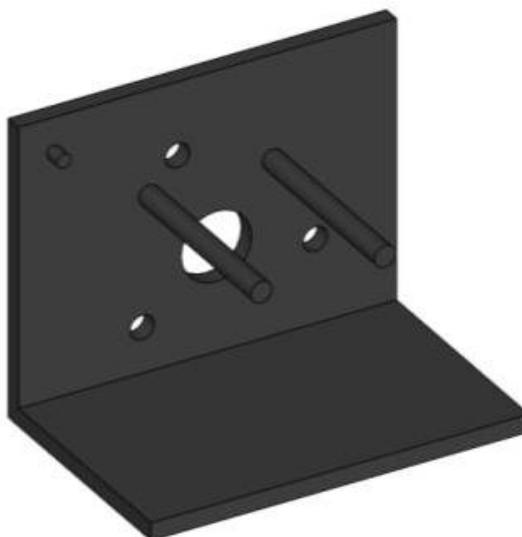


Figura 3. 10. Rodillos tensores

3.4.1. Análisis de esfuerzos en el rodillo móvil

Realizando los estudios necesarios en el software Solid Works 2013, se obtiene la máxima tensión de von mises, la máxima deflexión y un mínimo factor de seguridad. En la Figura 3.11 se muestra el estudio de tensiones de von mises se observa que el esfuerzo máximo que realiza la estructura es de 11.317 MPa como se puede visualizar los parámetros se encuentran dentro del límite.

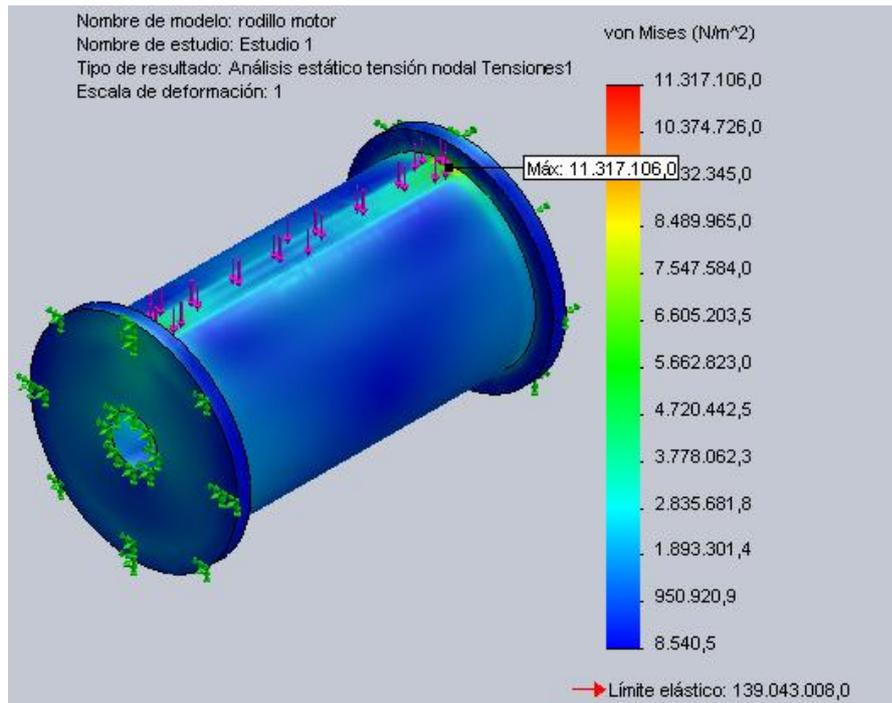


Figura 3. 11. Análisis de esfuerzos

La resistencia a la fluencia del nylon es de 139,043 MPa. Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición de la ecuación 3.16:

$$\sigma_r \leq [\sigma] \quad \text{Ec. (3.16)}$$

Donde:

$\sigma_r \rightarrow$ esfuerzo sobre el rodillo móvil

$[\sigma] \rightarrow$ esfuerzo permisible del nylon

$$[\sigma] = 0,66S_y$$

$$[\sigma] = 0,66 * 139,043 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = 91,76 \text{ MPa}$$

Por lo tanto:

$$11.317 \text{ MPa} \leq 91,768 \text{ MPa}$$

Por lo tanto cumple con la condición de la ecuación 3.16 lo que nos indica que el diseño es satisfactorio y su selección es segura. En la Figura 3.12 se muestra el desplazamiento que sufre los rodillos que es de $8.994 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$.

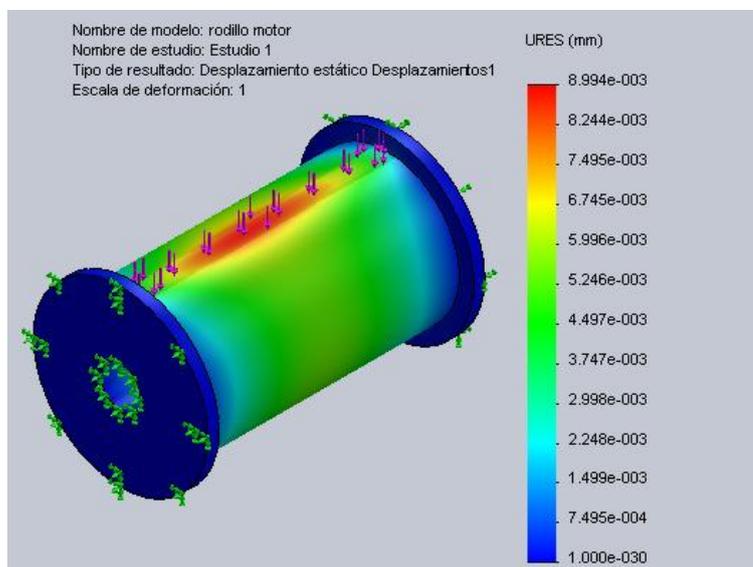


Figura 3. 12. Análisis de deflexiones

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición de la ecuación 3.17:

$$\delta r \leq [\delta] \quad \text{Ec (3.17)}$$

Donde:

$\delta r \rightarrow$ deflexión que soporta el rodillo móvil

$\delta \rightarrow$ deflexión permisible del rodillo

$$[\delta] = \frac{L}{800} \quad \text{Ec (3.18)}$$

$L \rightarrow$ Distancia entre rodillos

$$[\delta] = \frac{40}{800} = 0,05 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$8.994 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \leq 0,05 \text{ mm}$$

De acuerdo a los resultados de la ecuación 3.19 la simulación no sobrepasa los límites de deflexión, por lo tanto no afectara al funcionamiento del sistema. El mínimo factor de seguridad véase Figura 3.13 que nos indica en el software es de 12.29 lo cual indica que está dentro de los parámetros de seguridad. Se demuestra que este elemento no va a sufrir ningún daño por lo que se concluye que el rodillo está correctamente diseñado. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B1-a. B1-b y B1-c.

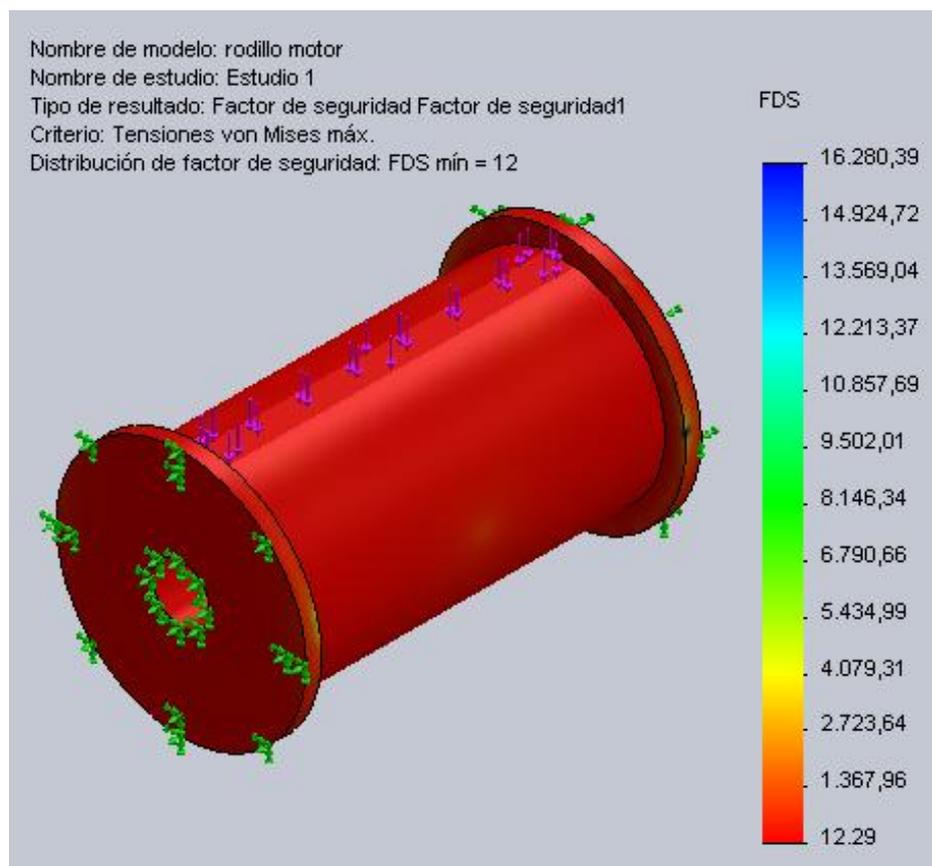


Figura 3. 13. Análisis de factor de seguridad.

3.4.2. Análisis de esfuerzos en los rodillos intermedios y fijos.

Para realizar el análisis de esfuerzos la simulación se ha decidido realizar mediante la simulación del software obteniendo los esfuerzos máximos, la máxima deflexión y el mínimo factor de seguridad. En la Figura 3.14 se muestra el estudio de tensiones de von mises se observa que el esfuerzo máximo que realiza los rodillos es

de 9,962 MPa como podemos visualizar los parámetros se encuentran dentro del límite.

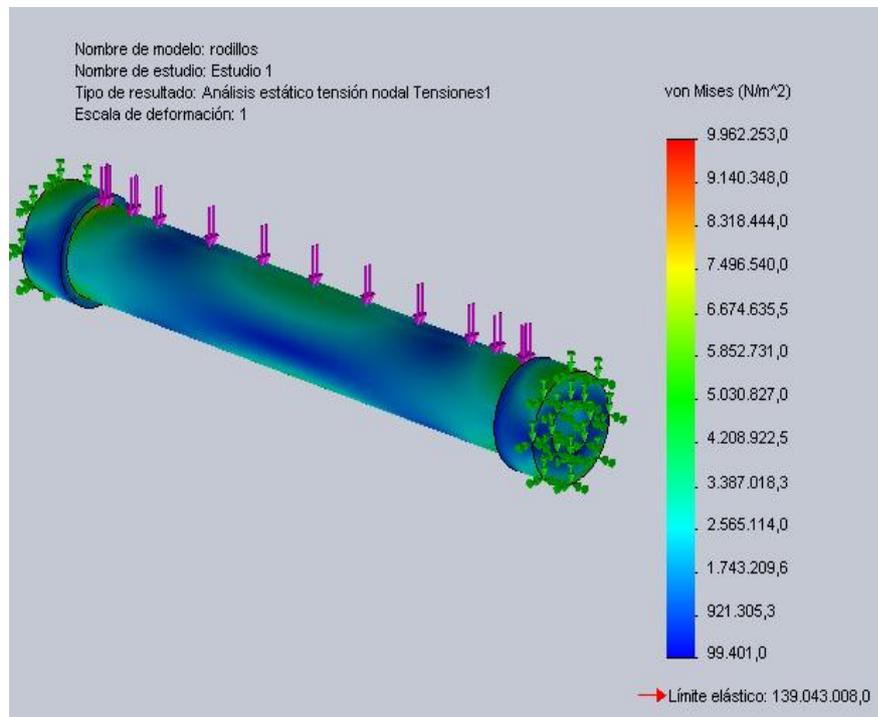


Figura 3. 14. Análisis de esfuerzos

La resistencia a la fluencia del nylon es de 139,043 MPa para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

Donde:

$\sigma_r \rightarrow$ esfuerzo que soporta los rodillos

$[\sigma] \rightarrow$ esfuerzo permisible de nylon

$$[\sigma] = 0,66S_y$$

$$[\sigma] = 0,66 * 139,043 \text{ MPa}$$

Por lo tanto:

$$9,962 \text{ MPa} \leq 91,768 \text{ MPa}$$

Por lo tanto cumple con la condición lo que se determina que el diseño es satisfactorio. En la Figura 3.15 se muestra el desplazamiento que sufre los rodillos es de $2.268 \cdot 10^{-2}$ mm.

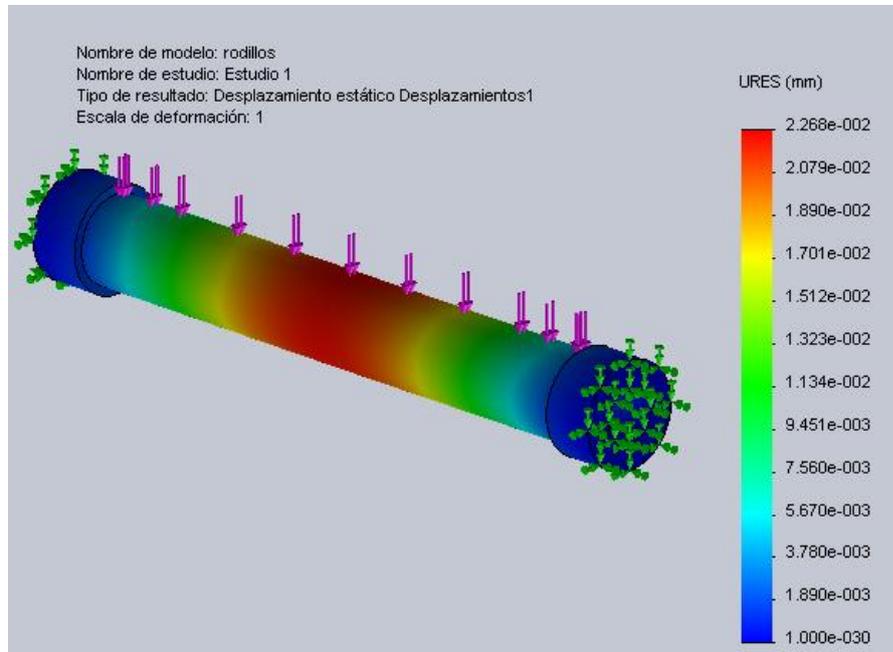


Figura 3. 15. Análisis de deflexiones

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\delta r \leq [\delta]$$

Donde:

$\delta r \rightarrow$ deflexión que soporta los rodillos

$\delta \rightarrow$ deflexión permisible de los rodillos

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

$L \rightarrow$ Distancia entre rodillos

$$[\delta] = \frac{40}{800} = 0,05 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$2.268 \cdot 10^{-2} \text{ mm} \leq 0,05 \text{ mm}$$

De acuerdo a los resultados de la condición la simulación no sobrepasa los límites de deflexión, por lo tanto no afectara al funcionamiento del sistema de clasificación. El mínimo factor de seguridad véase Figura 3.16 que nos indica en el software es de 13.96 lo cual indica que está dentro de los parámetros de seguridad. Lo cual determina que los rodillos están correctamente diseñados. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B2-a. B2-b y B2-c.

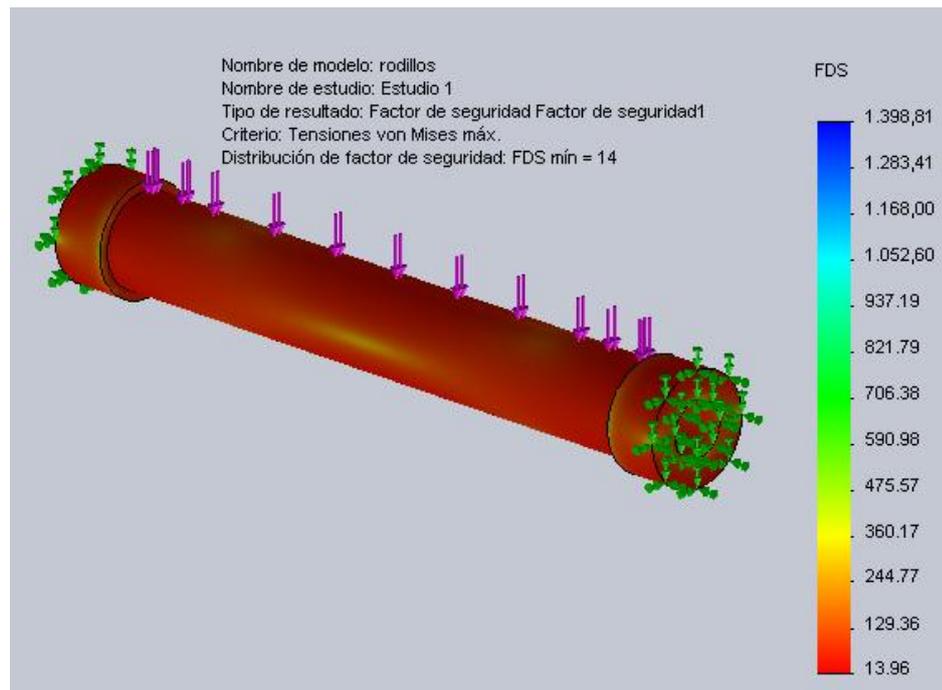


Figura 3. 16. Análisis de factor de seguridad.

3.5. Selección de la bancada.

La adquisición de la bancada se tomó como modelo la placa perfilada de aluminio de marca FESTO tomando en cuenta los elementos que serán montados sobre ella como es el motor, la banda transportadora, cilindros de giro, electroválvulas, sensores y otros que dan origen al sistema de clasificación permitirá la facilidad de montaje y desmontaje del sistema. El diseño se lo realiza en una placa perfilada de aluminio marca FESTO Figura 3.17 cuyas dimensiones son 350*700 mm.

