



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN MEDIANTE UN SERVOMOTOR PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

LILIA MARÍA VEGA ROMERO

Latacunga, Diciembre del 2013

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Lilia María Vega Romero.

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN MEDIANTE UN SERVOMOTOR PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATAACUNGA”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, 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, diciembre 05 del 2013.

Lilia María Vega Romero

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.**

CERTIFICADO

Ing. Mario Jiménez

Ing. Diego Ortiz.

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN MEDIANTE UN SERVOMOTOR PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA” realizado por LILIA MARÍA VEGA ROMERO, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido al contenido científico basado en técnicas de control modernas recomiendan su publicación. El mencionado trabajo consta de dos documentos empastados y dos discos compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a LILIA MARÍA VEGA ROMERO que lo entregue al Ing. WILSON SÁNCHEZ, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, diciembre 05 del 2013.

Ing. Mario Jiménez
DIRECTOR

Ing. Diego Ortiz.
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS
ESPE**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.

AUTORIZACIÓN

Yo, LILIA MARÍA VEGA ROMERO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN MEDIANTE UN SERVOMOTOR PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, diciembre 05 del 2013.

Lilia María Vega Romero

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a dios por todas las bendiciones recibidas en mi vida estudiantil ya que sin ellas ningún triunfo o éxito en la vida sería posible.

A mis padres Cesar y Lilia, que se han esforzado tanto por brindarme la posibilidad de recibir una educación integral y guiarme en mi vida confiando a cada momento en mí, se constituyen en el pilar fundamental para alcanzar esta meta.

A mis hermanas Elva, Nelly, Carmen y Anita por él apoyo incondicional que me sirvió como motivación para alcanzar mis objetivos.

En especial se la dedico a un amigo que hoy forma parte de los angelitos en el cielo, estoy segura que esto era uno de sus más anhelados sueños que no pudo cumplir a ti Xavier Molina, conocido como PANITA.

LILIA VEGA.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y permitirme estar aquí realizando uno de mis sueños.

A mi novio Ricardo por su constante apoyo.

Al personal docente de la carrera de Ingeniería Electromecánica por los conocimientos y enseñanzas impartido a lo largo de nuestra formación académica, en especial al Ing. Wilson Sánchez, y al Ing. Washito, así mismo el más sincero agradecimiento a mi director y codirector de tesis Ing. Mario Jiménez e Ing. Diego Ortiz, por el asesoramiento y la colaboración técnica como en el aporte logístico para la realización de este proyecto

A mis compañeros y amigos con los cuales se ha compartido muchas experiencias académicas como de vida, a los cuales se les desea que culminen sus anhelos y alcancen el éxito en el futuro.

LILIA VEGA.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	I
CERTIFICADO	II
AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
OBJETIVO GENERAL.....	XIX
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XIX
RESUMEN.....	XX
SUMMARY.....	XXI

CAPÍTULO I
GENERALIDADES.

1.1 Antecedentes.	1
1.2 Fundamentos teóricos.	2
1.2.1 Servomotor de imán permanente.	2
1.2.2 Motor paso a paso (pap).	3
1.3 Servomotor brushless ac.	5
1.3.1 Principio de funcionamiento.	6
1.3.2 Propiedades del servomotor brushless ac.	6
1.4 Control de velocidad.	7
1.5 Control de posición.	8
1.6 La unidad servo drive.	8
1.6.1 Función.	9
1.7 Sensores de posición y velocidad.	10
1.7.1 Encoder.	10
1.8 Captadores angulares de posición (sincro-resolvers).	16
1.9 Controlador lógico programable.	17
1.9.1 Tipos de plc.	18
1.9.2 Tipos de comunicación.	19
1.9.3 Ventajas e inconvenientes del plc.	20
1.10 Interfaz hombre maquina.	21

1.10.1 Funciones de un software hmi.	21
1.10.2 Tareas de un software de supervisión y control.	22
1.11 Los servo accionamientos.....	23
1.11.1 Elementos de un servo-accionamiento.	23
1.11.2 Control de posicionamiento y velocidad con servo-accionamiento síncrono.	24
1.12 Sistemas de transmisión de potencia mecánica.....	24
1.12.1 Reductores de velocidad.....	25
1.12.2 Engranajes cónicos.....	25

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS DEL SISTEMA.

2.1 Parámetros de diseño	26
2.2 Diseño de los elementos mecánicos de la banda transportadora y el disco posicionador.	27
2.2.1 Elementos de la banda transportadora.	27
2.2.2 Diseño del sistema del disco giratorio.	35
2.3 Modelamiento y selección de materiales del sistema utilizando software.....	39
2.3.1 Análisis de esfuerzos de la banda transportadora:.....	41
2.3.2 Análisis de esfuerzos del disco giratorio.	50
2.3.3 Estructura principal de soporte del la banda transportadora y del disco giratorio.	62

2.4 Selección de los elementos del sistema eléctrico.....	64
2.4.1 Selección del plc.....	65
2.4.2 Selección del elemento de protección.....	68
2.4.3 Selección de selectores y pulsadores.....	69
2.4.4 Conductor del circuito de control.....	71
2.4.5 Pantalla táctil (hmi).....	72
2.5 Diseño del algoritmo de programación.....	74

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE MECÁNICO Y ELÉCTRICO DEL SISTEMA.

3.1 Construcción del sistema de la banda transportadora.....	78
3.1.1 Rodillo motriz.....	78
3.1.2 Rodillo tensor.....	79
3.1.3 Rodillos intermedios.....	80
3.1.4 Soporte rodamiento tensor.....	81
3.1.5 Estructura soporte del transportador.....	82
3.1.6 Guía soporte rodamiento.....	83
3.2 Construcción del sistema del disco giratorio.....	84
3.2 Engrane cónico.....	84
3.2.2 Piñón cónico.....	86
3.2.3 Eje giratorio.....	87

3.2.4 Eje piñón cónico.....	88
3.2.5 Disco giratorio.....	89
3.2.6 Soporte del disco giratorio.	90
3.2.7 Estructura de soporte principal.....	91
3.3 Componentes seleccionados.	92
3.4 Montaje de los componentes mecánicos del sistema.	92
3.4.1 Montaje del disco giratorio.	93
3.4.2 Montaje de la banda transportadora.....	94
3.4.3 Montaje del sistema totalmente terminado.....	95
3.5 Diseño y montaje del sistema eléctrico.....	95
3.5.1 Diseño del sistema de potencia y control.	96
3.5.2 Montaje del sistema eléctrico.	98
3.5.3 Calibración de los sensores.	99

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.

4.1 Descripción del software thinget xc series program tool.	100
4.1.1 Pantalla principal.....	101
4.2 Descripción del software toucwin edit tool.	106
4.3 Programación del servo driver.....	110
4.3.1 Establecimiento de parámetros y visualización de variables.	111

4.4 Diseño del software del hmi y del plc.....	112
4.4.1 Diseño de programación en el software del plc xc series program tool).	112
4.4.2 Diseño de configuración en el software del hmi.	117
4.5.2 Operación del touch panel para la programación de la banda transportadora.	129
4.6 Pruebas del sistema.	131
4.6.1 Pruebas eléctricas.	131
4.6.2 Pruebas mecánicas.	132
4.7 Análisis de costos.....	134
4.8 Manual de operación del sistema de control de velocidad y posición.....	137

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.	138
Recomendaciones	140
Glosario de términos.....	142
Referencias bibliográficas	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Motor de imán permanente	3
Figura 1. 2: Elementos constitutivos de un motor PaP	3
Figura 1. 3: Motor PaP bipolar.	4
Figura 1. 4: Motor PaP unipolar.	4
Figura 1. 5: Constitución de un servomotor brushless AC.....	5
Figura 1. 6: Esquema control de posición.	8
Figura 1. 7: Elementos básicos de un encoder incremental.	11
Figura 1. 8: Representación gráfica de las señales incrementales.....	12
Figura 1. 9: Encoder absoluto.	143
Figura 1.10: Señales incrementales A, B y Z con fases de conmutación.....	143
Figura 1. 11: Partes del encoder absoluto.....	144
Figura 1. 12: Funcionamiento de un Resolver.....	174
Figura 1. 13: PLC XINJE.....	188
Figura 1. 14: Diagrama de un HMI.....	211
Figura 1. 15: Elementos servo-accionamiento	233
Figura 2. 1: Dimensiones de la banda.....	31
Figura 2. 2: Distribución de la carga.....	32
Figura 2. 3a: Tensión de Von Mises en el rodillo motriz.	42
Figura 2. 4a: Tensión de Von Mises del rodillo tensor.....	43
Figura 2. 5a: Tensión de Von Mises del rodillo medio.....	45
Figura 2. 6a: Tensión de Von Mises del tensor.	47
Figura 2. 7a: Tensión de Von Mises de la estructura de la banda.	49
Figura 2. 8a: Tensión de Von Mises del engranaje.	51
Figura 2. 9a: Tensión de Von Mises del piñón.	53
Figura 2. 10a: Tensión de Von Mises del eje vertical.	55
Figura 2. 11a: Tensión de Von Mises del eje horizontal.	57
Figura 2. 12a: Tensión de Von Mises del disco posicionador.....	59
Figura 2. 13a: Tensión de Von Mises del soporte del disco giratorio.....	61
Figura 2. 14a: Tensión de Von Mises del soporte principal.	63
Figura 2. 15: Dimensiones del PLC XCM-24T4-C.....	66
Figura 2. 16: Partes del PLC XCM-24T4-C.....	67
Figura 2. 17: Conexiones posibles del PLC.	68
Figura 2. 18: Interruptor termomagnético	69
Figura 2. 19: Selector On-Off.....	69
Figura 2. 20: Interruptor de emergencia.....	70
Figura 2. 21: Luz piloto.	70