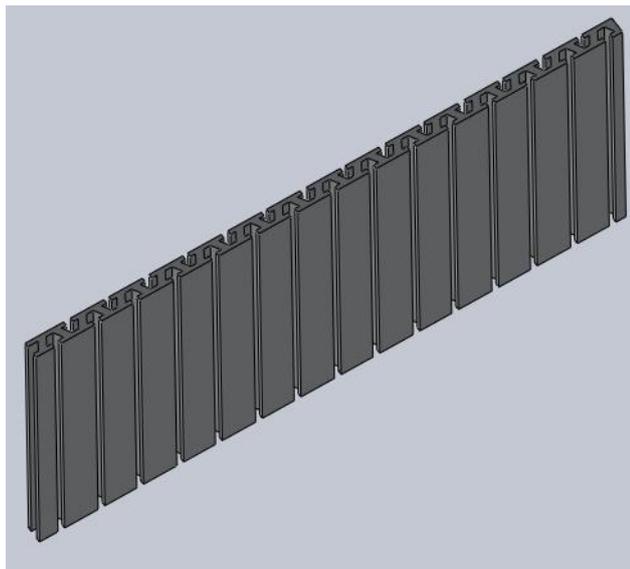


Figura 3. 17. Placa perfilada de aluminio

Para realizar la simulación se ha decidido utilizar una fuerza de 25,5 N sobre la placa de aluminio. Los resultados obtenidos mediante la simulación en el software Solid Works 2013 son los máximos esfuerzos, la máxima deflexión y el mínimo factor de seguridad. En la Figura 3.18 se muestra el estudio de los máximos esfuerzos producidos en la placa de aluminio se observa que el esfuerzo máximo que realiza la placa de aluminio es de 4986,6 Pa como podemos visualizar los parámetros se encuentran dentro del límite.

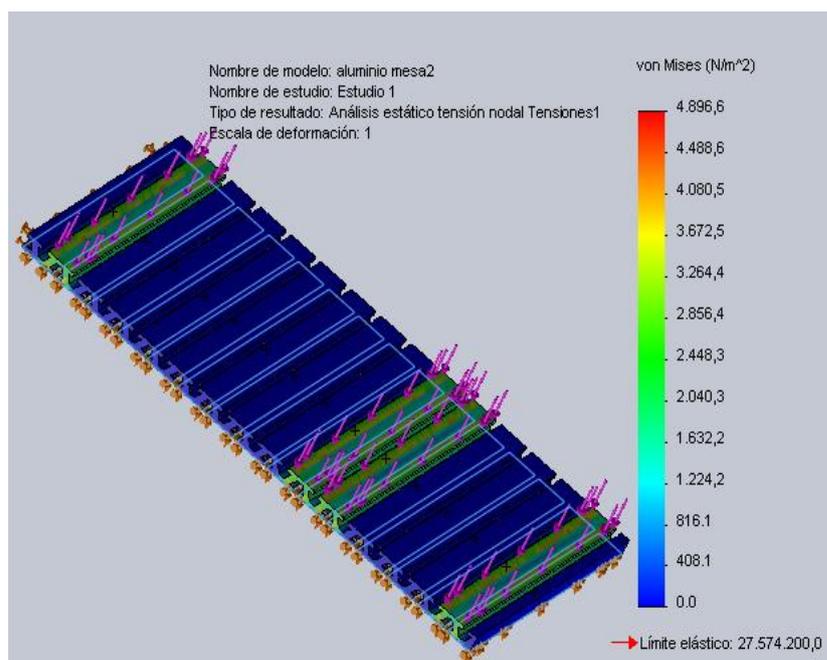


Figura 3. 18. Análisis de esfuerzos en la placa de aluminio

La resistencia a la fluencia del aluminio estructural es de 27,574 MPA. Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma r \leq [\sigma]$$

Donde:

$\sigma r \rightarrow$ esfuerzo que soporta la bancada

$[\sigma] \rightarrow$ esfuerzo permisible del aluminio estructural

$$[\sigma] = 0,66S_Y$$

$$[\sigma] = 0,66 * 27,574 \text{ MPa}$$

Por lo tanto:

$$0,0049 \text{ MPa} \leq 18,198 \text{ MPa}$$

Por lo tanto cumple con la condición lo que nos indica que el diseño es satisfactorio y su selección es segura. En la Figura 3.19 se muestra el desplazamiento que sufre la placa perfilada de aluminio es de $1,977 * 10^{-6}$.

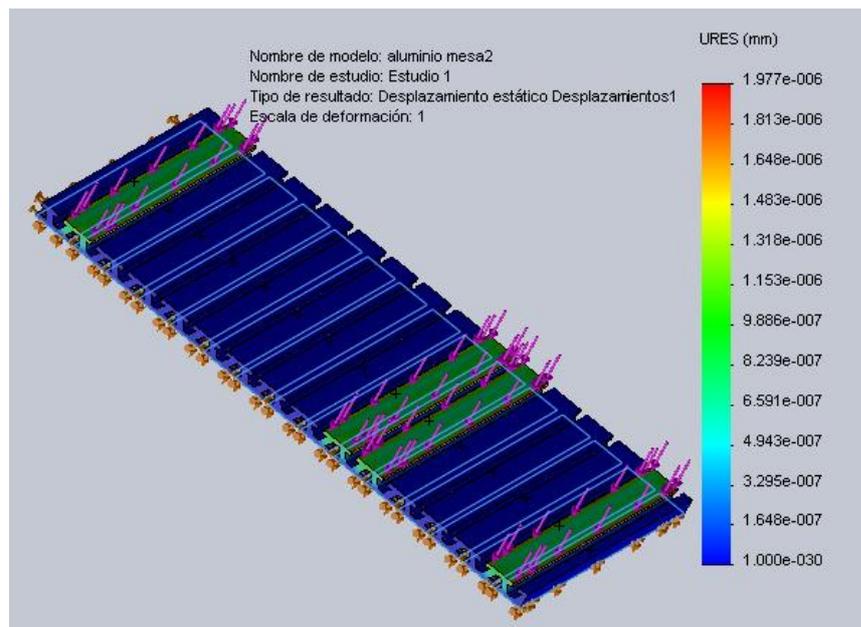


Figura 3. 19. Análisis de deflexiones en la placa de aluminio

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\delta r \leq [\delta]$$

Donde:

δr → Deflexión que soporta la placa de aluminio

δ → Deflexión permisible del aluminio

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

L → Distancia de la placa de aluminio

$$[\delta] = \frac{750}{800} = 0,9375 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$1,977 * 10^{-6} \text{ mm} \leq 0,9375 \text{ mm}$$

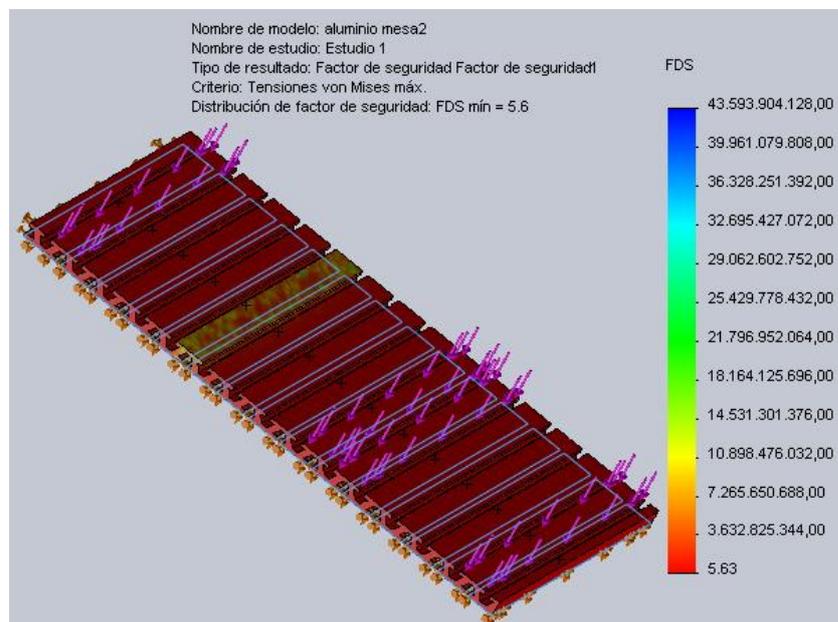


Figura 3. 20. Análisis de factor de seguridad en la placa de aluminio

De acuerdo a los resultados de la condición no sobrepasa los límites de deflexión, por lo tanto no afectara al funcionamiento del sistema. En la Figura 3.20 nos muestra el mínimo factor de seguridad que es de 5,83 lo cual indica que está

dentro de los parámetros de seguridad. Lo cual determina que la placa de aluminio seleccionada estés correctamente preestablecida. Las dimensiones y planos constructivos de la placa de aluminio se pueden encontrar en el Anexo B3-a. B3-b y B3-c y B-3.

3.6. Diseño de la mesa móvil.

El diseño de la mesa rodante es capaz de soportar el peso de todos los componentes del módulo sin que esta se deforme y permite montar el sistema clasificación de forma sencilla. La parte frontal consta de una caja de pulsadores, selectores y luz piloto de encendido y apagado. Los orificios en las paredes laterales y posteriores facilitan el tendido ordenado de los cables. La estructura de la mesa rodante ha sido diseñada en las dimensiones y planos constructivos que se pueden encontrar en el Anexo B-4.

- Altura: 750 mm (incluido ruedas)
- Anchura: 350 mm
- Fondo: 700 mm



Figura 3. 21. Mesa móvil.

La mesa rodante fue diseñada de material lamina de acero la misma que fue sometida a un horno con pintura electrostática este tipo de recubrimiento que se aplica es como un fluido, de polvo seco, suele ser utilizado para crear un acabado duro que es más resistente que la pintura convencional. En la Figura 3.22 se muestra el estudio de tensiones de von mises se observa que el esfuerzo máximo que realiza la estructura es de 64142,2 Pa aplicando una fuerza externa de 115.52 N como podemos visualizar los parámetros se encuentran dentro del límite del esfuerzo permisible del aluminio que es de 203,943 MPa.

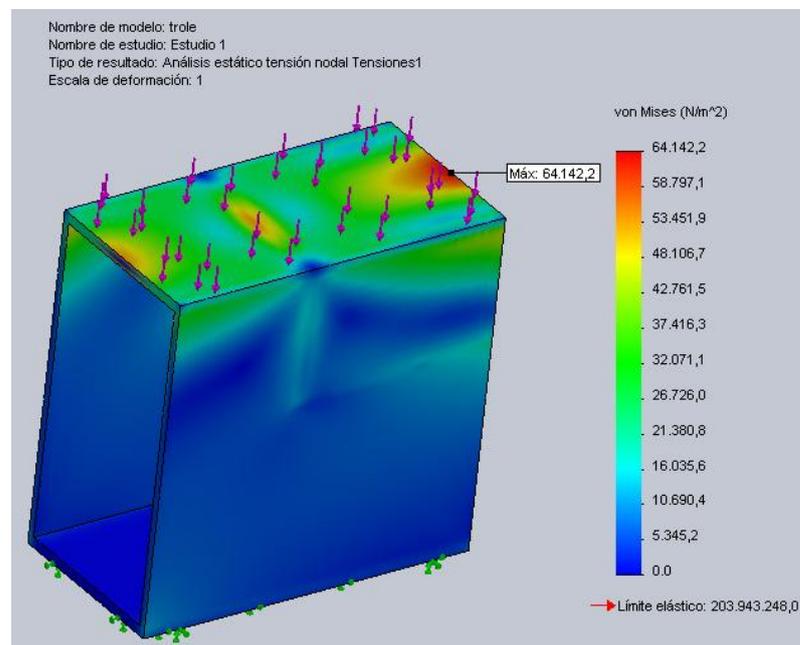


Figura 3. 22. Análisis de esfuerzos en la mesa móvil.

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

Donde:

$\sigma_r \rightarrow$ esfuerzo que soporta la bancada

$[\sigma] \rightarrow$ esfuerzo permisible de la lámina de acero

$$[\sigma] = 0,66S_Y$$

$$[\sigma] = 0,66 * 203,943 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = 133,602 \text{ MPa}$$

Donde:

$$0,064 \text{ MPa} \leq 133,602 \text{ MPa}$$

Por lo tanto cumple con la condición de la condición lo que nos indica que el diseño es satisfactorio. En la Figura 3.23 se muestra el desplazamiento que sufre la mesa móvil es de $3,77 \cdot 10^{-4}$.

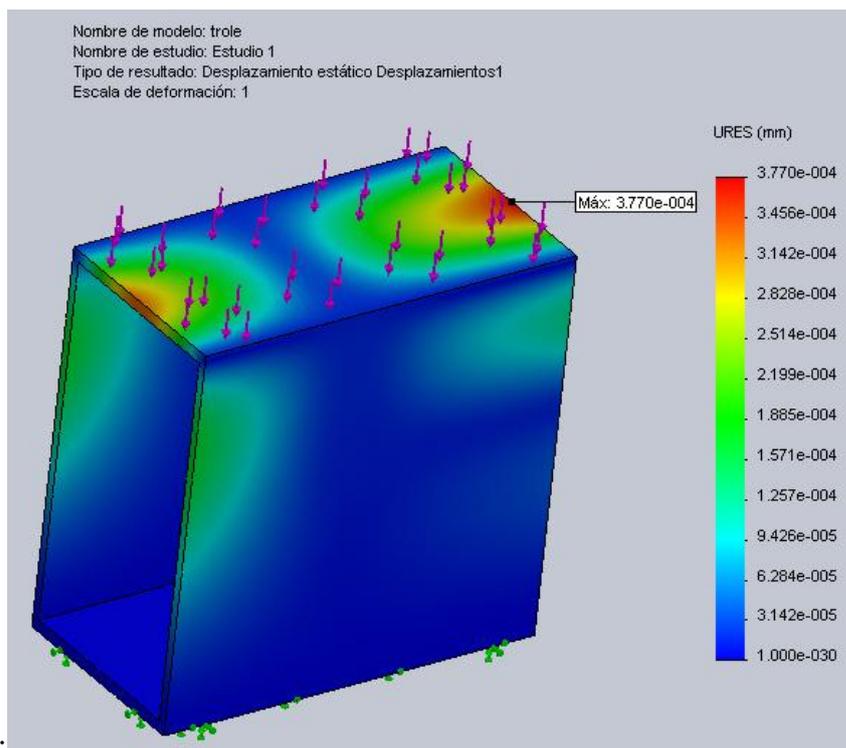


Figura 3. 23. Análisis de deflexiones en la mesa móvil.

Para que se valide el diseño se debe cumplir la siguiente condición:

$$\delta r \leq [\delta]$$

Donde:

$\delta r \rightarrow$ deflexion que soporta la lámina de acero

$\delta \rightarrow$ deflexion permisible de la mesa móvil

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

$L \rightarrow$ Distancia entre rodillos $[\delta] = \frac{750}{800} = 0,9375 \text{ mm}$

Donde:

$$3,77 * 10^{-4} \text{ mm} \leq 0,9375 \text{ mm}$$

De acuerdo a los resultados de la condición la simulación no sobrepasa los límites de deflexión, por lo tanto no afectara al funcionamiento del sistema. El mínimo factor de seguridad (ver Figura 3.24) que nos indica en el software es de 3,18 lo cual indica que está dentro de los parámetros de seguridad. Se concluye que este elemento no va a sufrir ningún daño lo que se concluye que la mesa móvil está correctamente diseñada. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B5-a. B5-b y B5-c.

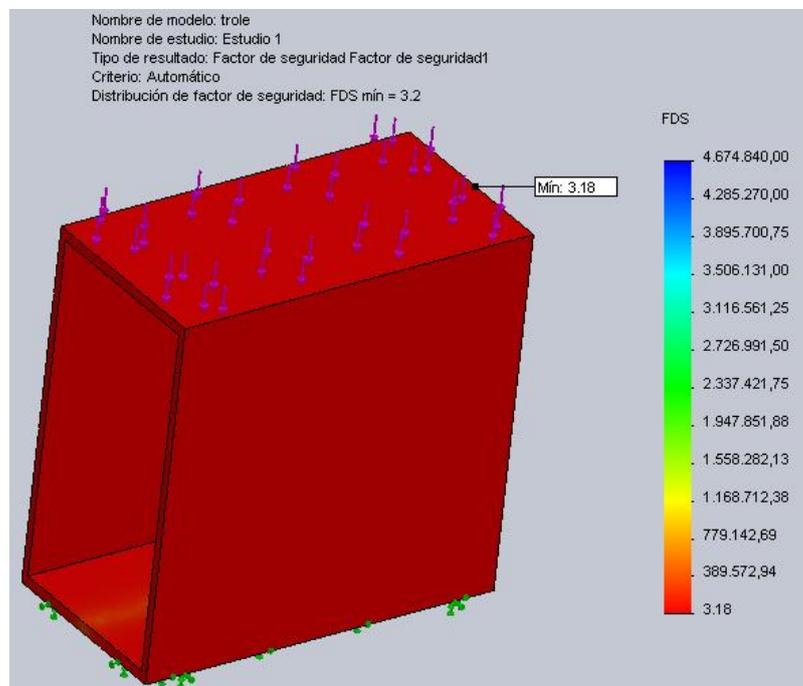


Figura 3. 24. Análisis de factor de seguridad en la mesa móvil.

3.7. Selección del sistema eléctrico.

3.7.1. Selección del elemento de protección.

Para la protección del motor se seleccionó un contactor de 24Vdc de marca CAMSCO ly2 como se muestra en la Figura 3.25, el uso de los relés es el más

confiable. En el Anexo A-5 pueden ser consultadas sus características a mayor detalle.



Figura 3. 25. Contactor de 24V

Tabla 3. 8.

Características del relé CAMSCO ly2

Descripción	
Configuración de contactos	3 contactos conmutados, 4 contactos conmutados
Corriente nominal/ max., corriente instantánea	(10 / 20) A
Tensión nominal/ max., tensión de conmutación	250 / 400 VAc
Carga nominal en AC1 VA	2500
Carga nominal en AC15 (230 VAc)	500
Motor monofásico (230 VAc) Kw	0,37
Capacidad de ruptura en DC1: 30/110/220 VA	10/0,25/0,12
Carga nominal conmutable Mw (V/mA)	300 (5/5)
Material estándar de los contactos	AgNi

Características de la bobina	
Tensión nominal V AC (50/60 Hz)	6 - 12 - 24 - 48 - 60 - 110 - 120 - 230 - 240
de alimentación (UN) V DC	6 - 12 - 24 - 48 - 60 - 110 - 125 - 220
Potencia nominal AC/DC VA (50 Hz)/W	1.5/1
Campo de funcionamiento AC	(0.8...1.1)UN
DC	(0.8...1.1)UN
Tensión de mantenimiento AC/DC	0.8 UN/0.5
Tensión de desconexión AC/DC	0.2 UN/0.1 UN

Figura 3. 26. Características de la bobina del relé Camsco ly2

La protección del sistema de clasificación debe seleccionarse en base al consumo de corriente del motor del módulo de clasificación, teniendo en cuenta que en el arranque para un motor de imán permanente arrancado a voltaje nominal, el valor de la corriente de arranque es de 125% por la corriente nominal del motor y aunque no trabaje por largos períodos producirá sobrecargas y consecuentemente caídas de voltaje muy incidentes en la red. En base a esto se puede establecer:

$$I_{pc} = 1.25 * I_n \quad \text{Ec. (3.17)}$$

Donde:

I_{pc} → La corriente del motorreductor a plena carga

I_n → Corriente nominal del motorreductor

$$I_{pc} = 1.25 * 3A$$

$$I_{pc} = 3,75 A$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se selecciona el valor estándar inmediato superior de 4 A (ver Figura 3.11), sus características a mayor detalle se encuentran en el ANEXO A-6. El fusible tendrá la función de proteger al sistema de clasificación de los posibles cortocircuitos.