Figura 2. 22: Relés.	70
Figura 2. 23: Sensor Infrarrojo SN-E18-D80NK.	72
Figura 2. 24: Canaleta y riel DIN.	72
Figura 2. 25: Diagrama frontal de la pantalla.	73
Figura 2. 26: Diagrama posterior de la pantalla TH-465.	74
Figura 2. 27: Dimensiones de la pantalla TH-465.	74
Figura 2. 28: Diagrama de flujo de la programación del PLC para el disco posicionador.	75
Figura 2. 29: Diagrama de flujo de la programación del PLC para la banda.	76
Figura 2. 30: diagrama de flujo de la programación del HMI.	77
Figura 3. 1: Rodillo motriz.	78
Figura 3. 2: Rodillo tensor.	79
Figura 3. 3: Rodillo intermedio.	80
Figura 3. 4: Soporte rodamiento tensor.	81
Figura 3. 5: Estructura soporte del transportador.	82
Figura 3. 6: Guía soporte rodamiento.	83
Figura 3. 7: Engranaje cónico.	85
Figura 3. 8: Piñón.	86
Figura 3. 9: Eje Giratorio.	87
Figura 3. 10: Eje del piñón cónico.	88
Figura 3. 11: Disco Giratorio	89
Figura 3. 12: Soporte del DISCO giratorio.	90
Figura 3. 13: Soporte Principal.	91
Figura 3. 14: Disco giratorio.	93
Figura 3. 15: Banda transportadora.	94
Figura 3. 16: Sistema de la banda transportadora.	95
Figura 3. 17: Sistema del Disco giratorio.	95
Figura 3. 18: Terminales de conexión del PLC.	96
Figura 3. 19: Diagrama de conexión de la fuente de 24 Vdc y del PLC.	97
Figura 3. 20: Disposición de los elementos del sistema de control.	99
Figura 3. 21: Potenciómetro de calibración del sensor.	99
Figura 4. 1: Entorno de la pantalla principal.	101
Figura 4. 2: Menú archivo.	104
Figura 4. 3: Menú Editar.	104
Figura 4. 4: Menú Configurar	105
Figura 4. 5: Menú Configurar	106
Figura 4. 6: Menú ayuda.	106
Figura 4.7: Interfaz básica del Software TouchWind Edit Tool.	107
Figura 4. 8: Diagrama de la barra de herramientas del Software.	108

Figura 4. 9: Ícono del software del PLC.	112
Figura 4. 10: Ventana principal del software.	113
Figura 4. 11: Software de programación, selección del modelo del PLC..	113
Figura 4. 12: Programación del PLC.	114
Figura 4. 13: Forma de ingresar los comandos	114
Figura 4. 14: Activación de una salida.	116
Figura 4. 15: Líneas de programación.	116
Figura 4. 16: Ícono de ingreso al Hmi	118
Figura 4. 17: Selección del modelo de la pantalla.	118
Figura 4. 18: Selección de la marca del PLC.	118
Figura 4. 19: Datos del proyecto.	119
Figura 4.20: Ventana principal del software TouchWin Edit Tool.	119
Figura 4. 21: Creación de screens.	120
Figura 4. 22: Asignación de variables a los elementos.	120
Figura 4. 23: Asignación de parámetros a un botón Funtion.	121
Figura 4. 24: Pantallas y ventanas del HMI.	121
Figura 4. 25: Propiedades de botón.	122
Figura 4. 26: Configuración de las variables.	123
Figura 4. 27: Aspecto del Botón.	124
Figura 4. 28: Tipos de Botones.	124
Figura 4. 29: Pantalla principal.....	125
Figura 4. 30: Cable USB que se utiliza para cargar el programa.....	125
Figura 4. 31: Configuración del puerto de comunicación.....	126
Figura 4. 32: Pantalla principal.....	126
Figura 4. 33: Pantalla de funciones del disco posicionador.	127
Figura 4. 34: Ventana de alerta de programación del disco	127
Figura 4. 35: Pantalla de programación del disco posicionador.	128
Figura 4. 36: Ventana de alerta de fin de programación del disco.....	128
Figura 4. 37: Pantalla de funciones de la banda.	129
Figura 4. 38: Ventana de alerta de programación.	130
Figura 4. 39: Pantalla de programación de la banda.	130
Figura 4. 40: Ventana de alerta de fin de programación.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Comando por pulsos.	9
Tabla 1. 2: Código de salida de un encoder absoluto.	15
Tabla 2. 1: Dimensiones de los engranes.	36
Tabla 2. 2: Límites de deflexión recomendados.	40
Tabla 2. 3: Entradas y Salidas necesarias del PLC.....	65
Tabla 2. 4: Descripción de las partes constitutivas del PLC XCM-24T4-C .67	
Tabla 3. 1: Elementos adquiridos totalmente terminados.....	92
Tabla 3. 2: Partes constitutivas del DISCO giratorio.	93
Tabla 3. 3: Partes constitutivas de la banda.....	94
Tabla 3. 4: Descripción de los terminales del PLC.	97
Tabla 3. 5: Propiedades de la fuente de 24 V del PLC.....	98
Tabla 3. 6: Componentes del sistema de control.	98
Tabla 4. 1: Íconos de la barra de herramientas del software.	101
Tabla 4. 2: Barra de herramientas del PLC.....	102
Tabla 4. 3: Barra de instrucciones.	103
Tabla 4. 4: Descripción de las barras Software TouchWinEditTool	108
Tabla 4. 5: Diagrama de la barra de herramientas del Software.	108
Tabla 4. 6: Parámetros de ajuste para el lazo del control de velocidad. ...	111
Tabla 4. 7: Parámetros de ajuste para el lazo del control de posición.....	111
Tabla 4. 8: Componentes del PLC XCM-24T4-C.	115
Tabla 4. 9: Parámetros de programación del PLC-panel touch.....	123
Tabla 4. 10: Verificación de voltajes de los elementos.	131
Tabla 4. 11: Parámetros de funcionamiento del sistema.....	132
Tabla 4. 12: Resumen de las pruebas realizadas al disco.	133
Tabla 4. 13: Posiciones programadas en la banda.	134
Tabla 4. 14: Equipo del Laboratorio de Accionamientos ESPE-EL	135
Tabla 4. 15: Equipo proporcionado por el estudiante.	135

ANEXOS

ANEXO A: Condiciones de diseño.

Anexo A1: Características de servomotor.

Anexo A2: Factor de seguridad.

Anexo A3: Factor de servicio del servomotor.

Anexo A4: Selección del reductor de velocidad.

Anexo A5: Dimensiones del reductor.

Anexo A6: Coeficiente de rodadura caucho-acero.

Anexo A7: Selección del perfil.

Anexo A8: Vida útil de los rodamientos.

Anexo A9: Selección de rodamientos (extremos).

Anexo A10: Selección de rodamientos (intermedios).

Anexo A1: Propiedades del acero ASTM A-36.

Anexo A1: Propiedades del acero AISI 1020

ANEXO B: Selección de elementos.

ANEXO B1: Especificaciones generales de PLC.

ANEXO B1: Especificaciones funcionales de PLC.

ANEXO B2: Selección del interruptor termomagnético.

ANEXO B3: Selección del interruptor.

ANEXO B4: Selección del pulsador.

ANEXO B5: Selección de la luz piloto.

ANEXO B6: Selección de relés.

ANEXO B7: Selección del conductor.

ANEXO B8: Características del sensor.

ANEXO B9: Especificaciones del touc panel.

ANEXO C: Planos Mecánicos.

ANEXO C-1a: Cilindro (rodillo motriz y tensor).

ANEXO C-1b: Eje rodillos de los extremos.

ANEXO C-2: Eje para acople con el servomotor.

ANEXO C-3: Rodillos intermedios.

ANEXO C-4a: Soporte tensor de la banda.

ANEXO C-4b: Tornillo tensor de la banda.

ANEXO C-5: Estructura soporte del transportador.

ANEXO C-6: Engranaje cónico de 30 dientes.

ANEXO C-7: Engranaje cónico de 15 dientes.

ANEXO C-8: Eje vertical del disco giratorio.

ANEXO C-9: Eje horizontal del disco giratorio.

ANEXO C-10: Plato giratorio.

ANEXO C-11: Estructura soporte del plato giratorio.

ANEXO C-12: Base principal de soporte.

ANEXO C-13: Guías para tensión de la banda.

ANEXO C-14: Banda.

ANEXO D: Especificación de procedimientos de Soldadura.

ANEXO E: Planos eléctricos.

ANEXO F: Pruebas.

ANEXO G: Manual de operación.

ANEXO H: Programación del PLC.

ANEXO I: Guías de laboratorio.

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de control de velocidad y posición mediante un servomotor para el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los componentes eléctricos y mecánicos, necesarios para la implementación del sistema de control de velocidad y posición.
- Diseñar y construir el sistema de la banda transportadora y el disco posicionador para el control de posición y velocidad.
- Diseñar e implementar el algoritmo de programación para automatizar el sistema de control por medio de un controlador lógico programable (PLC's).
- Desarrollar guías de laboratorio y difundir la utilización adecuada a los estudiantes para que de esta manera el sistema sea aprovechado a lo máximo.