Figura 3. 27. Portafusiles Camsco RT 18-32 y fusible RT 14-20.

Fuente: [23]

3.7.2. Selección sensores.

a. Sensor de óptico tipo retro-réflex.

Para la clasificación de las piezas didácticas de color se seleccionó el sensor IBEST PESL-R18POC3MD (Figura 3.28), este es un sensor fotoeléctrico de proximidad su funcionamiento se basa en la emisión de un haz de luz que es interrumpido o reflejado por el objeto a detectar el mismo que funciona como elemento reflector. Tiene mucha aplicación en el ámbito industrial y son ampliamente utilizados.



Figura 3. 28. Sensor de color IBEST PESL-R18POC3MD

El sensor óptico de color utilizado detecta hasta una distancia máxima de 10 cm a 30 cm funciona a un voltaje mínimo de 10 VCD a 30 VCD. En el Anexo A-10 se detalla las características técnicas del sensor de color.

b. Sensores inductivos.

Para poder detectar las piezas metálicas se utilizó el sensor inductivo de marca IBEST IPS-8PO2B (Figura 3.29); este tipo de sensor tiene un devanado interno que energizado genera un campo magnético, al acercarse un objeto de metal a dicho campo este es detectado. El sensor inductivo utilizado detecta hasta una distancia máxima 1.8 mm funciona a un voltaje mínimo de 10 VCD a 30 VCD. Sus características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-7.



Figura 3. 29. Sensor inductivo IBEST IPS-8PO2B

c. Sensor óptico de barrera.

Se necesita utilizar dos sensores ópticos de barrera que será colocado uno al inicio de la banda la cual permitirá que detecte la pieza didáctica y de lugar al accionamiento del motor y un segundo sensor para detectar la presencia de módulos existentes previamente al módulo de clasificación de piezas. Se seleccionó un sensor óptico de barrera de marca IBEST PES-TC50 (Figura 3.30) debido a que cumple con las características deseadas detectar la presencia de piezas, el rango de detección máxima es de 30 cm funciona a un voltaje mínimo de 10 VCD a 30 VCD.



Figura 3. 30. Sensor fotoeléctrico IBEST PES-TC50

Se seleccionó un sensor óptico IBEST LAS-T12PO3MD (Figura 3.31), para la detección de módulos previamente funcionando, el rango de detección máxima es de 30 cm funciona a un voltaje mínimo de 10 VCD a 30 VCD. Sus características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A-8 y Anexo A-9.



Figura 3. 31. Sensor fotoeléctrico IBEST LAS-T12PO3MD

Estos sensores de barrera son de tipo emisor-receptor están compuestos de dos partes, un componente que emite el haz de luz, y otro componente que lo recibe. Se establece un área de detección donde el objeto a detectar es reconocido cuando el mismo interrumpe el haz de luz. Estos sensores operan de una manera precisa cuando el emisor y el receptor se encuentran alineados.

d. Sensor óptico réflex espejo

Se selecciona un sensor óptico réflex de marca IBEST PESL-R18POC3MD (Figura 3.32), debido a que cumple con la función de detectar el paso de las piezas a clasificarse hacia las rampas y a la vez nos indica que las rampas de clasificación se encuentran llenas.



Figura 3. 32. Sensor óptico réflex IBEST PESL-R18POC3MD

Este sensor me dará la señal para que la banda se detenga y cualquiera de los dos cilindros de doble efecto que se encuentre activado pueda volver a su posición inicial, el rango de detección máxima es de 10 a 30 cm funciona a un voltaje mínimo de 10 VCD a 30 VCD. Sus características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A- 10.

3.8. Selección de elementos del tablero de control.

El tablero de control se encuentra ubicado en la parte frontal de la mesa rodante en donde consta de los siguientes pulsadores y selectores. De acuerdo a la norma IEC 60204-1 establece el código para los visualizadores y los pilotos:

- Piloto rojo: condición peligrosa que requiere una acción inmediata (presión fuera de los límites, sobrecorrido, rotura de acoplamiento, etc)
- Piloto amarillo: condición anormal que puede llevar a una situación peligrosa (presión fuera de los límites, activación de una protección, etc)
- Pulsador rojo: emergencia- acción en caso de peligro (paro de emergencia)

- **Selector de Llave**

Sirve para poner en marcha el módulo de clasificación ya sea en modo manual o en modo automático de acuerdo a la posición del selector. Como se muestra en la Figura 3.33.



Figura 3. 33. Selector ON/OFF

- **Luz Piloto**

Se emplea dos luces piloto Figura 3.34 una para visualizar el inicio del proceso del módulo de clasificación y otra para visualizar que el proceso no se encuentra realizando el proceso de clasificación de piezas didácticas.



Figura 3. 34. Luz piloto

- **Pulsadores**

Se utiliza tres pulsadores (Figura 3.35) el uno es para iniciar la secuencia del módulo de clasificación, el segundo pulsador para realizar el paro del proceso y detener la secuencia de trabajo y el ultimo para resetear los cilindros neumáticos clasificadores.



Figura 3. 35. Pulsadores

3.9. Selección del PLC

Para seleccionar un PLC es necesario considerar ciertos requerimientos que debe cumplir el dispositivo desde el punto de vista del hardware y el software en la Tabla 3.9 se detallaran la cantidad de entradas y salidas que el módulo de clasificación de piezas que se dispone para el diseño de captadores y actuadores necesarios para el sistema de clasificación en la automatización.

Tabla 3. 9.**Total de entradas y salidas requeridas por el PLC**

Tag	Descripción	Tipo de señal	Voltaje
I 0.0	Detecta módulos emisor	Digital, tres hilos	24 VDC
I 0.1	Sensor inductivo	Digital, 2 hilos	24 VDC
I 0.2	Sensor de color	Digital, tres hilos	24 VDC
I 0.3	Sensor espejo	Digital, tres hilos	24 VDC
I 0.4	Encendido	Digital, tres hilos	24 VDC
I 0.5	Selector	Digital	24 VDC
I 0.6	Paro	Digital	24 VDC
I 0.7	Reseteo	Digital	24 VDC
I 1.0	Detecta presencia	Digital	24 VDC
O 0.0	Detecta módulos receptor	Digital, tres hilos	24 VDC
O 0.1	Electroválvula 1	Digital	24 VDC
O 0.2	Electroválvula 2	Digital	24 VDC
O 0.3	Motor	Digital	24 VDC
O 0.4	Luz piloto verde	Digital	24 VDC
O 0.5	Luz piloto roja	Digital	24 VDC

Lo más importante para la selección del PLC es que este disponga de una comunicación Ethernet ya que se necesita que se comunique con una pantalla táctil y realizar una red Ethernet para poder comunicarse con otros sistemas modulares, además se necesita de una fuente de 24 VDC para alimentar a los sensores, actuadores y a la pantalla táctil.

Tabla 3. 10.

Matriz de decisión del PLC

Características	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C
Versión	AC/DC/Relé	AC/DC/Relé	AC/DC/Relé
Tensión de Entrada	110 - 220 VAc	110 - 220 VAc	110 - 220 VAc
Entradas Digitales (DI)	8 DI a 24 VDc	14 DI a 24 VDc	14DI a 24 VDc
Salidas Digitales (DO)	6 DO tipo rele	10 DO tipo rele	10 DO tipo rele
Entradas Analógicas (AI)	2 AI (voltaje)	2 AI (voltaje)	2 AI (voltaje)
Salidas Analógicas (AO)	No	No	2 AO (mA)
Tipo de las Salidas	Relé	Relé	Relé
Interfaz de Comunicación	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Temperatura de trabajo		0°C a 45°C	
Tipo de Programación	FBD, Ladder Logic	FBD, Ladder Logic	FBD, Ladder Logic

Para la selección del PLC se realiza una matriz de decisión véase Tabla 3.10 con PLC'S S7-1200 ya que estos dispositivos poseen una gama intermedia en cuanto a controladores programables. El modelo del PLC seleccionado de acuerdo a la matriz de decisión como requerimientos necesarios se toma en cuenta las entradas, salidas y la comunicación Ethernet con la pantalla táctil se selecciona el PLC S7-1200 CPU 1214C mayores detalles de sus características en el ANEXO A-16.

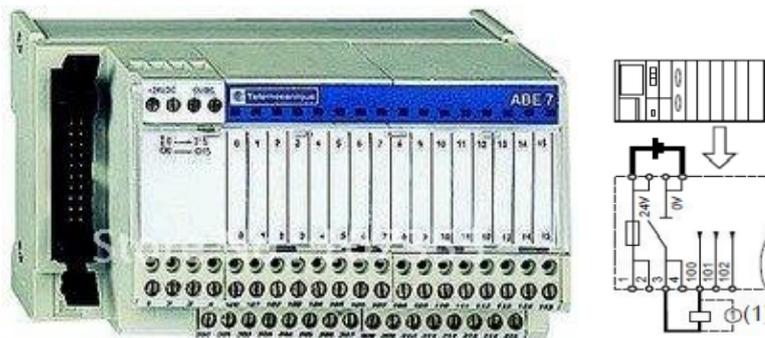


Figura 3. 36. Módulo de entradas - salidas y conexiones internas.

En la Figura 3.36 se muestra un módulo de entradas y salidas, se caracterizan por no influir en las variables de estado del proceso de automatización únicamente se encargan de adecuar las E/S para que puedan ser inteligibles (perceptibles) por el PLC, si son entradas o para que puedan ser interpretadas correctamente por actuadores en caso de que sean salidas. Los Telefast son sistemas de precableado que simplifican la instalación y la larga corrida del cable incorporando terminales de base. Se les conoce también como interfaces “Todo o Nada” que permiten las conexiones entre el PLC y la parte operativa.

Tabla 3. 11.

Características de la interfaz ABE7-HR1631

Módulo de entradas y salidas ABE7-HR1631	
Voltaje de control	24 VDC
Voltaje de salida	24 VDC
Corriente de salida	0,5 A
Número de canales	8 entradas y 8 salidas
Conector de 20 vías	HE-10
Indicación de estado	16 led

Es por ello que se utiliza este módulo de entradas y salidas de marca Schneider ABE7-HR1631 para conectar las entradas y las salidas de nuestro sistema, debido a que se obtiene un buen envío de datos del PLC hacia nuestros sensores y actuadores, ya que esta tarjeta está diseñada para enviar y receptor los datos.



Figura 3. 37.Cable de comunicación

La comunicación entre el PLC S7-1200 CPU 1214C con el módulo de E/S Schneider ABE7-HR1631 se la realiza mediante un cable llamado TELEFAST HE-10 véase Figura 3.37 y en la Tabla 3.12 sus características. En el Anexo A-17 se detalla las características de la interfaz ABE7-HR1631 y en el Anexo A-18 se detalla las características del cable HE-10.

Tabla 3. 12.

Características del Cable Telefast HE 10

Cable Telefast HE 10	
Vías	20
Conectores	HE-10 hembra
Cable calibre	22 AWG/ cada vía
Longitud	0,5-1-2-3-4-5 metros

3.10. Diseño del circuito eléctrico.

El circuito eléctrico se refiere a todas las conexiones realizadas de los pulsadores, selectores, y cableado al PLC, circuito el cual va a permitir seleccionar el ciclo manual o automático mediante el selector de tres posiciones, para realizar el proceso de transportar y clasificar las piezas didácticas hacia las rampas de clasificación. En el Anexo C se presenta más detallado dicho circuito de control. El diagrama eléctrico del sistema de clasificación didáctico fue diseñado en el software Autocad Electrical 2012.

3.11. Selección del sistema neumático.

3.11.1. Selección de unidad de mantenimiento.

La estabilidad y seguridad de funcionamiento de una instalación neumática dependen en buena forma del acondicionamiento del aire, por lo que se usa la unidad de mantenimiento para evitar problemas.



Figura 3. 38. Unidad de mantenimiento DANFOSS

La unidad de mantenimiento seleccionada es de la marca DANFOSS modelo AC 2000-02 como se muestra en la Figura 3.39 la cual requiere de una presión de 6 bar cuenta con un filtro y un regulador para así entregar un aire comprimido limpio y presión constante; de esta manera protege a los elementos de cualquier impureza que se encuentre en el aire que ingresa a los mismos. Sus características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo A- 11.

INFORMACIÓN DE ORDEN									
SERIE DE BAJA PRESIÓN	AF	Filtro de aire	AL	Lubricador de aire	SERIE DE ALTA PRESIÓN	OF	Filtro de aire	OL	Lubricador de aire
	AR	Regulador de aire	AW	Filtro de aire y regulador		OR	Regulador de aire	OFR	Filtro de aire y regulador
	AC	Tres elementos (filtro, regulador y lubricador)				OU	Tres elementos (filtro, regulador y lubricador)		
TAMAÑO DE CONEXIÓN	2000-02	1/4" NPT (6.35 mm)	4000-06	3/4" NPT (19.05 mm)	TAMAÑO DE CONEXIÓN	MINI	1/4" NPT (6.35 mm)		
	3000-03	3/8" NPT (9.52 mm)	5000-10	1" NPT (25.4 mm)		MIDI	1/2" NPT (12.7 mm)		
	4000-04	1/2" NPT (12.7 mm)							
ACCESORIOS	IBRA14	1/4" bracket	IBRA100	1" bracket	ACCESORIOS	IBRA38MINI	3/8" bracket		
	IBRA38	3/8" bracket	02D	(Autodren exclusivo para 1/4")		IBRA34MIDI	3/4" bracket		
	IBRA12	1/2" bracket	04D	(Autodren exclusivo para 1/2")					
	IBRA34	3/4" bracket							

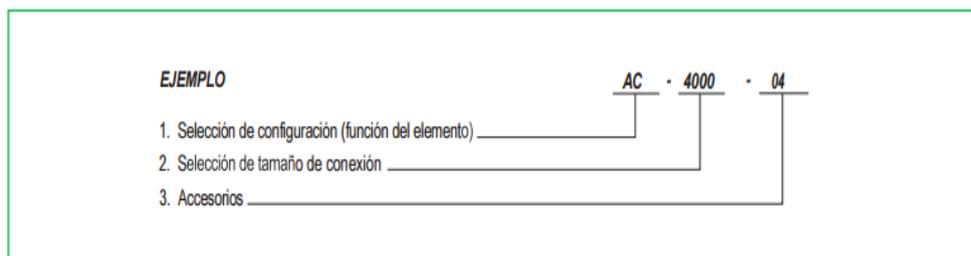


Figura 3. 39. Información de la Unidad FRL

Fuente: [13]

3.11.2. Selección de los cilindros neumáticos y elementos de control.

El cilindro neumático de doble efecto se utiliza en este proceso debido a que permite realizar movimientos de avance y retroceso alternativos, facilitando el transporte de las piezas didácticas a las rampas de clasificación.

Las principales variables a considerar en la selección de los cilindros neumáticos son la fuerza del cilindro, la carrera mínima, la presión, la carga. La fuerza del cilindro es una función del diámetro del cilindro, de la presión del aire y del roce del émbolo, que depende de la velocidad del émbolo y que se toma en el momento de arranque. La fuerza que el aire ejerce sobre el pistón es:

$$F = P \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ec (3.21)}$$

Dónde:

P = Presion(Pa)

F = Fuerza (N)

D = Diametro del ciclindro (m²)

Con la fuerza mínima se determina el diámetro del cilindro neumático:

$$F = m_{pieza} * g \quad \text{Ec (3.22)}$$

$$F = 0,182 \text{ Kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 1,78 \text{ N}$$

Despejando el diámetro de la ecuación 3.21 se obtiene la ecuación 3.23:

$$D = \sqrt{\frac{4*F}{\pi*P}} \quad \text{Ec (3.23)}$$

$$P \rightarrow 6 \text{ bar} * \frac{100000 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} = 600000 \text{ Pa}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 1,78}{\pi * 600000}}$$

$$D = 1,94 * 10^{-3} \text{ m}$$

Debido a que el diámetro requerido es pequeño y no existe en el mercado se selecciona el cilindro en base a la carrera necesaria que es de 25 mm. En la Figura 3.40 se muestra la selección del actuador en base a su carrera de avance.

Carrera		Unidad: mm		
Tamaño de diámetro (mm)	Estandar carrera(mm)	Max Carrera	Carrera ajustable	
Doble efecto	8	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100 125 150	150	200
	10	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100 125 150 160 175 200	200	200
	12	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100 125 150 160 175 200 250	250	500
Doble efecto con Amortiguación	16	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300	300	500
	20	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300	500	700
	25	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300	600	700
	32	350 400 450 500 600	600	700
Simple efecto	40	350 400 450 500 600	600	700
	8		-	-
	10	10 15 20 25 30 40 50	-	-
	12		-	-
	16	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100	-	-
	20		-	-
	25		-	-
	32	10 15 20 25 30 40 50 60 75 80 100 125 150	-	-
	40		-	-

Figura 3. 40. Carrera de cilindros de doble efecto Airtac MI

Fuente: [13]

En la Figura 3.41 podemos ver el cilindro seleccionado de marca AIRTAC MI 25*25 de doble efecto y en la Figura 3.42 se muestra alguna de sus características técnicas. En el ANEXO A-12 se detalla las características de los dos actuadores neumáticos.



Figura 3. 41. Cilindro de doble efecto AIRTAC

■ Especificación

Tamaño de diametro mm	8	10	12	16	20	25	32	40
Tipo de acción	Tipo de doble efecto, Tipo de simple efecto -Empujar, Tipo de simple efecto -Estirar							
	-							
	Doble efecto con amortiguación							
Medio	Aire (que se filtra por el elemento 40µm de filtro)							
Presión de trabajo	Doble efecto		0.1-1.0MPa(14-145Psi)					
	Simple efecto		0.2-1.0MPa(28-145Psi)					
Prueba de presión	1.5MPa(215Psi)							
Temperatura °C	-20-70							
Rango de velocidad mm / s	Doble efecto: 30-800 Simple efecto: 50-800							
Tolerancia de carrera	0-150 ⁺⁰ ₀ > 150 ^{+0.4} ₀							
Tipo de amortiguación	Serie MIC: Amortiguación ajustable; Serie otras: Amortiguación							
Tamaño de puerto (1)	M5 x 0.8				1/8"		1/4"	

Figura 3. 42. Características del cilindro MI 25*25

Fuente: [13]

Los cilindros de doble efecto no cuentan con un resorte para volver a su posición de equilibrio, así su fuerza no disminuye en la carrera de avance, pero sí en su carrera de retroceso, debido a la disminución del área del émbolo por la existencia del vástago.

Diámetro	Presión Kgf/cm ²									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	F1	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,5
	F2	0,2	0,4	0,6	0,9	1,0	1,3	1,5	1,7	1,9
10	F1	0,8	1,6	2,4	3,1	3,9	4,7	5,5	6,3	7,1
	F2	0,6	1,3	2,0	2,6	3,3	3,9	4,6	5,3	5,9
12	F1	1,1	2,3	3,4	4,5	5,7	6,8	7,9	9,0	10,2
	F2	0,8	1,7	2,5	3,4	4,2	5,1	5,9	6,8	7,6
16	F1	2,0	4,0	6,0	8,0	10,1	12,1	14,1	16,1	18,1
	F2	1,7	3,4	5,2	6,9	8,6	10,4	12,1	13,8	15,8
20	F1	3,1	6,3	9,4	12,6	15,7	18,8	22,0	25,1	28,3
	F2	2,6	5,3	7,9	10,5	13,2	15,8	18,5	21,1	23,7
25	F1	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,5	34,4	39,3	44,2
	F2	4,1	8,2	12,3	16,5	20,6	24,7	28,8	32,9	37,0
32	F1	8,0	16,1	24,1	32,1	40,2	48,2	56,3	64,3	72,4
	F2	6,9	13,8	20,7	27,6	34,5	41,4	48,3	55,2	62,1
40	F1	12,5	25,1	37,7	50,2	62,8	75,4	87,9	100,5	113,0
	F2	10,5	21,1	31,6	42,2	52,7	63,3	73,8	84,4	94,9
50	F1	19,6	39,3	58,9	78,6	98,2	117,8	137,5	157,1	176,8
	F2	16,5	33,0	49,5	66,0	82,5	99,0	115,5	132,0	148,5
63	F1	31,2	62,3	93,5	124,7	155,8	187,0	218,2	249,4	280,5
	F2	28,0	56,0	84,0	112,0	140,0	168,0	196,0	224,0	252,0
80	F1	50,3	100,5	150,8	201,0	251,3	301,6	351,8	402,1	452,3
	F2	45,4	90,7	136,1	181,4	226,8	272,2	317,5	362,9	408,2
100	F1	78,5	157,0	235,5	314,0	392,5	471,0	549,5	628,0	706,5
	F2	73,6	147,2	220,8	294,4	368,0	441,6	515,2	588,8	662,4
125	F1	122,7	245,4	368,1	490,8	613,5	736,3	858,9	981,7	1.104,3
	F2	114,7	229,4	344,1	458,8	573,5	688,2	802,9	917,6	1.032,3
160	F1	201,1	402,1	603,2	804,2	1.005,3	1.206,4	1.407,4	1.608,5	1.809,5
	F2	188,5	377,0	565,5	754,0	942,5	1.131,0	1.319,5	1.508,0	1.696,5
200	F1	314,1	628,3	942,4	1.256,6	1.570,8	1.884,9	2.199,1	2.513,2	2.827,4
	F2	301,5	603,1	904,7	1.206,2	1.507,8	1.809,4	2.110,9	2.412,5	2.714,1

Figura 3. 43. Fuerzas de avance y retroceso de cilindros de doble efecto

Fuente: [13]

Recuerde que los cilindros de doble efecto en el proceso de retroceso, la superficie del émbolo es menor que en el avance, debido al área de la sección transversal del vástago, por consiguiente, la fuerza de tracción es menor que la de empuje, como se puede apreciar en la Figura 3.43.



Figura 3. 44. Válvula 5/2 AIRTAC

Para el accionamiento de cilindros neumáticos de doble efecto se ha seleccionado válvulas 5 vías y 2 posiciones, tal como se muestra en la Figura 3.44 de marca AIRTAC 4V110-06, las cuales controlan el flujo de aire tanto para la salida como para el ingreso del vástago.

La electroválvula 5/2 AIRTAC tienen una presión de trabajo de 1,5 – 8 bar a 24V suficiente para el módulo de clasificación didáctico; tal manera que se requiere 2 electroválvulas 5/2 para los actuadores de doble efecto utilizados como desviadores hacia las rampas clasificadoras. En el Anexo A-13 podemos encontrar sus características técnicas.



Figura 3. 45. Silenciadores, racores y regulador de caudal.

Para reducir el ruido al momento de la circulación del aire por medio de las electroválvulas se utiliza silenciadores de 1/8 véase Figura 3.45. Se implementa un regulador de flujo a la salida del cilindro de doble efecto con la finalidad de controlar la salida del vástago de los cilindros. En el Anexo A-14 podemos encontrar las características de los reguladores de flujo y En el Anexo A-15 podemos encontrar sus características de los silenciadores.

3.12. Diseño del circuito neumático.

El circuito neumático se refiere a todas las conexiones realizadas del compresor, electroválvulas, válvulas estranguladoras, cilindros neumáticos circuito el cual va a permitir la clasificación de las piezas didácticas hacia las rampas clasificadoras mediante las señales de los sensores que nos indicaran que cilindro neumático de doble efecto activar. El plano del circuito neumático fue realizado en el software Fluid Sim. En el Anexo D se presenta más detallado dicho circuito neumático.

3.13. Selección de la pantalla

El propósito de la implementación de la touch panel como se muestra en la Figura 3.46 es con la finalidad de crear un HMI amigable con el medio además de poder visualizar las variables del módulo de clasificación de piezas didácticas. La KTP400 Basic PN color con su peso aproximado de 320 g fue seleccionada para el desarrollo de este proyecto, por su reducido costo y por todas las capacidades que nos brinda que son suficientes para el desarrollo de nuestro proyecto la características técnicas a mayor detalle véase Anexo A-19.



Figura 3. 46. KTP400 Basic PN

Fuente: [24]

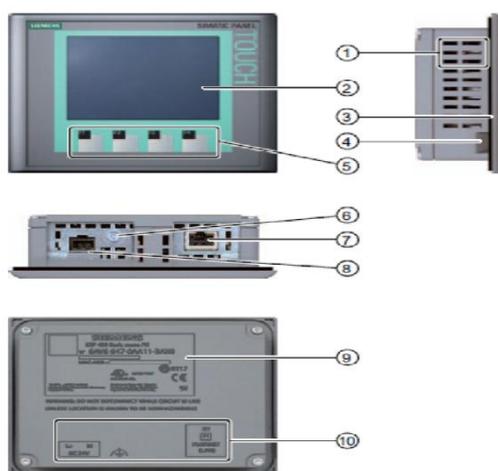
La comunicación con el PLC se realiza mediante la interfaz Profinet he ahí las sigla PN, su conector es RJ45 y la velocidad de transferencia es 10/100 Mbit/s. Permite programar hasta con 128 variables, que pueden ser distribuidas en 50 pantallas. En la Tabla 3.13 podemos ver sus características resumidas.

Tabla 3. 13.

Características técnicas de la KTP 400 BASIC PN color

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Tipo	KTP400 BASIC
Tamaño pantalla	4" TFT
Ancho display	95 mm
	CONTINÚA 

Alto display	53,9 mm
Número de colores	65536
Tipo de pantalla táctil	si
Interfaz	Ethernet, USB
Fuente de alimentación	24 V DC
Protección	IP65
Temperatura de servicio mín.	0 °C
Temperatura de servicio máx.	50 °C
Modelo	Transversal, Vertical
Memoria para datos del usuario	10 MB
Protocolos	PROFINET
Software de configuración	desde STEP7 Basic, WinCC Basic (TIA Portal)



1. Escotaduras para mordazas de fijación
2. Display / Pantalla táctil
3. Junta de montaje
4. Guía para las tiras rotulables
5. Teclas de función
6. Conexión para tierra funcional
7. Interfaz PROFINET
8. Conexión para la fuente de alimentación
9. Placa de características
10. Nombre del puerto

Figura 3. 47. Touch Panel Siemens KTP-400 Basic PN

Fuente: [24]

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.

Una vez terminado el diseño del módulo de clasificación, se inicia el proceso de construcción, implementación y montaje del sistema eléctrico y neumático. En el presente capítulo se describe la construcción y montaje del equipamiento del módulo de clasificación de piezas didácticas.

4.1. Construcción de la banda transportadora.

4.1.1. Rodillo motriz

En la Figura 4.1 se muestra el rodillo motriz el cual va acoplado al eje del motorreductor que tiene como función que el sistema opere de una manera eficiente, la cual hará girar a una misma velocidad todos los rodillos. En el Anexo B-1 podemos encontrar sus planos y dimensiones.

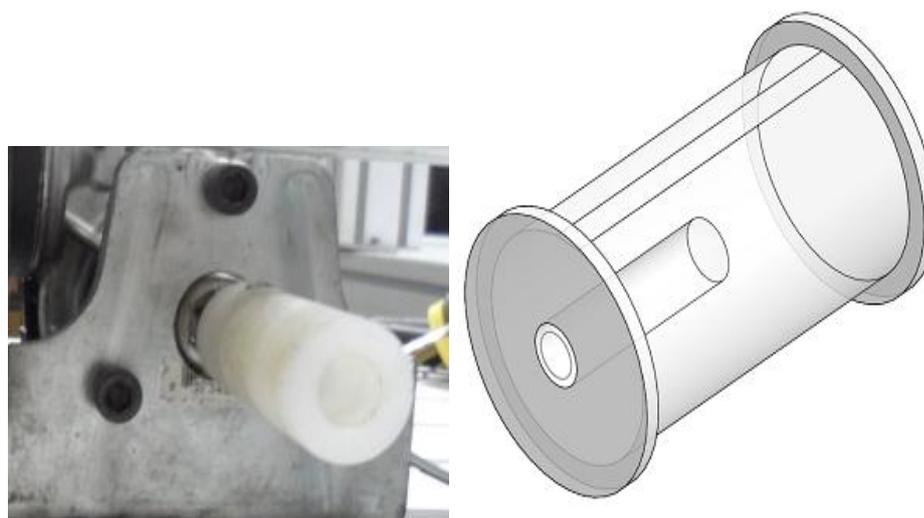


Figura 4. 1. Rodillo motriz

4.1.2. Rodillos tensores.

En la figura 4.2 se muestra que los rodillos los cuales van acoplados mediante un tornillo de $\frac{1}{4}$ por 40 mm de largo. En el Anexo B-2 podemos encontrar sus dimensiones y planos.



Figura 4. 2. Rodillos de cola

También se construyeron dos tensores como se muestra en la Figura 4.3, los cuales tienen como función principal conseguir contacto entre la banda y el rodillo motriz, además proporcionan la opción de tensar o liberar la longitud de la banda según sea la necesidad.



Figura 4. 3. Rodillos Tensores

4.1.3. Soporte de banda.

Una vez seleccionado el perfil de aluminio para soporte de la banda se procede cortar el aluminio como se muestra en la Figura 4.4. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B-6

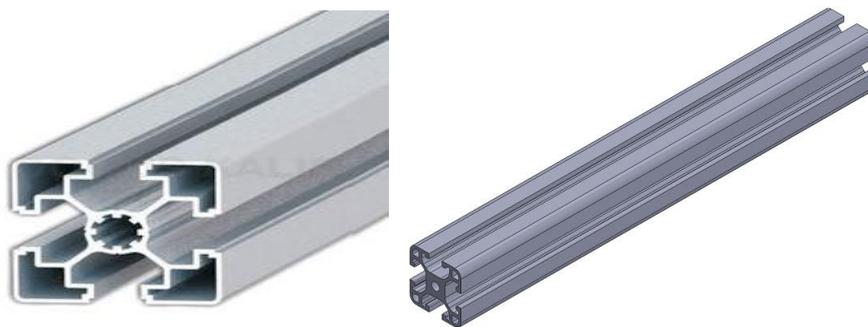


Figura 4. 4. Soporte de banda

La Figura 4.5 muestra el acople de los rodillos al soporte de la banda mediante platinas como se observa en SolidWorks y en la cual se presenta culminado su mecanizado. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B-7.

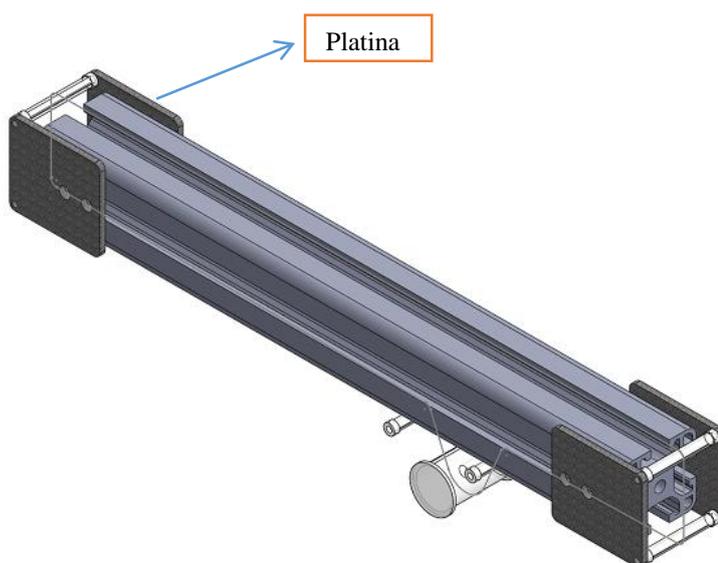


Figura 4. 5. Acople de rodillos

Para la clasificación de las piezas se realiza un desviador de aluminio compuesto (ver Figura 4.6) que da forma al material didáctico, para expulsarlo sin necesidad de utilizar un cilindro de doble efecto, la cual se colocará al final de la banda transportadora. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B-8.

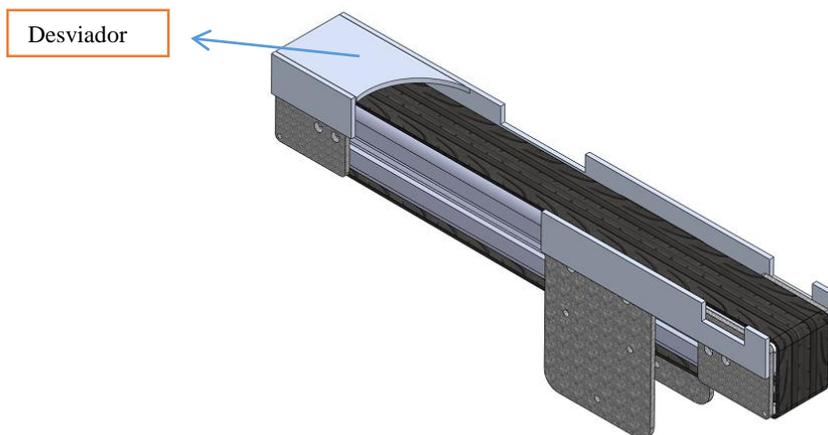


Figura 4. 6. Expulsión de piezas

4.1.4. Montaje de las rampas clasificadoras.

Las rampas de clasificación son las que se utilizan donde las piezas se van a almacenar de acuerdo a las necesidades del programador ya sean estas rojas, negras o metálicas. Para el diseño de las rampas se empleó una canaleta de aluminio disponible en el mercado local de 4 cm de ancho, 17 cm de altura y 25 cm de largo. Las dimensiones y planos se pueden ver en el Anexo B5.

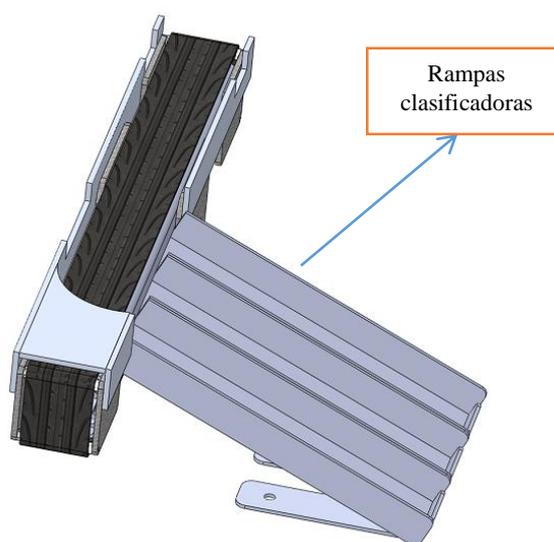


Figura 4. 7. Canaleta de aluminio para rampas de clasificación.

4.1.5. Acoplamiento del motor.

En la Figura 4.8, muestra el acoplamiento del motor a la estructura de aluminio ranurado. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el AnexoB-9

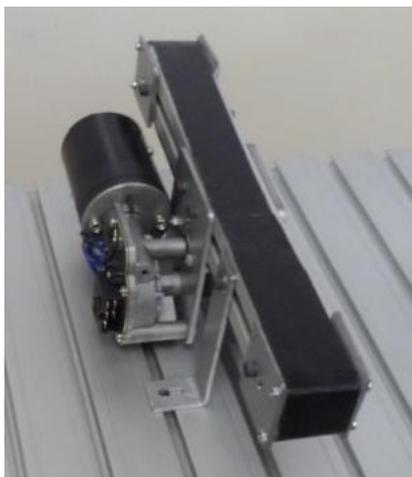


Figura 4. 8. Acoplamiento del motor

4.1.6. Montaje de la banda transportadora.

En la Figura 4.9, muestra el montaje de la banda transportadora, sujetos a la placa de aluminio mediante tuercas cabeza de martillo (ver Figura 4.9). Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B-10.