RESUMEN

En la actualidad la industria está abriendo caminos a la modernización y automatización de los procesos de trabajo, con el fin de mejorar sus líneas de producción y así obtener mayor competitividad en el mercado nacional e internacional. Con esta filosofía, el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE” EXTENSIÓN LATACUNGA, busca aportar con conocimientos teóricos y prácticos a la modernización de los procesos de automatización a través de la implementación de un módulo didáctico diseñado para el control de velocidad y posición.

La presente tesis consiste en el “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN MEDIANTE UN SERVOMOTOR PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE” EL.”

El objetivo principal de la presente tesis va enfocado al estudio de los servosistemas, mediante el diseño de un módulo didáctico que permite el control de velocidad y posición en forma lineal y angular, mediante una banda transportadora y un disco posicionador, una de las principales cualidades del sistema es la facilidad de ubicación sin restricción alguna, la cual es ejecutada por un servomotor controlado por un Servo Driver, al recibir cierta cantidad de pulsos desde el PLC, su operación se la realiza mediante el Touch panel, en el cual se puede ingresar las posiciones y seleccionar la velocidad de funcionamiento.

Así, se obtiene un módulo didáctico el cual se logra una visión más amplia del aporte de la Ingeniería en Electromecánica, logrando beneficios que pueden ser alcanzados a nivel industrial de manera más óptima.

SUMMARY

Nowadays the industry is opening scopes to the modernization and automation of work processes in order to improve their production lines and get more competitiveness in the national and international market. With this philosophy, Electric Drives Laboratory of the Armed Forces University "ESPE" in Latacunga, aims to provide theoretical and practical knowledge to the modernization of automation processes through the implementation of a training module designed to control speed and position.

The present thesis is the "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CONTROL, SPEED AND POSITION SYSTEM BY A SERVO MOTOR FOR THE ELECTRIC DRIVES LABORATORY AT THE ARMED FORCES UNIVERSITY "ESPE" EL."

The main objective of the present thesis is focused on the study of the servo systems, by designing a training module for controlling speed and angular position and linear manner by a conveyor band and a positioning driver, one of the main attributes system is the ease of location without restriction, which is executed by a system controlled by a Servo Driver, to receive a certain amount of pulses from the PLC, its operation is performed by the Touch panel, in which you can enter the positions and select the operating speed.

Thus, it obtains a training module which getting a wider view of the electromechanical engineering contribution, achieving benefits that can be achieved in an industrially level more optimum.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.

1.1 ANTECEDENTES.

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

El avance de la tecnología y la exigencia laboral ha hecho que cada vez los procesos industriales, tengan un mejor rendimiento por medio de la utilización de servomotores, los cuales brindan gran ayuda en el control y manejo de todas las variables que se puede controlar dentro de un proceso industrial.

La aplicación industrial de dichos motores está desarrollándose significativamente por múltiples razones entre las que podemos mencionar: nuevos y más potentes componentes magnéticos para los motores como los imanes de tierras raras, reducción del costo de los motores y los equipos electrónicos necesarios para el control de los mismos, incorporación en dichos equipos electrónicos de nuevas funciones para un control preciso y confiable del movimiento que permiten utilizarlos eficientemente e incorporar nuevas áreas a su dominio de aplicación. Los Servo Drives se utilizan en diversas industrias como: la de mecanizado, robótica, alimenticia, farmacéutica, entre otras.

La efectividad de estos sistemas y la facilidad de controlar su velocidad y posición, está demostrada por el aumento de la productividad y la calidad en los ciclos de diseño y fabricación de productos. Por lo tanto, las convierte en herramientas indispensables para mejorar la competitividad de las empresas.

Como se ha observado la automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. El control de velocidad y posición permite operar de manera precisa y segura. Los sistemas mecánicos y controles eléctricos son aparatos que han sido configurados para proteger al operador.

En el laboratorio de Accionamientos Eléctricos, existe una máquina síncrona de imanes permanentes (servomotor AC) que permite aplicar el control de velocidad y posición del sistema prototipado, el cual permite aplicar pruebas experimentales. Por lo tanto los estudiantes realizarán posteriormente prácticas en el sistema adquiriendo así conocimientos del control de servomotores, los cuales a futuro se pueden implementar a modo real.

La gran variedad de tecnologías y herramientas que hoy en día permiten el desarrollo de diversas aplicaciones en distintos campos de la sociedad motiva para la realización de este trabajo, con el objetivo de explorar el proceso de desarrollo y las ventajas de un sistema prototipado que se basa en las etapas de diseño, implementación y validación experimental del sistema para el control de posición y velocidad del servomotor Brushless AC.

1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

1.2.1 SERVOMOTOR DE IMÁN PERMANENTE.

Este tipo de motor tiene imanes permanentes para tener una excitación constante en el campo. Tienen las mismas características que un motor de D.C. tipo shunt. La construcción más común de este tipo de motores tiene la forma de polos salientes como se aprecia en la Figura 1.1;

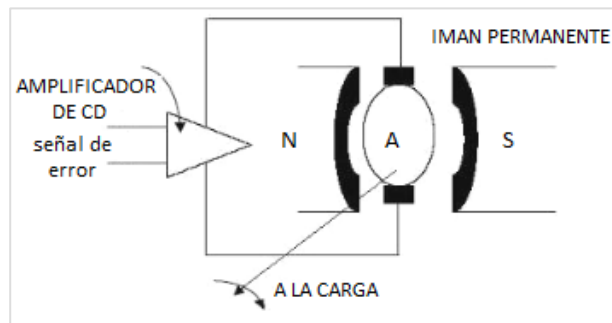


Figura 1. 1: Motor de imán permanente

Fuente: ROLDAN VILORIA JOSE, Motores Eléctricos Accionamiento De Maquinas, Pág. 225.

1.2.2 MOTOR PASO A PASO (PaP).

Los motores PaP, poseen una elevada capacidad de posicionamiento esta característica los hace ideales para sistemas que requieran un control exacto de dirección, velocidad y posición de un movimiento. En la Figura 1.2; se muestran las partes de este motor.

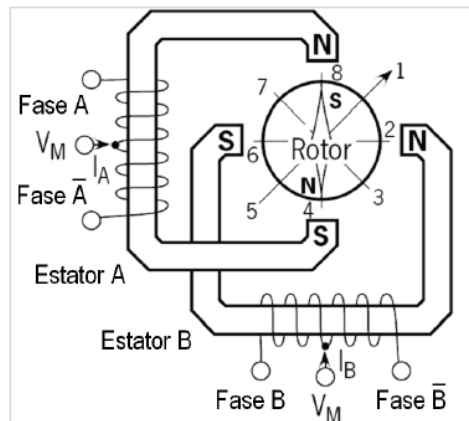


Figura 1. 2: Elementos constitutivos de un motor PaP.

Fuente: CONTI FRANCISCO (motores paso a paso Pág. 8).

Este tipo de motor se utiliza cuando se necesita mover un mecanismo de una manera muy precisa. Se caracteriza por girar un cierto ángulo en función de la excitación específica de sus bobinas; dependiendo del fabricante se pueden encontrar motores de pasos que giran desde 1.8° /paso hasta 90° /paso. Otra característica importante de este motor es la posibilidad de quedar estático en una posición determinada, o al contrario

quedar totalmente suelto. Según la construcción de las bobinas del estator, se puede diferenciar entre motores “bipolares” y motores “unipolares”¹

a. Motor PaP bipolar.

Estos motores tienen generalmente cuatro cables de salida como se puede ver en la Figura 1.3. Necesitan ciertos procedimientos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

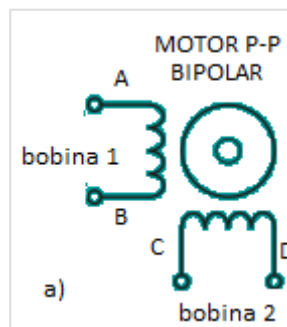


Figura 1. 3: Motor PaP bipolar.

Fuente: CONTI FRANCISCO (motores paso a paso Pág. 10).

b. Motor PaP unipolar.

Estos motores suelen tener 6 cables de salida, aunque también se pueden ver con 5 cables, compartiendo el de alimentación para los 2 pares de bobinas, la corriente que circula por sus bobinas lo hace en un solo sentido, un motor de 6 cables se indica en la Figura 1.4; el control de este tipo de motores suele ser más sencillo en comparación al de los motores bipolares.

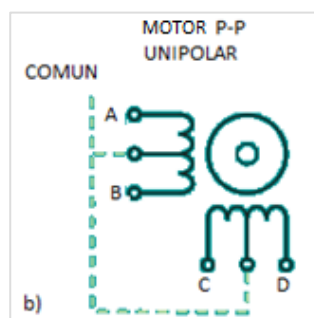


Figura 1. 4: Motor PaP unipolar.

Fuente: CONTI FRANCISCO (motores paso a paso Pág. 10).

¹Alejandro Cuevas García, Introducción a los motores paso a paso. Pág.16

1.3 SERVOMOTOR BRUSHLESS AC.

Un servomotor podría definirse genéricamente como un motor utilizado para obtener una salida precisa y exacta en función del tiempo, dicha salida está expresada habitualmente en términos de posición, velocidad y/o torque.

Esencialmente un motor brushless a imán permanente es una máquina sincrónica con la frecuencia de alimentación, capaz de desarrollar altos torques (hasta tres o cuatro veces su torque nominal) en forma transitoria para oponerse a todo esfuerzo que trate de sacarla de sincronismo. La denominación brushless viene del hecho de que no posee escobillas y es una forma de diferenciarlo de sus predecesores los servomotores a imán permanente alimentados con corriente continua.