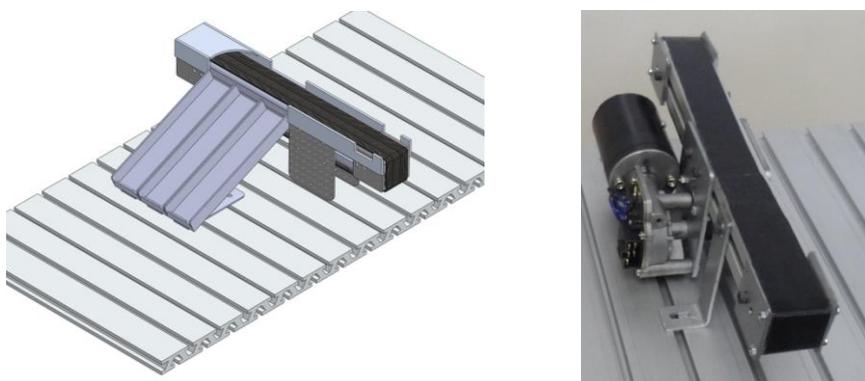


Figura 4. 9. Montaje de la banda transportadora.



Figura 4. 10. Tuercas cabeza martillo

4.2. Montaje de los sensores.

La ubicación de los sensores se la realiza al inicio de la banda transportadora ya que estos dispositivos son los encargados de detectar la presencia de la pieza, identificar su color y si esta es metálica, las cuales serán trasladadas mediante la banda transportada de la posición de ingreso hacia la rampas de clasificación, donde serán clasificadas por medio de los cilindros desviadores. En la Figura 4.11 se muestra la ubicación de los sensores.

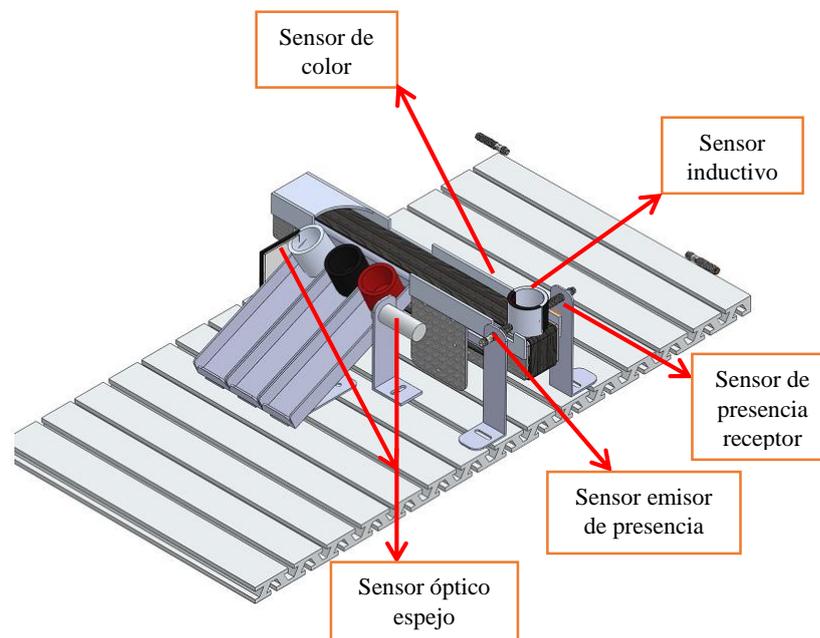


Figura 4. 11. Montaje de los sensores del sistema de clasificación

Una vez montados los sensores se proceden a calibrar, en el Anexo A se encuentran las características técnicas; en la cual nos permitirá saber a qué distancia serán ubicados para la detección de piezas a color y metálicas.

4.3. Montaje del sistema neumático.

En la Figura 4.12, muestra la ubicación de los dos cilindros neumáticos de doble efecto están montados en la placa de aluminio mediante soportes de platina. Los cilindros vienen con una guía roscada en el extremo, la misma que se introduce en el agujero del soporte de sujeción estos son asegurados mediante una tuerca de ajuste. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B-11.

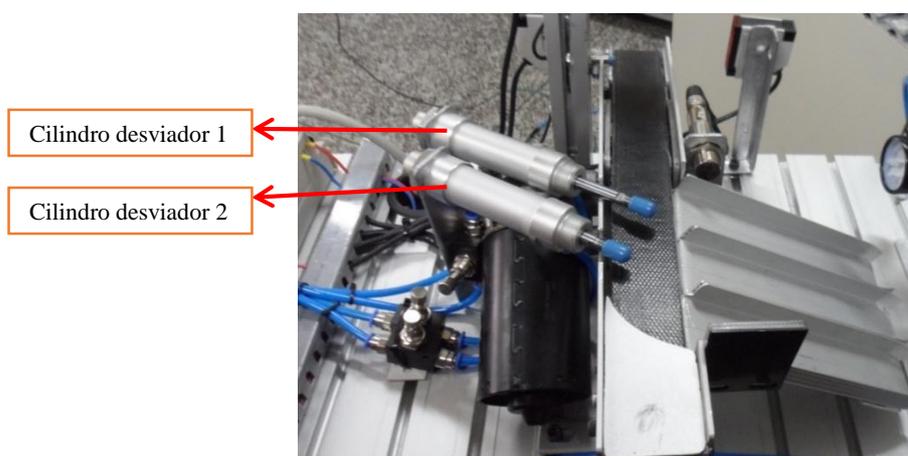


Figura 4.12. Ubicación de cilindros neumáticos

En la Figura 4.13 se muestra las dos electroválvulas 5/2, ubicadas en la parte superior de la placa de aluminio, montadas sobre un riel din. Tiene por función la activación de los cilindros desviadores y enviar hacia las rampas para la clasificación de piezas didácticas.

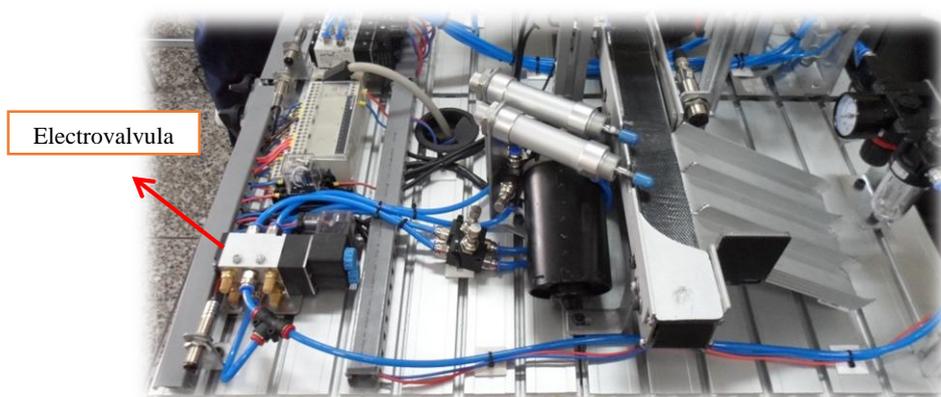


Figura 4.13. Ubicación de las electroválvulas 5/2

Los cilindros de doble efecto operan en desplazamiento horizontal, la velocidad de desplazamiento de salida del vástago del cilindro puede ser regulada a través de las válvulas estranguladoras (ver Figura 4.14).



Figura 4. 14. Ubicación de las válvulas estranguladoras.

En la Figura 4.15, muestra la ubicación de la unidad de mantenimiento, sujeta a la placa de aluminio mediante un soporte de platina. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo B-12.

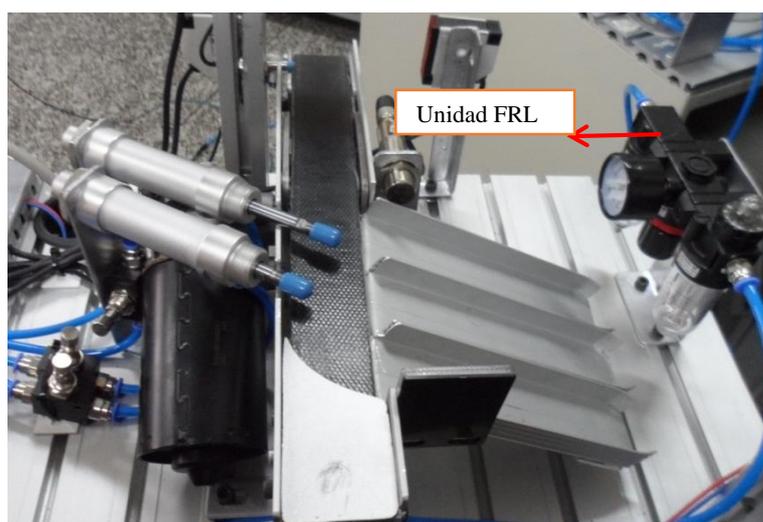


Figura 4. 15. Montaje de la unidad de mantenimiento DANFOSS

Para la alimentación de aire del sistema de clasificación didáctico las conexiones se realizan mediante el uso de manguera flexible 6 mm y acoples de tecno polímero, lo que facilita la rápida instalación del sistema de alimentación de aire en el equipo.

4.4. Implementación del circuito de mando y control

4.4.1. Tablero de control.

El tablero de control se encuentra ubicado en la parte frontal de la mesa móvil como se puede apreciar en la Figura 4.16. Para el circuito de mando y control se utiliza conductor # 16 flexible AWG, tanto para los pulsadores y luces indicadoras que fueron conectados a sus respectivas borneras, de las cuales fueron destinadas tanto entradas como salidas al PLC S7-1200 CPU 1214C que cuenta con sus debidas protecciones como es un fusibles de 4 A, se encuentra en la mesa móvil y que está sujeto con 4 pernos de $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ pulgada.

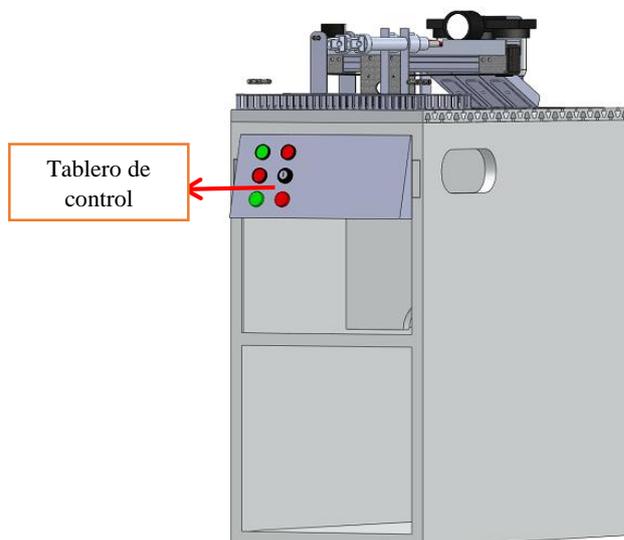


Figura 4. 16. Tablero de control

Una vez colocado el tablero de control en el PLC, la fuente de alimentación, las borneras y la protección eléctrica, se procede a cablear para lo cual se ha efectuado una representación de colores (Tabla 4.1) para corriente continua y alterna y E/S del

PLC S7 1200 CPU 1214C, en la Figura 4.17 podemos visualizar el cableado del tablero de control y mando.

Tabla 4. 1.

Identificación de colores de cables en el Tablero de control

Color	Identificación
Rojo	Positivo 24 V Dc
Azul	Negativo 24 V Dc
Negro	E/S del PLC
Amarillo	Línea 110 V Ac
Blanco	Neutro 110 V Ac
Verde	Tierra

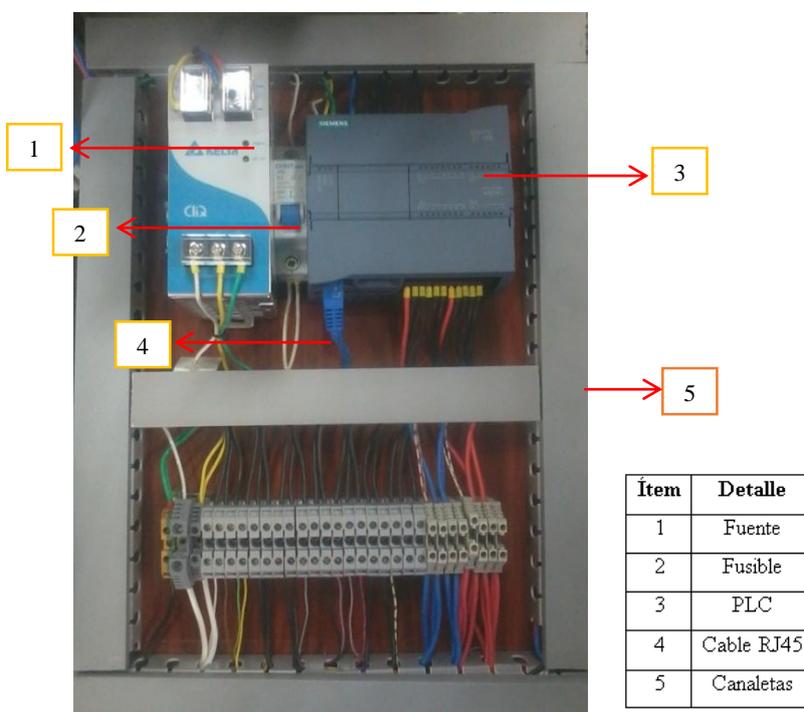


Figura 4. 17. Cableado del PLC

4.4.2. Implementación de la interfaz ABE7-HR1631

Como ya se mencionó anteriormente las señales que obtenemos de los sensores ópticos e inductivos son digitales es por eso que no se necesita de un acondicionador de señales. En la Figura 4.18 se muestra que tanto las entradas de los sensores, y las salidas de los actuadores están asignadas al módulo AB7 ABE7-HR1631, distribuidos para la conexión con el PLC, se utiliza un cable preequipado Telefast HE-10. En el ANEXO A- 18 podemos ver la distribución E/S para este tipo de cable permitiéndonos así tener un fácil manejo de todas las señales que se utilizan el módulo de clasificación.



Figura 4. 18. Módulo ABE7-HR1631

4.5. Montaje del sistema terminado

En la figura 4.19 se muestra el sistema de clasificación didáctico ubicado en la mesa móvil.

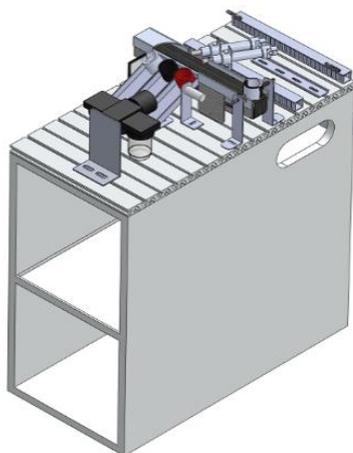


Figura 4. 19. Sistema de clasificación didáctico

4.7. Programación del PLC Siemens S7-1200

Una vez realizada la implementación de los diferentes elementos y conociendo el funcionamiento del sistema de clasificación didáctico, se procede a elaborar una secuencia de funcionamiento, teniendo en cuenta entradas y salidas digitales utilizando el software propio del PLC Siemens S7-1200 el Totally Integrated Automation (TIA) Portal V13 que dispone de una interfaz amigable y simple para el programador, en la que se puede distinguir diferentes lenguajes de programación de acuerdo a las competencias y conocimientos del programador logrando los mismos resultados en cualquier caso.

Al tiempo en el que se tenga la comunicación del hardware continuar con la programación del PLC para que realice el proceso que se desea, el sistema de clasificación didáctico.

- a. Como primer paso se debe declarar la dirección IP de la PC, del PLC y también de la pantalla HMI. Primero configurar la IP del PC, ingresar la IP 192.168.0.1 u otra diferente mientras se encuentre dentro del rango de la clase de IP (clase C) como se muestra en la Figura 4.20 además que no coincida con la dirección IP del PLC como se muestra en la Figura 4.21 y tampoco con la de la pantalla HMI.

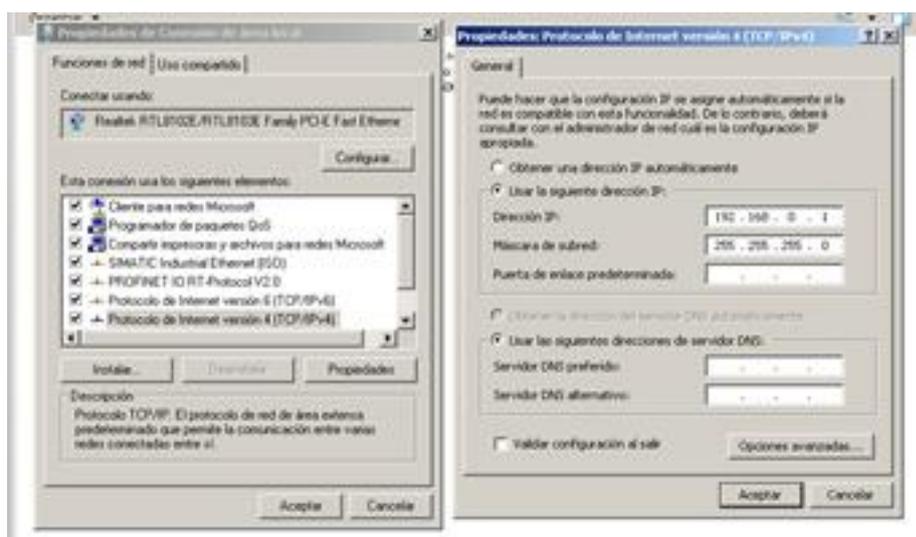


Figura 4. 20. Asignación de una dirección IP y submáscara de red para la PC

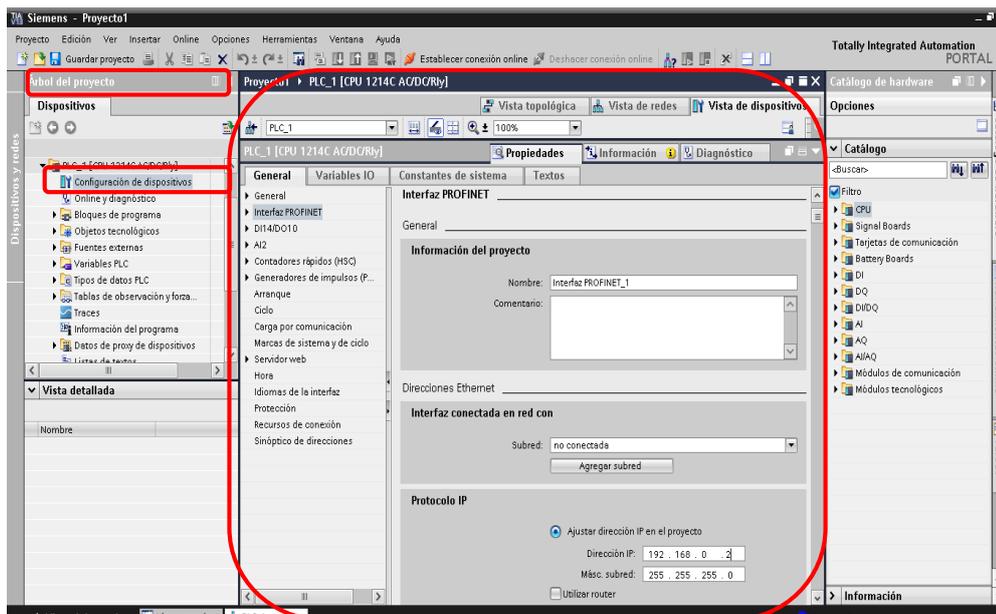


Figura 4. 21. Configuración IP en el PLC

- b. Como segundo paso antes realizar la programación del módulo de clasificación de piezas didácticas se declaran las entradas y salidas del PLC. En la Figura 4.22 se muestra como declarar las variables de entradas como las de salida.