Constructivamente el servomotor brushless posee un estator parecido al de un motor de jaula con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido. El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación, como se aprecia en la Figura 1.5. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño y puede clasificarse en cilíndricos o de polos salientes.

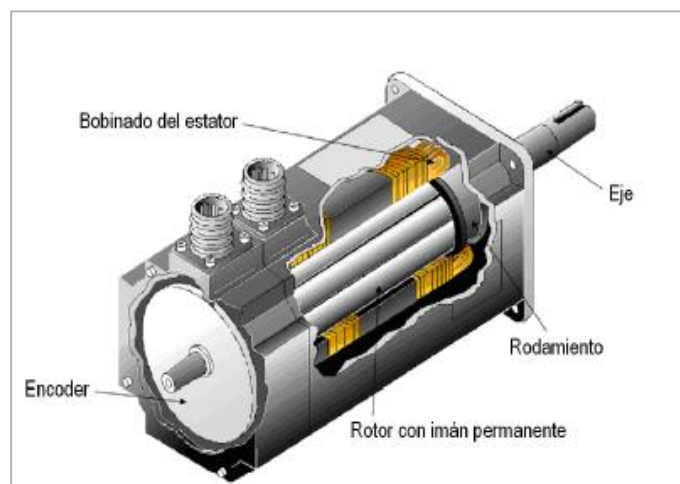


Figura 1. 5: Constitución de un servomotor brushless AC.

Fuente: Wang J Griffo, "Motor Drive Systems CA" VPPC 2009. IEEE.

1.3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Haciendo circular corriente alterna en las fases del bobinado de estator, se produce un campo magnético rotante en el entrehierro del motor. Si en cada instante el campo magnético generado en el estator intersecta con el ángulo correcto al campo magnético producido por los imanes del rotor, se genera torque para lograr el movimiento del motor y la carga acoplada a él.

La utilización de un dispositivo electrónico denominado servo drive para alimentar el estator con la tensión y frecuencia correcta, permite en cada instante, generar un campo magnético estatórico de magnitud y posición correctamente alineada con el campo magnético del rotor, de ésta forma se obtiene el torque necesario para mantener la velocidad y posición deseada del eje del motor.

El proceso implica conocer en todo instante la posición del rotor para lo cual se equipan los servomotores con dispositivos tales como resolvers, encoder u otros, los cuales se explicará posteriormente. Dichos dispositivos de realimentación de posición se diferencian en la robustez, resolución, capacidad de retener la información de posición ante cortes de alimentación y número de conexiones necesarias, entre otras.

1.3.2 PROPIEDADES DEL SERVOMOTOR BRUSHLESS AC.

a) Operación:

- Par constante (imanes permanentes).

b) Características:

- Baja inercia.
- Elevado par de pico.
- Posicionado preciso.

c) Control:

- Par.
- Velocidad.

- Posición.

d) Aplicaciones:

- Accionamientos de avance.
- Posicionado con ciclos rápidos.
- Maquinaria de propósito general.
- Robótica.

e) Inconvenientes:

- Potencia limitada.

1.4 CONTROL DE VELOCIDAD.

La modulación de ancho de pulsos (PWM) es usada en diferentes aplicaciones, siendo la más común el control de servomotores y los sistemas de comunicación. El sistema de control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del servomotor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende.

- En el modo de control de velocidad, el servo driver recibe un comando analógico de velocidad de $\pm 10V$, desde el controlador de nivel superior.
- El amplificador (servo driver) es responsable de asegurar que el motor rote a la velocidad adecuada, para lo cual debe también aplicar la cantidad apropiada de par. (Los lazos de velocidad y par se cierran en el servo driver.)
- Ambos, el controlador y el amplificador (servo driver) usan un nivel medio de sofisticación. Controladores típicos como CNC o Motion control de bajo costo.

1.5 CONTROL DE POSICIÓN.

- En el modo de control de posición, el servo driver recibe un tren de pulsos digital, p.ej. Pulsos/dirección, desde el controlador de nivel superior.
- Para un control preciso de posición del servo motor, el servo driver debe controlar la velocidad y el par del motor. (Los lazos de posición, velocidad y par se cierran en el servo driver).
- El controlador no cierra ningún lazo, pero puede monitorizar el proceso.
- El controlador es bajo en sofisticación del movimiento y el servo driver muy complejo. Los controladores típicos son PLC's tarjetas posicionadoras o salida de pulsos. La Figura 1.6; muestra un esquema general del control de posición y velocidad.

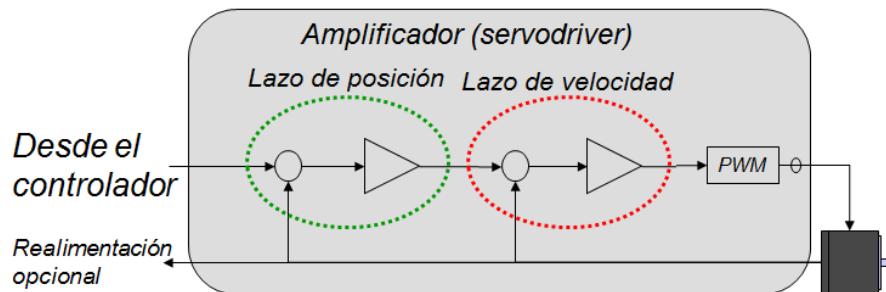


Figura 1. 6: Esquema control de posición.

Fuente: Curso Técnico de servos Omron.ppt Pág. 27.

El servo driver realiza el control tanto de velocidad como posición por medio de un algoritmo de control PID (proporcional-integral-derivativo), con algunos filtros adicionales, el cuál debe ser sintonizado para el tipo de aplicación particular, con el fin, de mantener en todo momento el error de posición lo más cercano a cero posible.

1.6 LA UNIDAD SERVO DRIVE.

El A.C. Servo drive está diseñado para el control de un único motor síncrono AC Brushless. El equipo se asemeja a un variador de frecuencia ya que presenta la posibilidad de ajustar sus parámetros en función de la

aplicación, esto hace que el equipo más el servo motor se vuelva flexible ya que pueden ser útiles para cualquier aplicación dependiendo de la manipulación de parámetros.

Una unidad de servo es un tipo especial de amplificador electrónico, utilizado para suministrar energía eléctrica a un servomotor conectado al mismo. Este dispositivo efectúa un seguimiento de las señales de retorno del motor y ajusta continuamente para corregir las eventuales desviaciones respecto del comportamiento esperado.

1.6.1 FUNCIÓN.

La unidad de servo recibe la señal de comando de un sistema de control, amplifica la señal y transmite corriente eléctrica al servo motor, con el fin de producir el movimiento proporcional a la señal de mando. Normalmente, la señal de mando representa una velocidad deseada, pero también puede representar un torque deseado o posición. Las señales que permiten comandar a este servo drive son del tipo tren de pulsos o dirección más pulsos, como se indica en la Tabla 1.1; estas señales son generadas por un computador, un controlador numérico, un PLC, o cualquier dispositivo de control al que se lo debe programar para obtener una cantidad de pulsos requerida a una determinada frecuencia.

Tabla 1. 1: Comando por pulsos.

Formas de Comando por pulsos	Antihorario	Horario	Valores para configuración de parámetro
Símbolo / Tren de pulsos			0 Comando por pulsos + Símbolo
Tren de pulsos antihorario Tren de pulsos horario			1 Pulsos Antihorario / Pulsos Horario

Fuente: Gsk DA98B AC Servo Drive Unit (User Manual) Pág.20.

En un sistema bien configurado, el servo motor gira a una velocidad, muy próxima a la señal de velocidad recibida desde la unidad de servo y del sistema de control. Varios parámetros, como la rigidez (conocido como ganancia proporcional), la amortiguación (conocido como ganancia derivada), y la ganancia de retroalimentación, se pueden ajustar para lograr este rendimiento deseado. El proceso de ajuste de estos parámetros se llama Tuning o Puesta a Punto.

1.7 SENSORES DE POSICIÓN Y VELOCIDAD.

1.7.1 ENCODER.

Un encoder es un sensor que genera señales digitales en respuesta al movimiento, unido a un eje proporciona información de la posición angular. Su fin, es actuar como un dispositivo de realimentación en sistemas de control integrado, monitoreando la posición o velocidad de un eje de rotación. Están disponibles en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal, con diferentes tipos de salidas, uno de ellos son los encoder incrementales, que generan pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir la velocidad, o la trayectoria de posición. El otro tipo son los encoders absolutos que generan multi-bits digitales, que indican directamente su posición actual. ²

Los encoders pueden ser utilizados en una gran variedad de aplicaciones: actúan como transductores de retroalimentación para el control de la velocidad en motores, como sensores para medición, de corte y de posición. También como entrada para velocidad y controles de rango.

a. ENCODER INCREMENTAL O RELATIVO.