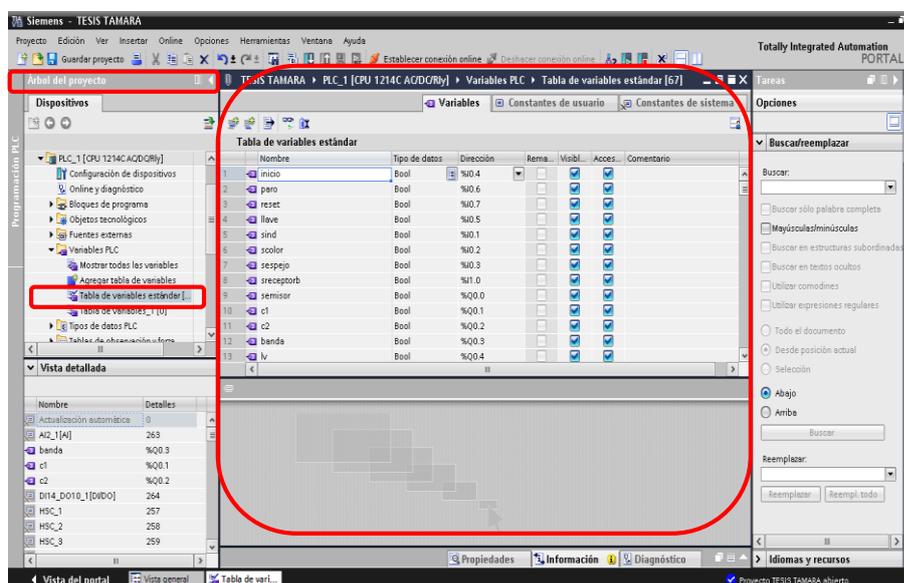


Figura 4. 22. Declaración de entradas y salidas

- c. Como tercer paso para empezar a programar a la izquierda de la pantalla se encuentra el "Árbol del proyecto" en la carpeta bloques de programa existe creado un bloque por defecto Main [OB1] dar doble clic para poder editarlo, como se observa en la Figura 4.23.

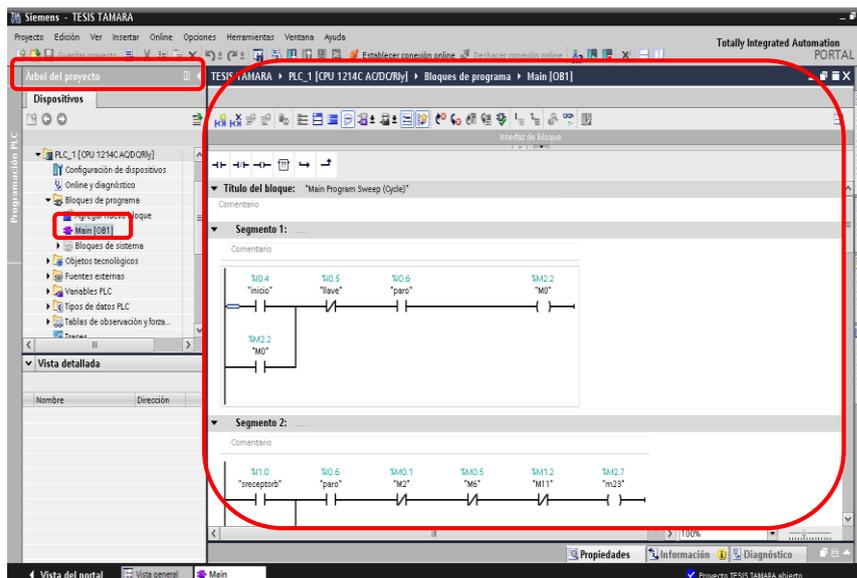


Figura 4. 23. Programar en Main.

Los bloques contienen todas las funciones necesarias para ejecutar la tarea de automatización específica. Y a continuación aparece el bloque de organización "Main [OB1]" en el editor de programas, donde se realizará la programación deseada como se muestra en la Figura 4.24 la zona marcada es allí donde se realiza la programación mediante esquema de contactos (KOP), se elige este lenguaje de comunicación por ser el más cómodo y fácil de entender.

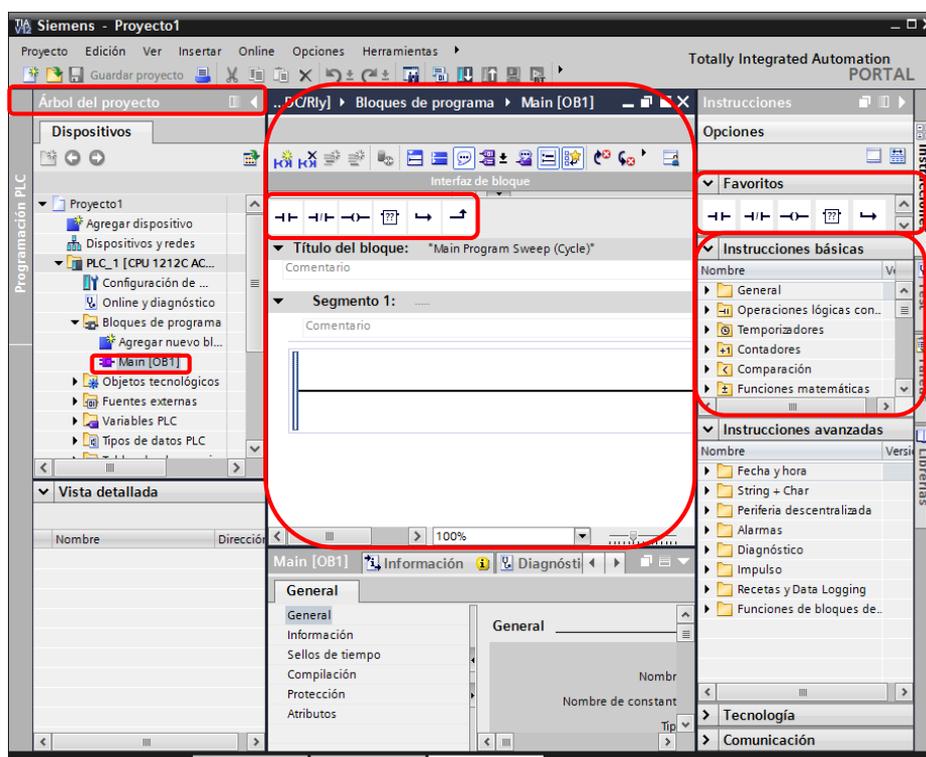


Figura 4. 24. Bloque de organización "Main [OB1]"

En la parte derecha de la vista general se puede acceder a las instrucciones básicas, las mismas que se hallan clasificadas de acuerdo a la función que cumplen, de donde serán arrastrados para generar las líneas de programación de acuerdo a la necesidad de automatización. También se encuentra los bloques de manera más fácil y rápida en la parte de arriba en donde se realiza la programación.

- d. Al concluir con la programación hay que compilar y transferir la misma hacia el PLC, durante el proceso de carga, se establece una conexión online entre la PC y el controlador como se muestra en la Figura 4.25.

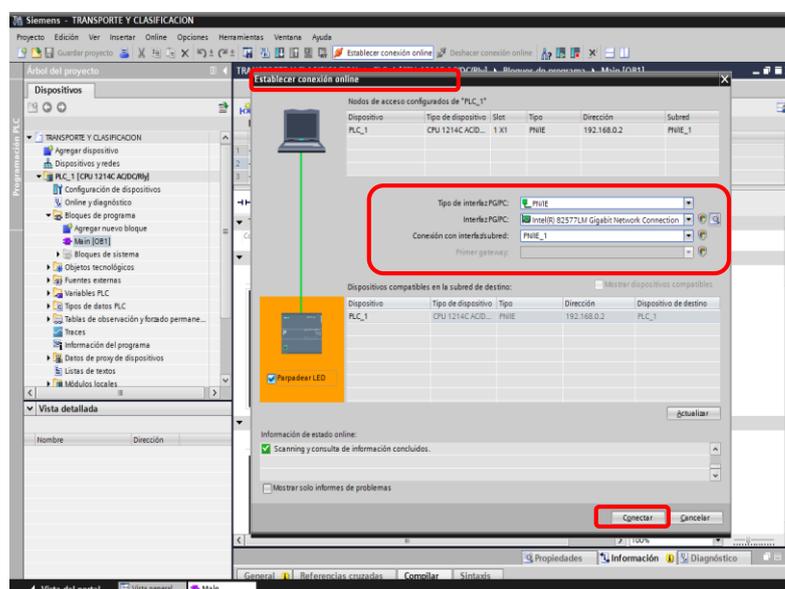


Figura 4. 25. Transferir configuración

Una vez el programa está compilado se puede transferir el bloque de programación que está siendo editado, se selecciona la opción Bloque de programa, transferir tanto el hardware como el programa completo al seleccionar el PLC en la ventana de proyecto, para lo cual se muestra la siguiente pantalla “Cargar” como se muestra en las Figuras 4.26.

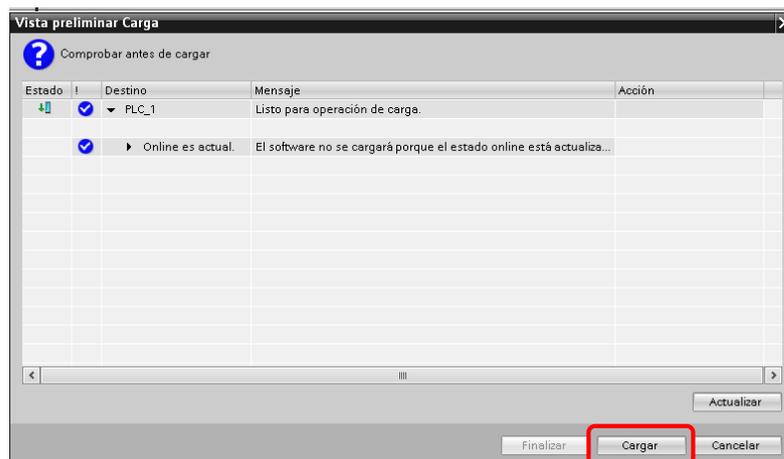


Figura 4. 26. Transferencia de la programación al PLC

4.7.Programación de la pantalla HMI

Como primer paso hay que realizar la comunicación entre la PC, PLC y la pantalla HMI. Para agregar la pantalla HMI se selecciona en el “Árbol de proyecto” en la barra de la derecha del programa “Agregar dispositivo” y aparecerá una ventana donde se elige “HMI” y luego seleccionar el dispositivo adquirido como se muestra en la Figura 4.27 una vez seleccionado se despliega el modelo, versión y la descripción del dispositivo, dar clic en “Aceptar”.

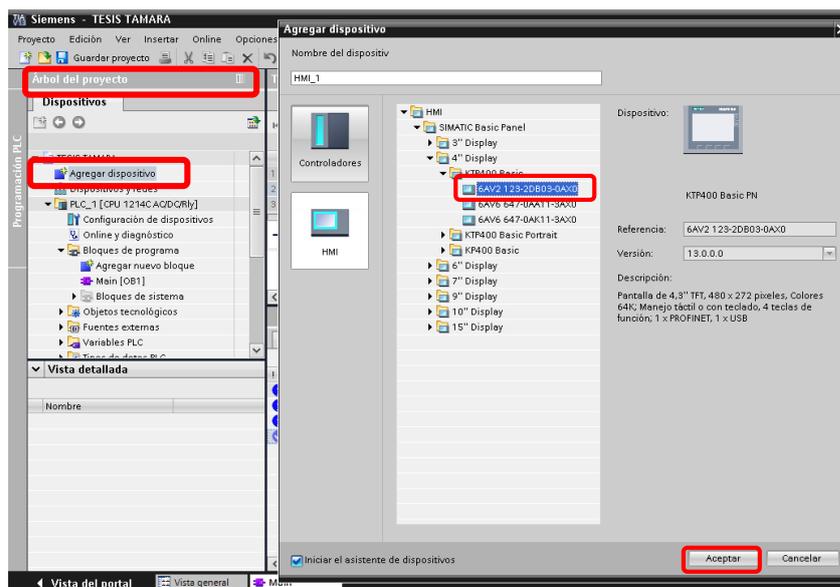


Figura 4. 27. Agregar pantalla HMI

En la pantalla Asistente del panel de operador la cual hace más fácil la interacción con la programación y el funcionamiento de la pantalla HMI se muestra todas funciones que se puede asignar a la pantalla como se muestra en la Figura 4.28. En este paso se debe seleccionar el driver de comunicación para ello ubicarse en el botón examinar y seleccionar el dispositivo adquirido y dar clic en “siguiente” y “finalizar”.

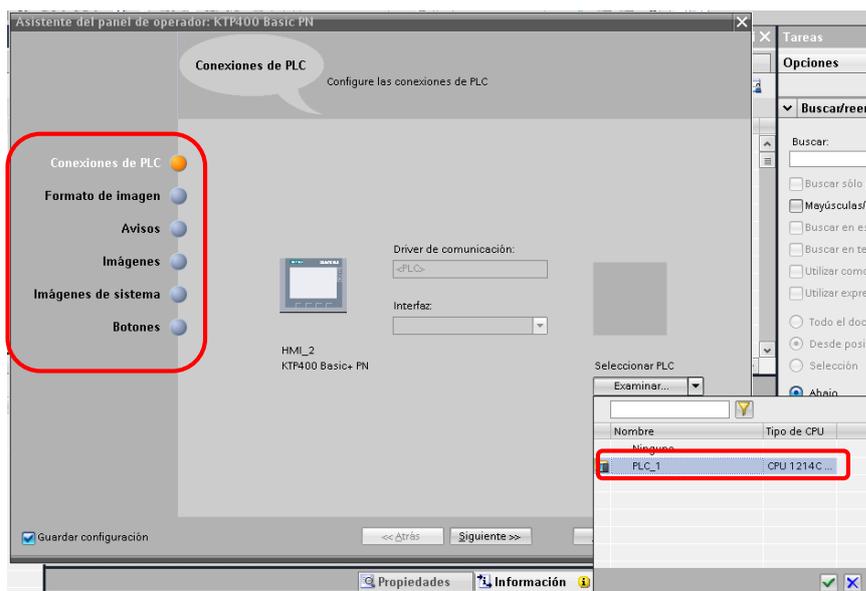


Figura 4. 28. Funciones de la pantalla HMI

Al finalizar esto se despliega una presentación de la pantalla HMI como se muestra en la Figura 4.29 donde se va a programar. A la derecha del software en la barra de “Herramientas” se tiene: objetos básicos, elementos, controles y gráficos de donde se puede elegir una amplia gama de figuras útiles para simular. Para colocar la imagen en la pantalla únicamente hay que seleccionar y arrastrar a donde se desee. Y en la parte de abajo en propiedades se despliega las características de las imágenes y los eventos que se les puede asignar de acuerdo a lo que desee el programador.

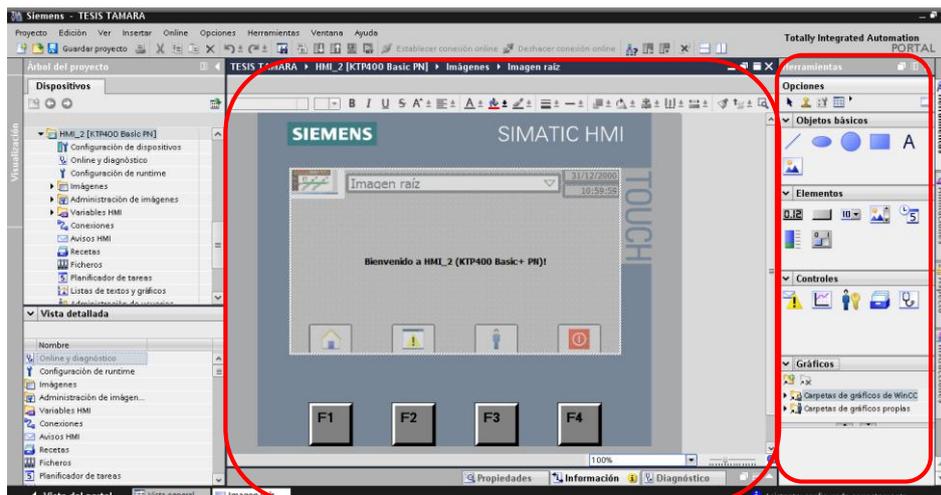


Figura 4. 29. Interfaz HMI

En la Figura 4.30 se encuentra el proceso de clasificación con los iconos de activación y animación.