Éste tipo de encoder se caracteriza porque determina su posición, contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje,

²Sensores, Acondicionadores y Procesadores de señal, CHARLESS PLATT, Pág. 63

cuya posición se quiere medir, a medida que el eje gira se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese las marcas, llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje. La Figura 1.7; representa las partes de un encoder incremental.³

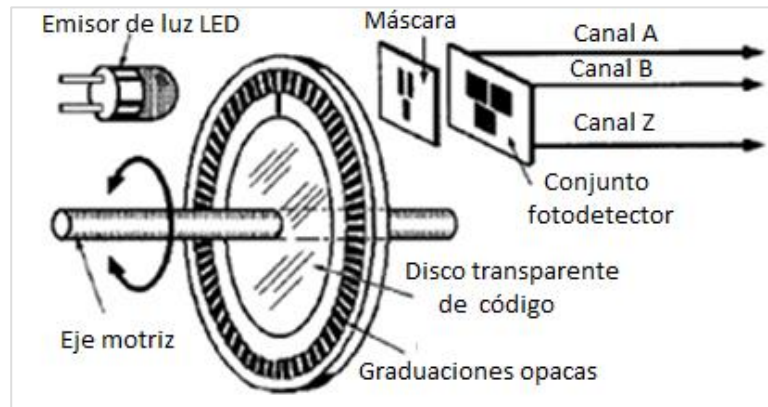


Figura 1. 7: Elementos básicos de un encoder incremental.

Fuente: SILGE ELECTRONICA S.A

El encoder va acoplado al eje del motor en la parte de atrás. En algunas ocasiones se usa un encoder adicional en la carga para posicionamiento muy preciso evitando las holguras en la transmisión entre el servomotor y la carga. Un simple sistema lógico permite determinar desplazamientos a partir de un origen, a base de contar impulsos de un canal y determinar el sentido de giro a partir del desfase entre los dos canales, como se aprecia en la Figura 1.8. Algunos encoder pueden disponer de un canal adicional que genere un pulso por vuelta y la lógica puede dar número de vueltas más fracción de vuelta.

³BOLTON, William. Sistemas de control electrónico en Ing. Mecánica y eléctrica Pág.34

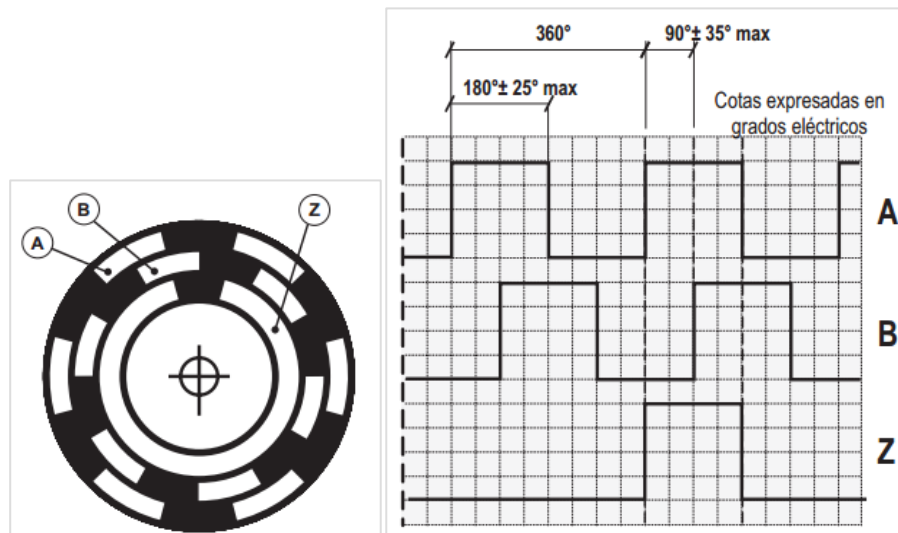


Figura 1. 8: Representación gráfica de las señales incrementales.

Fuente: SILGE ELECTRONICA S.A

La precisión de un encoder incremental depende de factores mecánicos y eléctricos, entre los cuales se tiene, la excentricidad del disco, la de los rodamientos, el error introducido por la electrónica de lectura de tipo óptico, entre otros. La unidad de medida para definir la precisión de un encoder es el grado eléctrico, este determina la división de un impulso generado por el encoder, en efecto, los 360° eléctricos corresponden a la rotación mecánica el eje, necesaria para hacer que se realice un ciclo o impulso completo de la señal de salida.

Existen además de los encoder incrementales tradicionales con las señales A, B y Z, que se ha descrito anteriormente, otros encoder que forman parte de la misma familia, pero que integran otras señales eléctricas disponibles a la salida. Es el caso de los encoder incrementales con señales de conmutación integrada, Figura 1.9; los cuales por lo general se utilizan como retroacción a bordo del motor.

Estas señales suplementarias realizan la función de simulación de las fases de hall que generalmente se encuentran en los motores con conmutación tipo brushless y por lo general se realizan con sensores magnéticos, éstos

impulsos de conmutación se pueden repetir varias veces dentro de un giro mecánico del encoder por que dependen directamente de los polos del motor que está conectado, tendremos por lo tanto fases de conmutación para motores con 4, 6 o más polos,

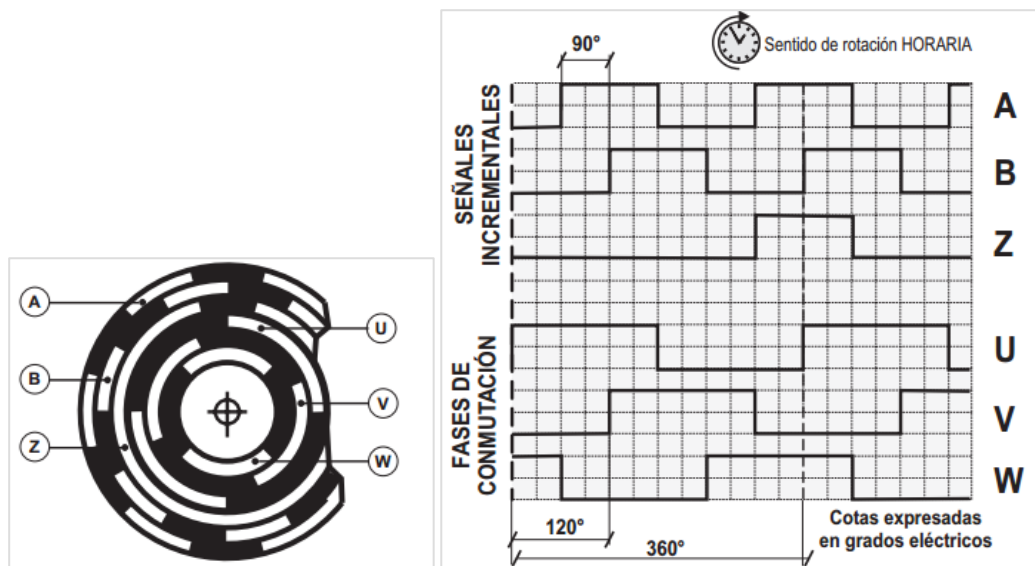


Figura 1.9: Representación gráfica de las señales incrementales A, B y Z con fases de conmutación U, V y W.

Fuente: SILGE ELECTRONICA S.A

b. ENCODER ABSOLUTO.

En la Figura 1.10, se observa el funcionamiento básico de los encoders absolutos, es similar al de los incrementales, se tiene una fuente de luz con lentes de adaptación correspondiente, un disco graduado y foto receptores. El disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas en código Gray.⁴

No es necesario ahora ningún contador o electrónica adicional para detectar el sentido del giro, pues cada posición (sector) es codificado de forma absoluta. Su resolución es fija, y vendrá dada por el número de

⁴BOLTON, William. Sistemas de control electrónico en Ing. Mecánica y eléctrica Pág.35-36

anillos que posea el disco graduado. Resoluciones habituales van desde 28 a 219 bits (desde 256 a 524288 posiciones distintas).

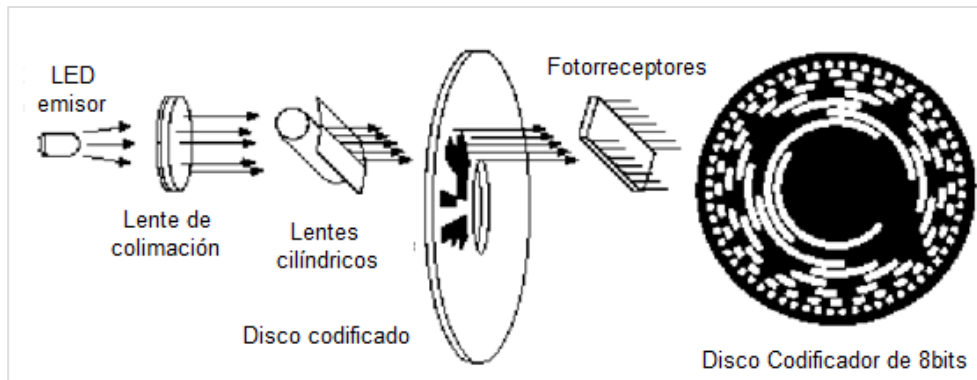


Figura 1. 6: Encoder absoluto.

Fuente: Encoders ópticos (Allen brailer) Pág.8

El estator de los servomotores tiene un fotorreceptor por cada bit representado en el disco. El valor binario obtenido de los fotorreceptores es único para cada posición del rotor y representa su posición absoluta. En la Figura 1.11; se indica la ubicación del encoder en el servo motor y sus partes.

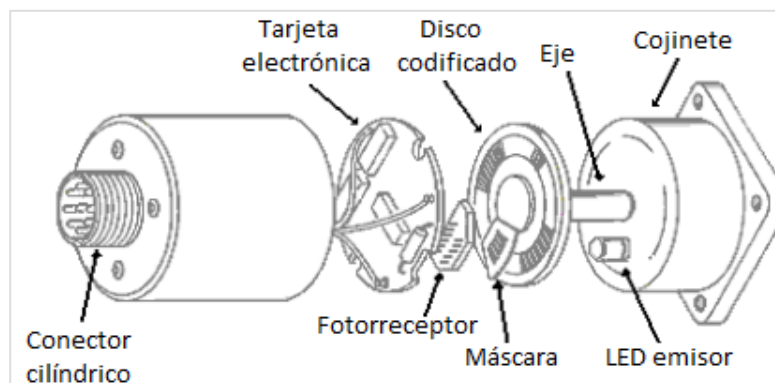


Figura 1. 7: Partes del encoder absoluto.

Fuente: CDTI. Introducción a los Sensores, Cap. 5

La elección más obvia del código de salida para un encoder absoluto es el binario, por que fácilmente puede ser manipulado por los dispositivos de control externos para la lectura de la posición, sin tener que efectuar particulares operaciones de conversión. En vista que el código se toma directamente desde el disco (que se encuentra en rotación) la

sincronización y la captación de la posición en el momento de la variación entre un código y el otro se vuelve muy problemática.

En efecto, si por ejemplo se toman dos códigos binarios consecutivos como 7 (0111) y el 8 (1000), se nota que todos los bits del código sufren un cambio de estado; una lectura efectuada en el momento de la transición podría resultar completamente errónea porque es imposible pensar que las variaciones sean instantáneas y que se produzcan todas en el mismo momento. Debido a este problema se utiliza una variante del código binario: el código Gray, el cual tiene la particularidad que al pasar entre dos códigos consecutivos (o desde el último código al primero), uno sólo cambia su estado.

Tabla 1. 2. Código de salida de un encoder absoluto.

Código decimal	Rango de rotación en grados	Código binario	Código gray
0	0 - 22.5	0000	0000
1	22.5 - 45	0001	0001
2	45 - 67.5	0010	0011
3	67.5 - 90	0011	0010
4	90 - 112.5	0100	0110
5	112.5 - 135	0101	0111
6	135 - 157.5	0110	0101
7	157.5 - 180	0111	0100
8	180 - 202.5	1000	1100
9	202.5 - 225	1001	1101
10	225 - 247.5	1010	1111
11	247.5 - 270	1011	1110
12	270 - 292.5	1100	1010
13	292.5 - 315	1101	1011
14	315 - 337.5	1110	1001
15	337.5 - 360	1111	1000

Fuente: F. Jesús CembranosNistal, Automatismos Eléctricos, Neumáticos e Hidráulicos.

Generalmente, los encoder incrementales proporcionan mayor resolución con un costo más bajo que los encoder absolutos; además, su electrónica es más simple ya que tienen menos líneas de salida, típicamente un encoder incremental solo tiene cuatro líneas: 2 de cuadratura, una de poder

y una tierra; un encoder absoluto tiene una línea de salida por cada bit, una línea de poder y la tierra.

1.8 CAPTADORES ANGULARES DE POSICIÓN (SINCRO-RESOLVERS).

Otra alternativa en sensores de posición, la representan los resolvers y los sincro-resolvers, también llamados sincros. Se trata de sensores analógicos con resolución teóricamente infinita, un resolver es un transductor rotacional electromagnético que detecta un desplazamiento angular. Los más modernos resolvers son sin escobillas “brushless”.⁵

Se basan en un funcionamiento similar al de un motor, están formados por una parte fija, estator, y una parte móvil, rotor; tanto el estator como el rotor contienen devanados; el estator está formado por tres bobinas separadas entre sí 120° (en el caso de los sincro), o solamente dos y desfasadas 90° (en los resolver), que actúan como secundario. El rotor, en cambio, está formado por una única bobina que actúa como primario, la cual va unida a la parte móvil a medir.

Una señal de excitación de referencia a.c. se aplica al estator (bobinado del primario); en una vuelta es inducido un voltaje en el rotor que más tarde induce un voltaje en dos bobinados seno y coseno, que están localizados en el estator (secundarios), separados 90° . En la Figura 1.12; se aprecia la disposición de las bobinas. En la primera en su estilo antiguo y en la segunda con una tecnología más moderna.

⁵JordyMayne, Sensores – Acondicionadores – Procesadores, Pág. 23

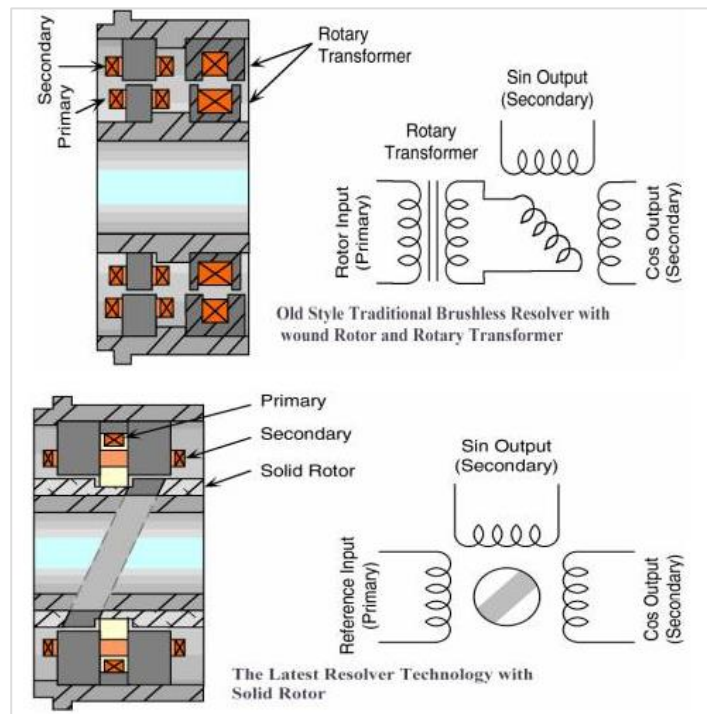


Figura 1. 12: Funcionamiento de un Resolver.

Fuente: Catálogos y folletos técnicos AMCI.

Según la posición del rotor, varía el acoplamiento entre las bobinas del estator y el rotor, variando la FEM inducida en cada bobina del estator; como característica, podemos mencionar la baja carga mecánica; permiten trabajar en ambientes agresivos de temperatura, humedad, choques eléctricos, vibraciones e interferencias; tienen el inconveniente de desgaste de escobillas. Las precisiones son: de 5 a 30 minutos de grado para el sincro y de 1 a 20 minutos para los resolver.

1.9 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Un autómata programable (AP) (Figura 1.13) es un sistema electrónico programable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar unas soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia, temporización, recuento y funciones

aritméticas con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.

En un autómata programable, esta función se realiza por programa, es decir, mediante una serie de instrucciones que dicen a la máquina que contactos debe abrir, cuales debe cerrar, retardos, contadores, etc., y todo el proceso de mando está depositado en la memoria del aparato de automatización y las modificaciones se las realizan sin cambiar el cableado, ahí mismo incluso durante el proceso de trabajo.⁶



Figura 1. 8: PLC XINJE.

Fuente: Catálogo PLC XINJE

1.9.1 TIPOS DE PLC.

Se clasifican en tres grandes grupos según su capacidad de memoria, velocidad de proceso y capacidad de ampliación, estos son:

a. Gama baja.

Mini autómatas compactos y modulares. Autónomas sencillos y de precio asequible, ideal para la formación de una gran cantidad automatismos en pequeñas instalaciones. Su memoria para programas y datos va desde los 2 Kbytes (cada instrucción ocupa 2 bytes) hasta los 20 Kbytes, con velocidades de procesos de algo más de un milisegundo.

b. Gama Media.

Dirigidos a industrias con gran cantidad de aplicaciones y tarjetas de ampliación que van de entradas/salidas digitales y analógicas hasta

⁶ F. Jesús Cembranos Nistal, Automatismos Eléctricos, Neumáticos e Hidráulicos, Pág. 61.

unidades de visión artificial autónomas. La capacidad de memoria oscila entre los 18 Kbytes y los 384 Kbytes. Las velocidades de proceso son inferiores al milisegundo.

c. Autónomas multiprocesadores.

Son autómatas que se utilizan para grandes automatizaciones, que necesitan gestionar gran cantidad de datos y a otros autómatas "esclavo". Sus capacidades de memoria pueden ser superiores a 1 Mbyte.

1.9.2 TIPOS DE COMUNICACIÓN.

Las formas como los PLC intercambian datos con otros dispositivos son muy variadas. Típicamente un PLC puede tener integrado puertos de comunicaciones seriales que pueden cumplir con distintos estándares de acuerdo al fabricante. Estos puertos pueden ser de los siguientes tipos:

- RS-232
- RS-485
- RS-422
- Ethernet

Sobre estos tipos de puertos de hardware las comunicaciones se establecen utilizando algún tipo de protocolo o lenguaje de comunicaciones. En esencia un protocolo de comunicaciones define la manera como los datos son empaquetados para su transmisión y como son codificados. De estos protocolos los más conocidos son:

- Modbus
- Bus-CAN
- Profibus
- Devicenet
- Controlnet
- Ethernet I/P

Muchos fabricantes además ofrecen distintas maneras de comunicar sus PLC's con el mundo exterior mediante esquemas de hardware y software protegidos por patentes y leyes de derecho de autor.

1.9.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL PLC.

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

- **Ventajas del PLC.**

Las condiciones favorables que presenta un PLC son las siguientes:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos.
- 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 maquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

- **Desventajas del PLC.**

Como desventajas se tiene que se requiere de un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. Pero hay otro factor importante, como el costo inicial, que puede o no puede ser un inconveniente, según las características del automatismo en cuestión. Dado que el PLC cubre ventajosamente un amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador, es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su amplitud como sus limitaciones. Por tanto, aunque el costo inicial debe ser tomado en cuenta a la hora de decidirmos por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurarnos una decisión acertada.