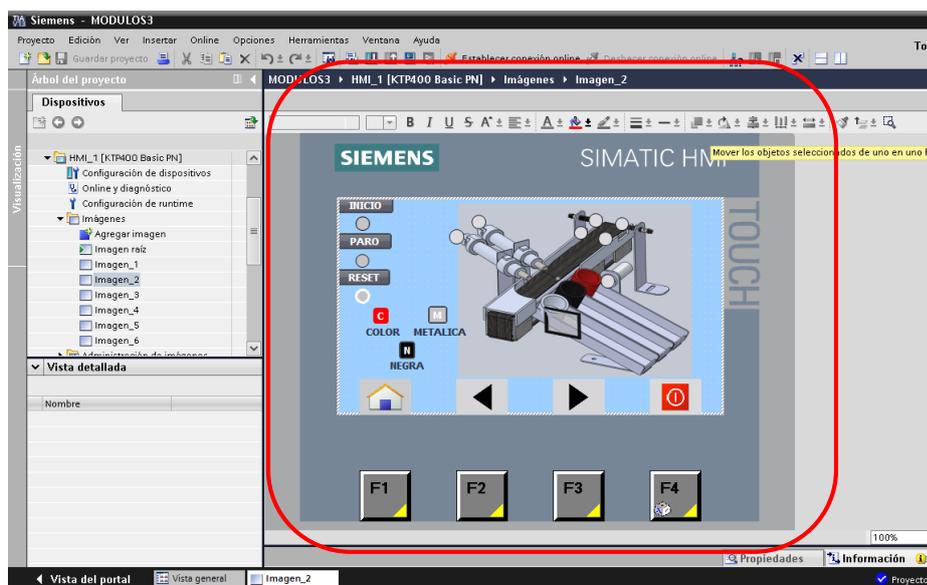


Figura 4. 30. Presentación de la pantalla HMI

Ahora para realizar la comunicación con la pantalla físicamente mediante el cable Ethernet se debe asignar una dirección IP a la pantalla para que se puedan comunicar con el PLC esto se realiza ubicándose en las propiedades de la pantalla HMI, “General”, “Interfaz PROFINET [X1]” y a la derecha de las opciones está el Protocolo IP y se asigna la dirección IP y la Máscara de subred como se muestra en la Figura 4.31, y con ello ya se puede realizar la comunicación y por consiguiente la programación de la pantalla HMI correctamente.

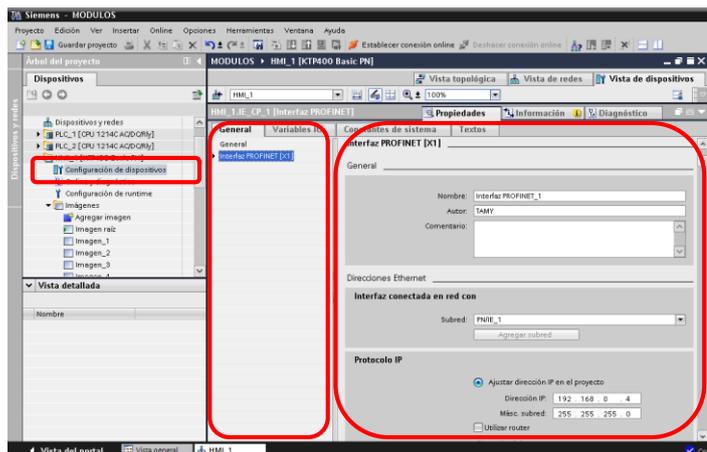


Figura 4. 31. Asignación de la dirección IP a la pantalla HMI

Al concluir con la programación hay que compilar y transferir la misma hacia el PLC, durante el proceso de carga, se establece una conexión online entre la PC y el controlador como se muestra en la Figura 4.32.

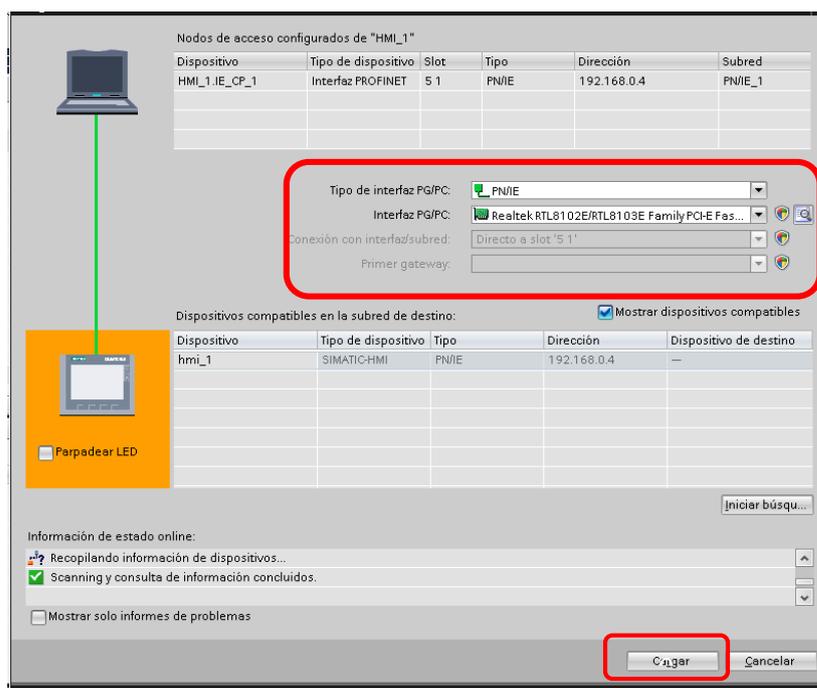


Figura 4. 32. Transferir configuración

Una vez el programa está compilado se puede transferir tanto el hardware como el programa completo al seleccionar el HMI en la ventana de proyecto, para lo cual se muestra la siguiente pantalla “Cargar” como se muestra en las Figura 4.33.

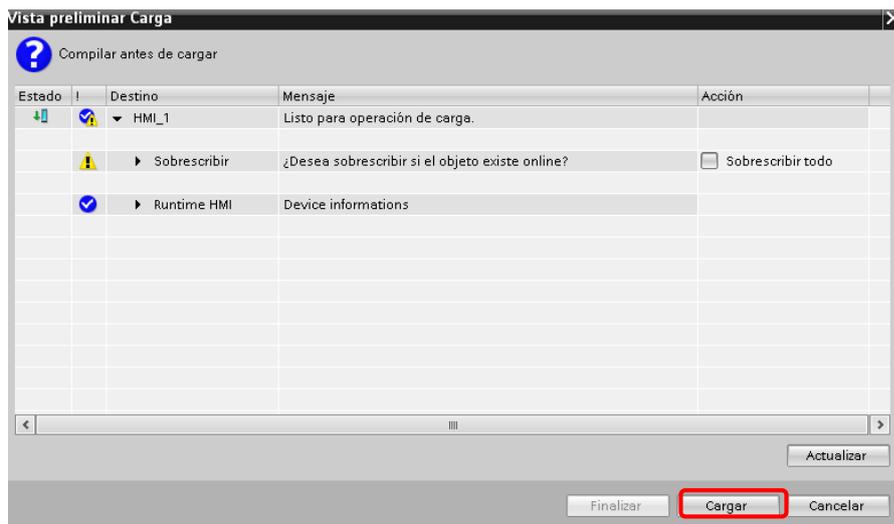


Figura 4. 33. Cargar programación HMI

4.8. Configuración de la Red Ethernet.

Como primer paso para empezar la configuración de la red a la izquierda de la pantalla se encuentra el “Árbol del proyecto”, en Dispositivos y Redes dar doble clic para poder editarlo, como se observa en la Figura 4.34, y realizar las conexiones de los PLC'S con la pantalla KTP 400 Basic PN.

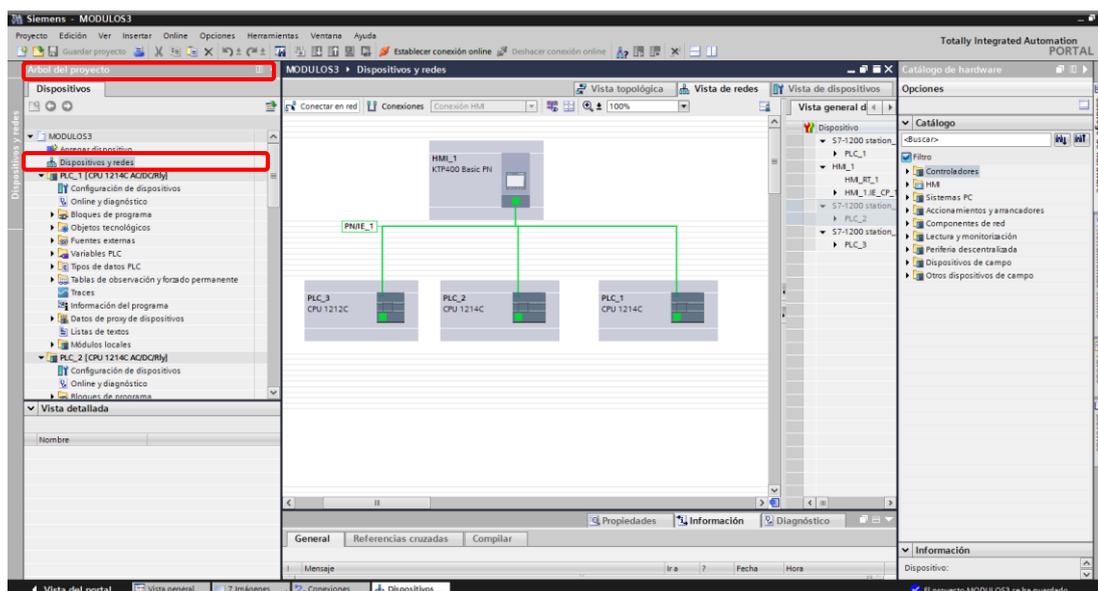


Figura 4. 34. Comunicación Ethernet

Se realiza la comprobación de la comunicación ubicándose en la pestaña “Online” como se muestra en la Figura 4.35. Realizar esta acción para cada uno de los dispositivos que conforman la red Ethernet.

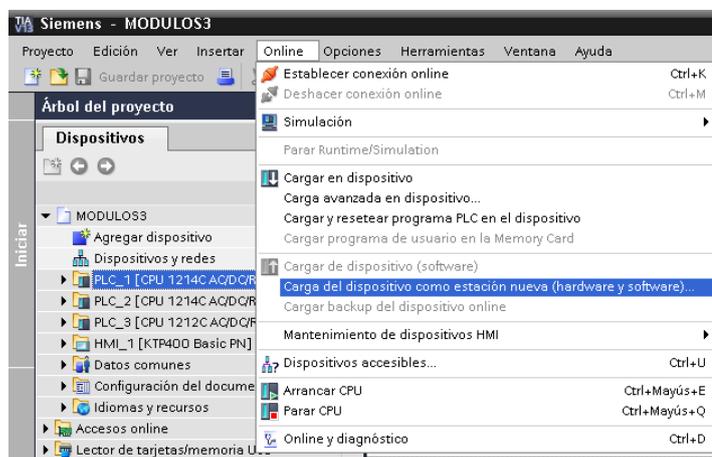


Figura 4. 35. Comprobación de la comunicación “Online”

Cuando se haya comprobado la comunicación de la pantalla HMI y los dispositivos se puede cargar las programaciones realizadas de la pantalla KTP400. Presionar el botón de cargar. Después en la ventana que aparece oprimir el botón de “Conectar”, Figura 4.36 para que después salga la pantalla de carga.

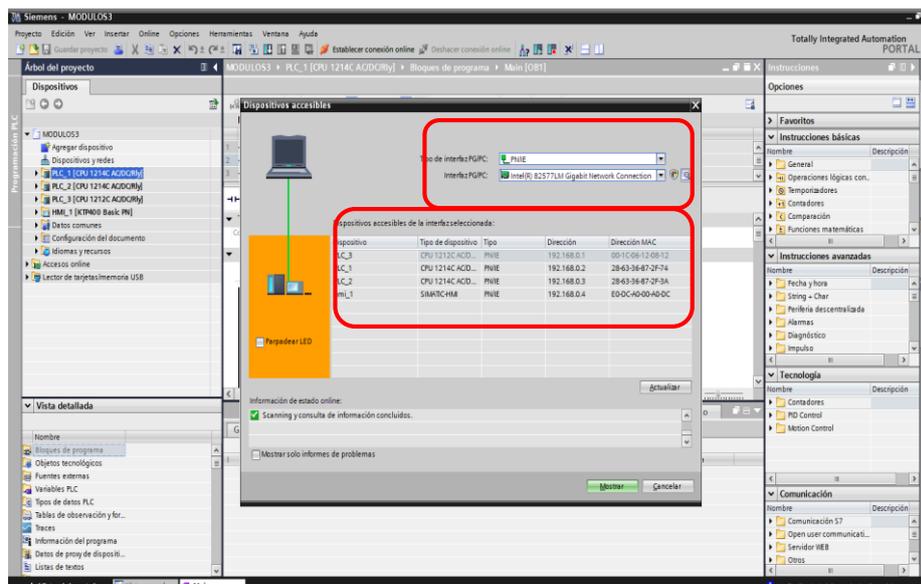


Figura 4. 36. Dispositivos accesibles en la red Ethernet

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS DEL MÓDULO DE CLASIFICACIÓN.

Luego de la implementación del módulo de clasificación se procedió a la ejecución de las pruebas de funcionamiento las cuales fueron realizadas para identificar causas y efectos, de programación y configuración de los dispositivos. Con la realización de las pruebas individuales se obtuvo el módulo ensamblado, calibrado y programado de una manera adecuada y acorde a las necesidades del proceso.

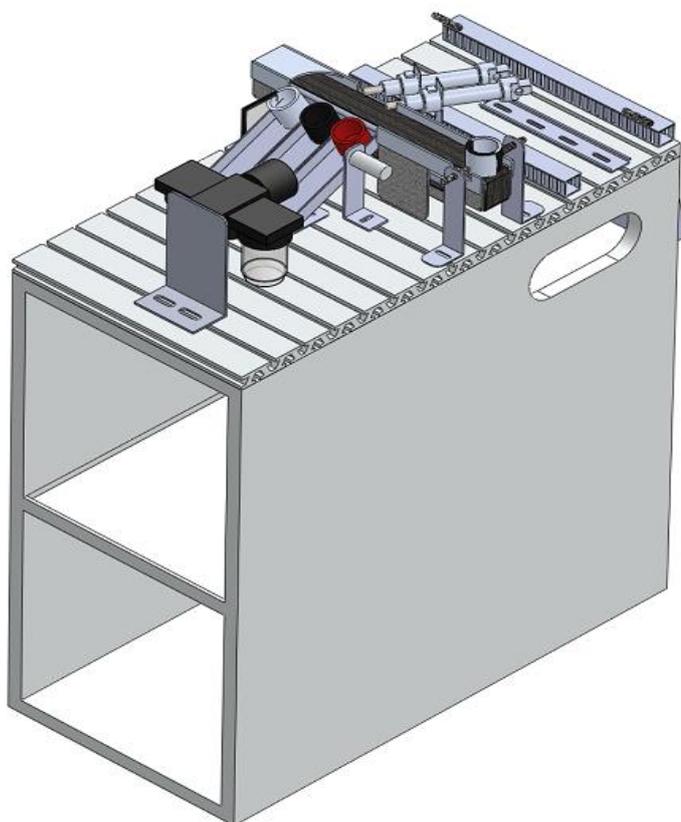


Figura 5. 1. Módulo de clasificación de piezas didácticas

5.1.1. Pruebas eléctricas.

La Tabla 5.1 detalla la comprobación de las conexiones eléctricas y la verificación de los voltajes adecuados para cada uno de los equipos utilizados, de

modo que no existan cortos circuitos o daños por sobre voltaje o corriente. De este modo evitar que al momento de que exista alimentación eléctrica resulte dañado alguno de los componentes electrónicos dispuestos dentro del tablero.

Tabla 5. 1.

Verificación de voltajes en dispositivos

Elemento	Voltaje	Correcto
Moto- reductor	24 V DC	√
Electroválvulas	24 V DC	√
Sensores	24 V DC	√
Relés	24 V DC	√
PLC	120 V	√
Touch Panel	24 V DC	√
Fuente	24 V DC	√

5.1.2. Pruebas neumáticas.

La calibración del sistema neumático se realizó mediante la unidad de mantenimiento, regulando la presión de trabajo a 6 bares. Las pruebas neumáticas se realizaron manualmente a los cilindros de doble efecto que son activados mediante electroválvulas que funcionan con 24VDC y la regulación de aire se la efectuó mediante las válvulas estranguladoras que limitan la salida de los pistones, dependiendo de la velocidad necesaria para que las piezas sean empujadas hacia la rampa de clasificación.

5.1.3. Pruebas de monitoreo del PLC y pantalla.

Para programar y verificar su correcto funcionamiento del módulo de clasificación implementado se necesita de un cable Ethernet para realizar la comunicación, ya que el PLC y la pantalla HMI disponen una interfaz PROFINET/Ethernet RJ45 10/100Mbps; se puede comprobar la comunicación y

funcionamiento del sistema conectando el PLC y la PC, para esto se deberá establecer una conexión online entonces se ejecutará parpadear el led del PLC desde la PC y de la pantalla, como se muestra en la Figura 5.2 eso significa que la conexión es exitosa entre los dispositivos.

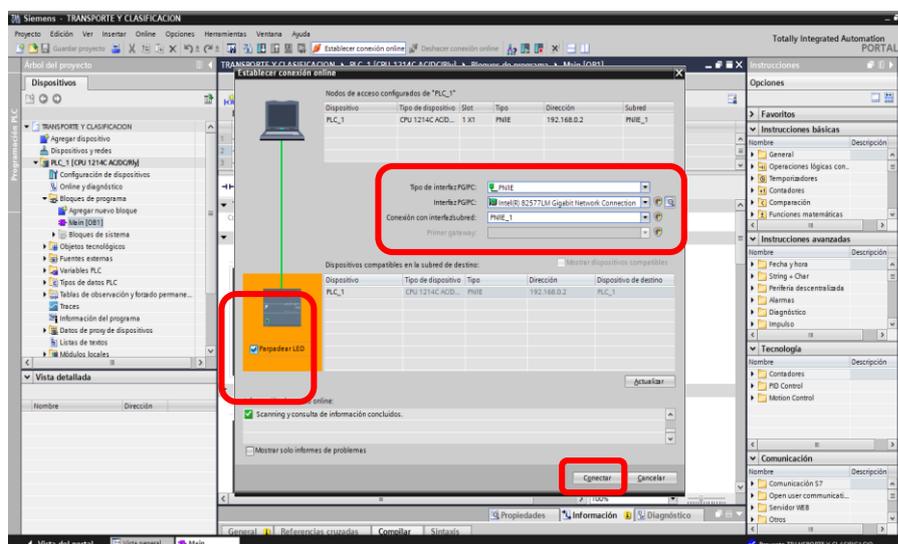


Figura 5. 2. Verificación de la comunicación entre la PC y el PLC

5.1.4. Prueba del programa del módulo de clasificación.

En la Figura 5.3 se muestra la manera de comprobar el funcionamiento del programa, observado la activación de los leds de las E/S del PLC y la pantalla funcionan según el diseño.