1.10 INTERFAZ HOMBRE MAQUINA.

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o Drives (Variadores de velocidad de motores) como se representa en el diagrama de la Figura 1.14; Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

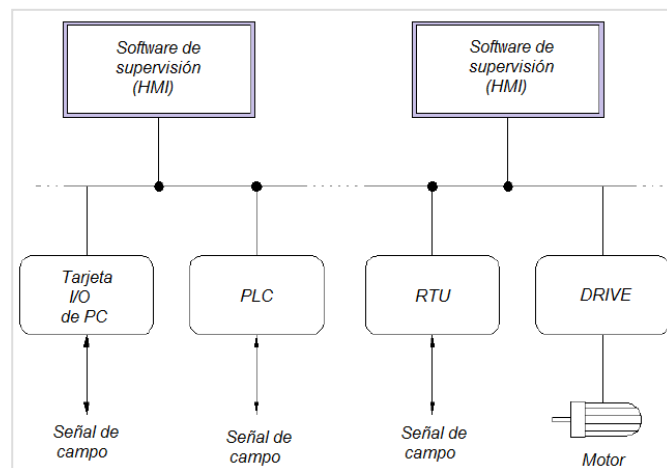


Figura 1. 4: Diagrama de un HMI

Fuente: .ingeniasistemas.es/es/hmi.html

1.10.1 FUNCIONES DE UN SOFTWARE HMI.

a. Monitoreo.

Es la habilidad de obtener y mostrar los datos reales de la planta. 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 preestablecidos.

d. Control.

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

1.10.2 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.

1.11 LOS SERVO ACCIONAMIENTOS.

Son utilizados en las más diferentes aplicaciones en la industria, donde la elevada dinámica, control de par, precisión de velocidad y posicionamiento son factores fundamentales para el aumento de la calidad y productividad

1.11.1 ELEMENTOS DE UN SERVO-ACCIONAMIENTO.

Está conformado básicamente por:

- *Servomotor*: motor utilizado en los accionamientos de avance.

Lleva acoplado algún elemento sensor (encoder, resolver o tacodinamo) para captar la posición del rotor.

Servo Driver: permite el control fino de par, velocidad o posición, mediante la alimentación a través de un convertidor electrónico de potencia, en la Figura 1.15; se observa gráficamente los elementos de un Servo-Accionamiento

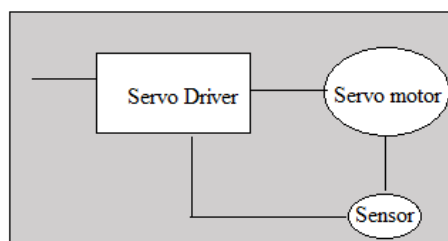


Figura 1. 9: Elementos servo-accionamiento

Fuente: Servo accionamientos ValtekOmron, Curso_Técnico.ppt Pág. 31.

El motor se alimenta a través de un inversor trifásico que opera en modulación y ancho de pulsos (PWM). Así es posible alimentar el motor a tensión y frecuencia variable.

1.11.2 CONTROL DE POSICIONAMIENTO Y VELOCIDAD CON SERVO-ACCIONAMIENTO SÍNCRONO.

Actualmente, al hablar de servo-accionamientos nos referimos generalmente a propulsores de corriente trifásica de alta dinámica. Estos asumen principalmente tareas de posicionamiento y control de velocidad en las máquinas herramienta y en los equipos cuyas tareas se basan en la manipulación, al igual que en los robots.

Pero también aparecen cada vez más en impresoras, instalaciones de transporte y dispositivos de corte, en los que se requiere un posicionamiento o un ángulo de sincronización exactos. En este caso, los servo drive, el motor y los sensores, junto con los elementos de transferencia mecánica, conforman un sistema estrechamente ligado entre sí, al que es necesario observar como si se tratara de una unidad, ya que juntos permiten el funcionamiento correcto del sistema en general, sin provocar errores.

1.12 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA.

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, en la gran mayoría de los casos, estas transmisiones se realizan a través de elementos rotantes, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa mucho menos espacio que aquella por traslación.

Una transmisión mecánica es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las transmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como son los engranajes y las correas de transmisión. Típicamente, la transmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente. Las transmisiones se emplean en una gran

variedad de aplicaciones, algunas de ellas estacionarias. Existen varias categorías de transmisión de potencia mecánica, la transferencia del torque mediante dispositivos mecánicos se logra a través de:

- Poleas y bandas.
- Cadenas.
- Engranajes.
- Reductores de velocidad.

Estos elementos mecánicos, a su vez, suelen ir montados sobre los llamados ejes de transmisión, que son piezas cilíndricas sobre las cuales se colocan los mecanismos de transmisión correspondientes y que serán los encargados de transmitir el movimiento de una parte a otra del sistema.

1.12.1 REDUCTORES DE VELOCIDAD.

Las máquinas que funcionan con un motor, necesitan que la velocidad del motor sea adecuada para funcionar. Los motores tienen diferentes necesidades de velocidad, por esta razón se utilizan los reductores de velocidad.

1.12.2 ENGRANAJES CÓNICOS.

Se denomina engranaje o ruedas dentadas al mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales la mayor se denomina corona y el menor piñón. Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. En el presente proyecto se utilizara los engranajes cónicos, los mismos que permiten transformar el movimiento horizontal en movimiento vertical, es decir permiten que los ejes trabajen a casi siempre a 90^0 , los dientes pueden ser rectos o helicoidales.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS DEL SISTEMA.

2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Como se señaló en el capítulo anterior, con el presente proyecto se pretende optimizar la realización de prácticas en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos, mediante la implementación de un módulo didáctico que permita controlar la velocidad y posicionamiento de forma lineal y angular del sistema.

Partiendo del servo driver que posee el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la ESPE-EL, los sistemas industriales semejantes existentes y las aplicaciones que se pueden llevar a cabo se determina los parámetros principales tanto para el transportador como para el disco posicionador.

- **Servomotor:**

Modelo 80SJT – M024C (Anexo A-1)⁷

Pot: potencia nominal = 0.5 KW (0.67 hp)

*T1 = Torque nominal = 2.4 N * m*

W1 = Velocidad de giro nominal = 2000 rpm = 209.44 rad/s

Peso = 2.8 kg

Diámetro del eje = 19 mm

- **Banda transportadora:**

Velocidad máxima de avance de la banda (Vb) = 100 mm/s

⁷ Catálogo GSK SJT SERIES AC SERVO MOTOR (Pág. 3)

Longitud máxima del espacio disponible = 1.2 m

Ancho máximo del espacio disponible = 0.3 m

- **Factor de seguridad mínimo asumido.**

Para seleccionar el factor de seguridad se tomó en cuenta ciertos criterios como las propiedades del material y la naturaleza de la carga, según lo regido por las organizaciones que establecen estándares como la American Society for Mechanical Engineers (Sociedad Estadounidense para Ingenieros y Mecánicos), la American Gears Manufacturers Association (Asociación Estadounidense de Fabricantes de Engranajes), el Departamento de Defensa de Estados Unidos, la Aluminum Association (Asociación del Aluminio), entre otras y tomando en cuenta que este sistema está sujeto a una incertidumbre en la carga; establecen que el factor de seguridad mínimo a utilizar es $FS = 3$ (Anexo A-2)⁸

2.2 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA Y EL DISCO POSICIONADOR.

2.2.1 ELEMENTOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA.

a. SELECCIÓN DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD.

El reductor de velocidad es el encargado de disminuir el número de revoluciones (2500 rpm) entregadas por el motor. Para un reductor de velocidad con una relación de transmisión de $i = 50:1$, la velocidad de giro a la salida del reductor se calcula con la ecuación 2.1:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

i = relación de velocidad del reductor.

⁸ Diseño de elementos de máquinas Robert Mott, cap. 5 pág. 185.

$\omega_1 = \text{velocidad nominal del motor.}$

$\omega_2 = \text{velocidad a la salida del reductor.}$

$$\omega_2 = \frac{2000 \text{ rpm}}{50} = 40 \text{ rpm}$$

$$\omega_2 = 40 \text{ rpm} = 4.18 \text{ rad/s}$$

El factor de servicio (sf) para el caso crítico de que la banda transportadora opere con choque pesado durante 8 horas diarias, con un promedio de 32 arranques por hora (n), es 1,8 (ANEXO A-3)⁹

El torque a la salida del reductor es (Ecuación 2.2):

$$T_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} * \frac{T_1}{sf} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

$T_1 = \text{torque del motor.}$

$T_2 = \text{torque a la salida del reductor.}$

$sf = \text{factor de servicio.}$

$$T_2 = \frac{2000 \text{ rpm}}{40 \text{ rpm}} * \frac{2.4 \text{ N} * \text{m}}{1.8}$$

$$T_2 = 66.7 \text{ N} * \text{m}$$

Del Anexo A-4 se selecciona el reductor CM063, que permita transmitir una potencia de hasta 0.55 KW, con un factor de servicio mayor al 1.8 requerido, y torques de hasta 68 N*m.¹⁰

⁹ Catálogo de reductores CM/CMP (Pág. D11)

¹⁰ Catálogo de reductores CM/CMP (Pág. E13)

En el Anexo A-5 se muestran las dimensiones del reductor.¹¹

b. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO REQUERIDO EN EL RODILLO MOTRIZ (D₂).