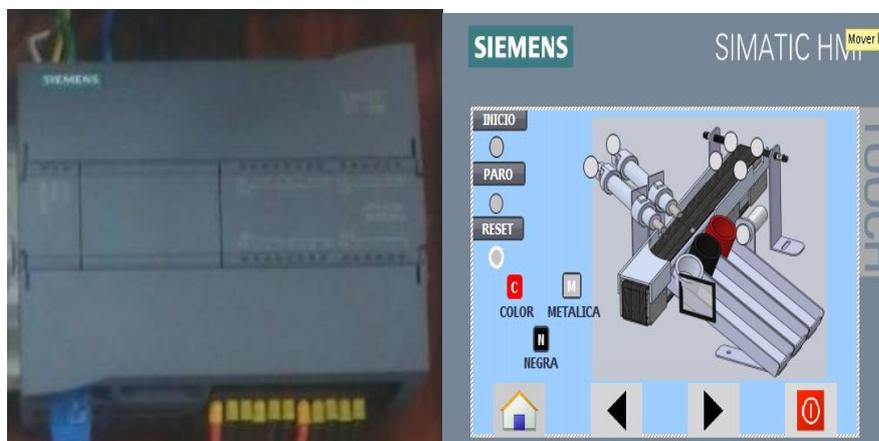


Figura 5. 3. PLC y KTP 400 conectado y funcionando.

En la Figura 5.4 se muestra el funcionamiento de la programación en tiempo real mediante el mismo software donde se establece una conexión online y aparecerá la pantalla de color naranja y se visualizará el estado de las variables.

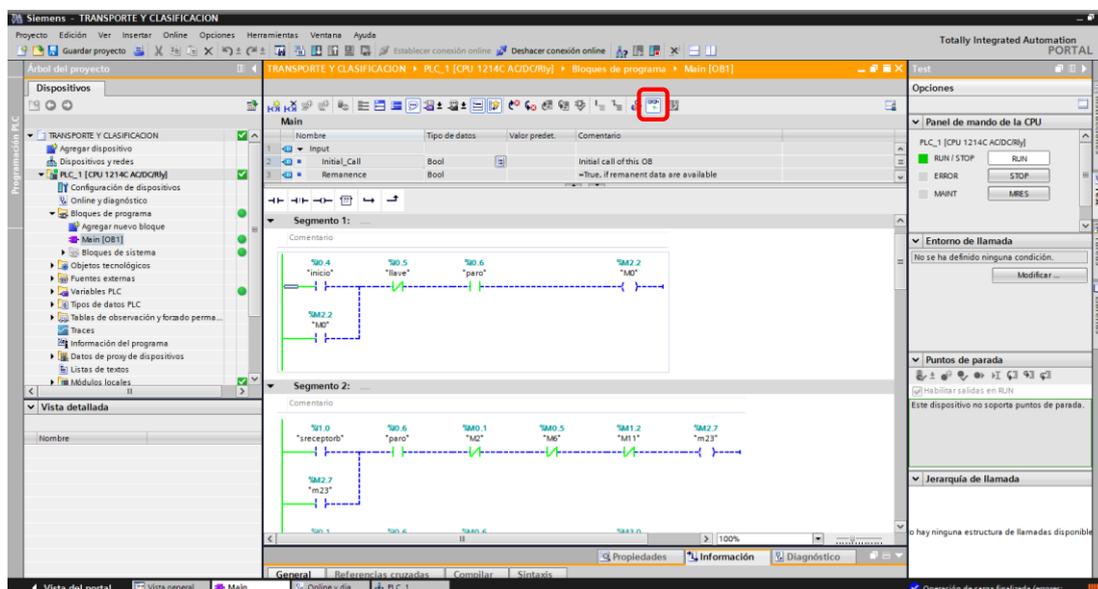


Figura 5. 4. Monitoreo de la programación en tiempo real

5.1.5. Prueba de transferencia del módulo de clasificación

En la Figura 5.5 se muestra la activación de transferencia de datos hacia la pantalla KTP400.



Figura 5. 5. Transferencia de datos a la pantalla KTP400.

5.1.6. Prueba de la comunicación Ethernet

Para realizar la conexión entre dispositivos es necesario un Switch Ethernet como se muestra en la Figura 5.6 que es el encargado de comunicar dichos dispositivos entre sí para realizar esta comunicación se coordina el funcionamiento de las variables a supervisar con las acciones que debe tomar el PLC ante la variación de la misma y con la interacción de la interfaz que debe mostrar de una forma amigable al operador el funcionamiento del módulo de clasificación.



Figura 5. 6. Switch Ethernet comunicación entre dispositivos.

Una vez realizada la conexión con el Switch Ethernet se verifica la comunicación con el software TIA Portal dando doble clic en la opción de “dispositivos y redes” y a la derecha aparecerán los dispositivos que están conectados y listos para comunicarse entre sí como se muestra en la Figura 5.7.

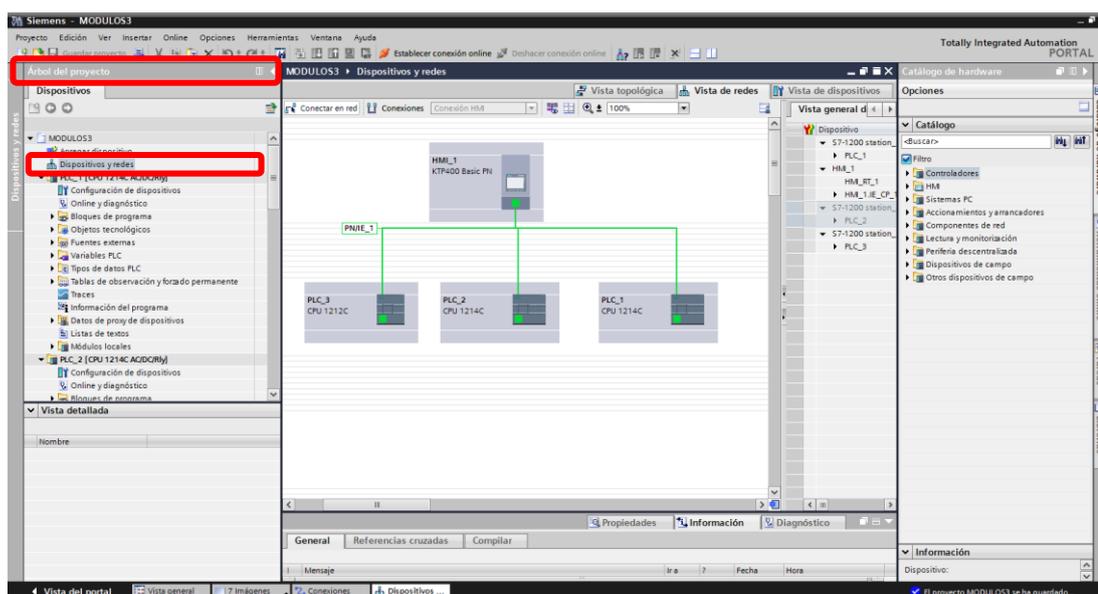


Figura 5. 7. Dispositivos conectados en red (PLC y HMI)

5.3.Análisis de costos.

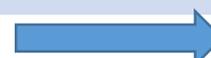
Se detalla a continuación en forma general los precios de los equipos adquiridos para la ejecución del proyecto, tanto el listado de los elementos mecánicos y eléctricos, para determinar el costo de inversión inicial.

Tabla 5. 2.

Detalle de Costos

ITEM	CANTIDAD	DETALLE	PU(\$)	PT(\$)
1	1	SYSLINK	160,00	160,00
2	1	PLACA PERFILADA DE ALUMINIO	351,50	351,50
3	1	PLC S7 -1200 CPU 1214C	365,00	365,00
4	1	PANTALLA HMI KTP400	365,00	365,00
5	2	SENSOR ÓPTICO DE BARRERA	50,00	100,00
6	1	SENSOR ÓPTICO RETRO-RÉFLEX	50,00	50,00
7	1	SENSOR INDUCTIVO 8mm 24 V dc	49,00	49,00
8	1	SENSOR ÓPTICO DE COLOR	140,00	140,00
9	2	CILINDRO DE DOBLE EFECTO	67,50	135,00
10	2	VÁLVULA MONOESTABLE 5/2 24 V dc	52,00	104,00
11	1	FILTRO REGULADOR CON VÁLVULA	83,00	83,00
12	4	REGULADOR DE CAUDAL	7,00	28,00
13	9	RACORES RECTOS	5,00	45,00
14	1	FUENTE 24 Vdc 5A	195,00	195,00
15	2	CONECTOR RJ-45	2,00	4,00
16	1	RIEL DIN	5,00	5,00
17	2	MANGUERA NEUMÁTICA	2,00	4,00
18	3	RAMPAS DE CLASIFICACIÓN	5,00	5,00
BANDA				
19	1	MOTOR DE ENGRANES	150,00	150,00
20	1	BANDA	5,00	5,00
21	7	RODILLOS DE NYLON	7,00	49,00
22	1	RELÉ 24 V dc	25,00	25,00
23	1	PERFIL RANURADO DE 25 cm	50,00	50,00
24	4	SOPORTE DE RODILLOS	5,00	20,00
25	2	SOPORTE DE MOTOR	5,00	10,00
26	4	SOPORTE DE BANDA	5,00	20,00

CONTINÚA



MESA MÓVIL				
27	1	MESA MÓVIL	300,00	300,00
28	1	CAJA PULSADORES/SELECTOR	25,00	25,00
29	1	LUZ PILOTO ROJA 24Vdc	4,50	4,50
30	1	LUZ PILOTO VERDE 24Vdc	4,50	4,50
31	2	PULSADOR ROJO 24Vdc	5,00	10,00
32	1	PULSADOR VERDE 24Vdc	5,00	5,00
33	1	SELECTOR	8,00	8,00
OTROS GASTOS				
34	1	MOVILIZACIÓN	40,00	40,00
35	1	IMPRESIONES	30,00	30,00
36	1	GASTOS VARIOS	80,00	80,00
			3024,50	

La tabla 5.2 nos indica los gastos realizados por la construcción del módulo de clasificación desde su diseño hasta su implementación final. El gasto asciende a un total de **3024,50** dólares americanos, cabe admitir que es muy factible implementar este tipo de módulo de clasificación debido a que el costo es menor, comparando a la adquisición de módulos ya fabricados que pueden llegar a costar entre 10000 y 30000 USD.

5.4. Manual de operación del sistema didáctico de clasificación de piezas

El manual de operación para el módulo de clasificación de piezas didácticas se presenta en el Anexo F.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones.

- El diseño y construcción del sistema de clasificación didáctico de piezas para supervisar un proceso industrial en una banda transportadora está orientado a fortalecer las competencias de los estudiantes, en el área del conocimiento de automática y robótica
- Se diseñó y construyó una banda transportadora la cual opera a una velocidad de 0,134 m/s y a una potencia de 50 W.
- Se utilizaron los equipos adecuados, para facilitar el diseño mecánico del sistema, siempre velando por que sea modular, para poder realizar experimentos de manera flexible, explorando diversas formas de lograr el mismo resultado, llegando a una experiencia cercana a la industria.
- Los elementos del sistema mecánico fueron diseñados mediante los métodos analítico y tecnológico en el cual interviene el software SolidWorks 2013, con los cuales se estableció fundamentalmente parámetros como son: dimensión, movimiento, esfuerzo máximo, deflexión máxima y mínimo factor de seguridad, este último fue el de mayor importancia ya que aseguró una probabilidad mínima de falla y garantizar su fiabilidad.
- Se desarrolló el conocimiento del software TIA PORTAL que nos permite programar el PLC S7-1200 consiguiendo el control y la automatización de sensores y actuadores.

- El diseño del algoritmo de control de las pantallas HMI y la configuración de la red Ethernet se las realizo en la herramienta informática TIA PORTAL, que integra un sistema total de automatización.
- Se implementó la interfaz gráfica con una pantalla de visualización touch KTP400 con la finalidad de centralizar el sistema de control de los módulos, visualizar las variables de entradas y salidas en tiempo real y selecciona el funcionamiento individual de cada proceso que integra el Sistema de Producción Modular (MPS) diseñado.
- Se diseñó un manual para la operación y mantenimiento del módulo didáctico, así como guías prácticas de laboratorio que permitirá evidenciar el desarrollo del proceso de enseñanza, aprendizaje de los estudiantes.

6.2.Recomendaciones

- Emplear herramientas informáticas basadas en CBL, con la finalidad de optimizar el diseño y garantizar su construcción y operabilidad, de acuerdo a las exigencias del usuario-cliente.
- Revisar e interpretar el manual de usuario y mantenimiento, así como los diagramas eléctrico y neumático, antes de poner en funcionamiento del módulo didáctico de clasificación.
- Para la comunicación de la Red Ethernet se recomienda utilizar un switch Ethernet y un cable RJ-45 la cual permite la comunicación con otros sistemas modulares
- Al configurar la Red Ethernet industrial, se recomienda, cargar nuevamente la programación de los PLCS y HMI, información digital entregada al encargado del Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica.

- Como futuros proyectos de investigación, se recomienda diseñar y construir un módulo de clasificación didáctico para control de calidad, empleando tecnologías de vanguardia como es la visión artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Atlantic International University. (2015, Abril) Automatización y Control. [Online]. <https://cursos.aiu.edu/>
- [2] S Scharf and Marcus Pany. (2005, Septiembre) FESTO DIDACTIC. [Online]. www.festo-didactic.com
- [3] Hitech Ingenium. (2013, Mayo) Sistema Mecatrónico Modular Compacto. [Online]. www.hitech.com
- [4] Antonio Miravete, Los transportes en la ingeniería industrial. Barcelona: Reverte, 1998.
- [5] Las bandas transportadoras y su uso en la industria. (2012, Nov.) QuimiNet. [Online]. <http://www.quiminet.com/articulos/las-bandas-transportadoras-y-su-uso-en-la-industria-3346215.htm>
- [6] Instituto Tecnológico GeoMinero de España,.: IGME, 1995, p. 293.
- [7] Gonzalo Zavala,.: USERSHOP, 2005.
- [8] José Andrés Somolinos Sánchez,., España: Univ de Castilla La Mancha, 2002, p. 85.
- [9] Luis Eduardo Guadalupe,., Guadalajara: FESTO PNEUMATICS, 2010, pp. 18,22.
- [10] Francisco Rodríguez Díaz and Manuel Berenguel Soria,., Almería: El Ejido, 2004, pp. 103-105.
- [11] Antonio Guillén Salvador,., España: Marcombo, 1988, pp. 32-34.
- [12] Antonio Creus Solé, Neumatica e Hidráulica. Barcelona: Marcombo, 2012.
- [13] AIRTAC, Pheumatic Equipment. Lima: Eléctricos Generales Import, 2013. [Online]. www.airtac.com
- [14] Tomás Gónzales, Gonzalo del Río, José Tena, and Benjamín Torres, "Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección," in Elementos de neumática e hidráulica. Barcelona: Editex, 2011, p. 112.
- [15] Manuel Álvarez Pulido, Controladores Logicos. Barcelona: Marcombo, 2004.
- [16] Irene Guayasamin, Diseño y construccion de un tablero modular de formacion profesional en la tecnologia de automatizacion. Quito, 2007.
- [17] ShneiderElectric, Interfaz Hombre Maquina. Colombia, 2014.

- [18] Leonardo Manuel Asqui and Iván Moisés Lema, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN ETHERNET DIDÁCTICA CON PLC'S PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE PROCESOS MODULARES. Riobamba, 2013.
- [19] Juan Marin, Apuntes de diseño de máquinas. Barcelona: Club Universitario, 2008.
- [20] Habasit. (2015, Mayo) Bandas Transportadoras. [Online]. <http://www.comercioindustrial.net/productos.php?id=hmaqu&mt=bandas>
- [21] Modular Aluminum System, Sistemas estructurales de aluminio ranurado. Ecuador, 2011.
- [22] BOSCH, Motores Eléctricos. Brasil, 2010.
- [23] Camsco Electric Co., Elementos Eléctricos. Perú, 2012.
- [24] Robert Lasseter and Paolo Piagi, Extended Microred Using (DER) Distributed Energy Resources. Power Engineering Society General Meeting., IEEE2428 June 2007.
- [25] Bryan Keythman. (2012, Mar.) ehowenespanol. [Online]. http://www.ehowenespanol.com/calcular-actual-neto-van-como_172145/
- [26] Banco Internacional. (2014, July) [Online]. <http://www.bancointernacional.com.ec/bcointernacional/Tarifarios/TarifarioGeneral.pdf>
- [27] J Fernandez and A Casals, "Open laboratory for robotics education. In Robotics and automation," ICRA 0.4 2004 IEEE International Conference On, vol. 2, pp. 1837-1842, 2004.
- [28] Carlos Chilo and Rosa Gonzales. Universidad Autonoma San Francisco. [Online]. www.uasf.edu.pe
- [29] Solo Mantenimiento. Solo Mantenimiento. [Online]. www.solomantenimiento.com
- [30] Iván Mauricio Lema Yumi and Silvia Alexandra Tierra Satán, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE EVALUACIÓN DE PROFUNDIDAD PARA PIEZAS CILÍNDRICAS POR MEDIO DE UN PLC," in TESIS DE GRADO INGENIERÍA. Riobamba, 2013, pp. 46-47.
- [31] Luis Guadalupe, "TSU Electrónica y Automatización, UTJ ," in Informe técnico final del Proyecto: Integración de celda didáctica de manufactura. Guadalajara: FESTO PNEUMATICS. Área: DIDACTIC. Guadalajara , 2010, pp. 22-23.
- [32] Victor Bernal. Automatica. Componentes de la neumática. [Online]. <http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/NEUM%C3%81TICA%20GUIA%206.pdf>
- [33] Actuadores. [Online]. <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>

[34] Santiago Ibarra. El prisma. [Online].
http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/sistemasdeproduccionfundamentos/default2.asp

[35] Siemens, Simatic S7 Controlador programable S7-1200., 2014.

ANEXOS