El diámetro del rodillo motriz viene dado por la ecuación 2.3:

$$V_b = \omega_2 * \frac{D_2}{2}$$

$$D_2 = 2 * \frac{V_b}{\omega_2} \quad E.c. 2.3$$

Donde:

V_b = velocidad de avance de la banda.

D₂ = diámetro del rodillo motriz.

$$D_2 = \frac{2 * 100 \text{ mm/s}}{4.18 \text{ rad/s}}$$

$$D_2 = 47.8 \text{ mm}$$

Por lo tanto se selecciona un diámetro estándar, *D₂* = 50 mm.

c. CÁLCULO DEL PESO MÁXIMO DE LA CARGA A TRANSPORTAR (W_T).

Para calcular el peso máximo de la carga a ser transportada se toma en cuenta el rozamiento que existe entre el cilindro (rodillo), y la banda de caucho.

Si un cilindro rígido de peso *W*, rueda a velocidad constante a lo largo de una superficie rígida, la fuerza normal ejercida en el cilindro por la superficie actúa en un punto tangencial de contacto, bajo esas condiciones

¹¹ Catálogo RIDUTTORI A VITE SENZA FINE WORMGEARBOXES (Pág. D14)

si el cilindro no encuentra resistencia friccional con el aire el movimiento continuara indefinidamente.

Pero no existen materiales perfectamente rígidos, por lo cual si el cilindro rueda sobre un material ligeramente suave, comprime la superficie bajo él. La resistencia al rodamiento es causada por este efecto, aunque es también el resultado de la adhesión superficial y el deslizamiento relativo entre las superficies de contacto. Con estas condiciones se calcula la máxima carga que la banda transportadora debe soportar, partiendo de la Ecuación 2.4 (Anexo A-6)¹².

$$F = \frac{f * W_T}{R_2} \quad E. c. 2.4$$

Donde:

F : fuerza que se debe vencer.

f: coeficiente de rodadura caucho – acero = 0,025(valor máximo).

*R*₂: radio del cilindro motriz = radio del cilindro tensor = *D*₂/2 .

*W*_T: peso total máximo de la carga a soportar.

$$W_T = W_1 + W_2 + \dots W_n$$

$$T_2 = F * R_2$$

$$F = \frac{66.7 N * m}{\left(\frac{0.05}{2}\right) m}$$

$$F = 2666.7 N$$

La carga máxima que puede transportar se calcula con la Ecuación 2.5

$$W_T = \frac{F * R_2}{f} \quad E. c. 2.5$$

¹²Mecánica vectorial para ingenieros ESTÁTICA, Russel C. Hibbeler. Cap. 8 Pág. 426.

$$W_T = \frac{2666.7 \text{ N} * \left(\frac{0.05}{2}\right) \text{ m}}{0.025}$$

$$W_T = 2666.7 \text{ N} = 272 \text{ Kg}$$

Debido a que la banda de caucho no soporta este peso, solo se podrá transportar objetos con un peso máximo de 25 Kg, para no afectar el funcionamiento de la misma.

d. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA BANDA.

De acuerdo con los cálculos anteriores y con el espacio disponible, el sistema de banda transportadora tendrá las siguientes dimensiones generales; Figura 2.1.

$$\text{Ancho } A = 200 \text{ mm}$$

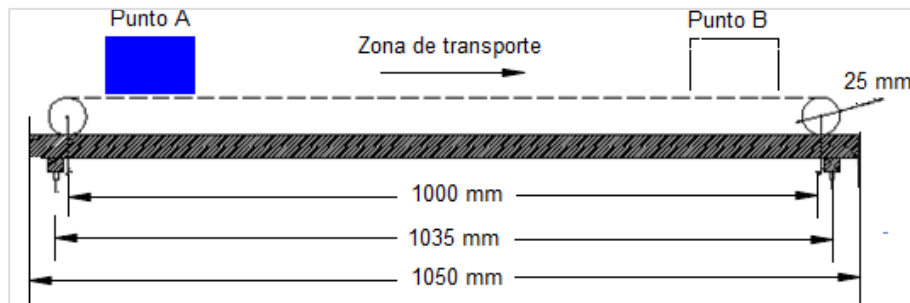


Figura 2. 1: Dimensiones de la banda.

Fuente: Investigador.

e. SELECCIÓN DEL PERFIL PARA LA ESTRUCTURA DE LA BANDA.

Para seleccionar la estructura soporte del transportador, se realiza los siguientes cálculos basados en las cargas que debe soportar, debido a que es un perfil a cada lado la carga total se divide para dos, como se muestra en la Figura 2.2.

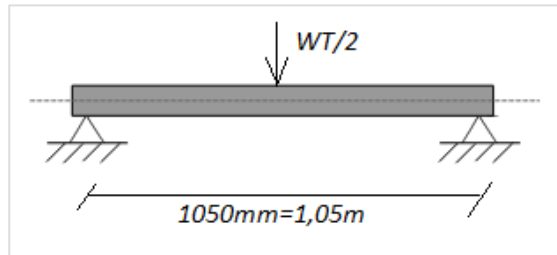


Figura 2. 2: Distribución de la carga.

Fuente: Investigador.

El momento máximo será:¹³

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{F * L}{4} \quad E. c. 2.6$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{\left(\frac{2666.7}{2}\right) N * 1.05 m}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 350.0 N * m$$

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W_{x-x}} \quad E. c. 2.7$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{flex}} \quad E. c. 2.8$$

Donde:

W_{x-x} = módulo de la sección.

S_y = límite de fluencia del acero ASTM A36 = 250 MPa.

Despejando la Ecuación 2.7 y 2.8 se tiene que el módulo de la sección del perfil es:

$$W_{x-x} = \frac{M_{m\acute{a}x} * FS}{S_y}$$

¹³Mecánica de materiales de FIFZGERALD Cáp. 7 (deformación en vigas, Pág. 188)

$$W_{x-x} = \frac{350.0 \text{ N} * \text{m} * 3}{250 * 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$W_{x-x} = 4.2 * 10^{-6} \text{ m}^3 = 4.20 \text{ cm}^3$$

Del catálogo se selecciona el perfil U, cuyo valor de W_{x-x} , es más cercano al calculado (Anexo A - 7)¹⁴; y corresponde al perfil de (60*30*3) mm, con $W_{x-x} = 5.85 \text{ cm}^3$

Para verificar el factor de seguridad asumido, se lo calcula con la Ecuación 2.8:

Calculamos el esfuerzo de flexión Ecuación 2.7:

$$\sigma_{flex} = \frac{350 \text{ N} * \text{m}}{5.85 * 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{flex} = 59.82 * 10^{-6} \text{ Pa} = 59.82 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{250 \text{ MPa}}{59.82 \text{ MPa}}$$

$$FS = 4.1$$

El factor de seguridad calculado esta sobre el límite del valor asumido que es 3, por lo cual el diseño es eficaz.

f. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.

f.1 Rodamientos del rodillo motriz y tensor.

Del Anexo A-8 se toma la vida útil del rodamiento L10 = 20000 horas (para máquinas industriales en general).

Debido a que son dos rodamientos, la carga radial (P_D) (Ecuación 2.9) que soporta el rodamiento es la siguiente:

¹⁴ Catálogo productos DIPAG, (Pág. 7)

$$P_D = \frac{F}{2} \quad E. c. 2.9$$

$$P_D = \frac{2666.7 \text{ N}}{2}$$

$$P_D = 1333.3 \text{ N}$$

Ya que estos rodamientos giran a $\omega_2 = 40 \text{ rpm}$, la vida útil de diseño (L_D) se determina por la Ecuación 2.10;

$$L_D = 20000 \text{ h} * 40 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \quad E. c. 2.10$$

$$L_D = 48 * 10^6 \text{ rev}$$

Por lo tanto la especificación básica de carga dinámica (C) (Ecuación 2.11) es:

$$C = P_D \left(\frac{L_D}{10^6} \right)^{\left(\frac{1}{k} \right)} \quad E. c. 2.11$$

Donde:

$K = 3$; para rodamientos de bolas.

$$C = 1333.3 \text{ N} \left(\frac{48 * 10^6}{10^6} \right)^{\left(\frac{1}{3} \right)}$$

$$C = 4845 \text{ N} = 4.84 \text{ KN}$$

Del catálogo de rodamientos se selecciona el 6000 (Anexo 9); el mismo que tiene una capacidad de carga dinámica de 5,1 KN.¹⁵

¹⁵ Catálogo de rodamientos FAG (Pág. 154)

f.2 Selección de los rodamientos de los rodillos intermedios.

Debido a que la carga siempre será soportado por mínimo dos rodillos intermedios, la carga radial P_D que soporta cada rodamiento se calcula con la ecuación 2.12:

$$P_D = \frac{F}{4} \quad E. c. 2.12$$

$$P_D = \frac{2666.7 \text{ N}}{4}$$

$$P_D = 666.7 \text{ N}$$

La especificación de carga dinámica C , viene dada por la Ecuación 2.13:

$$C = 666.7 \text{ N} \left(\frac{48 * 10^6}{10^6} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \quad E. c. 2.13$$

$$C = 2420 \text{ N} = 2.42 \text{ KN}$$

Del catálogo se selecciona el rodamiento 626 (Anexo A-10); el mismo que tiene una capacidad de carga dinámica de 2.55 KN.¹⁶

2.2.2 DISEÑO DEL SISTEMA DEL DISCO GIRATORIO.

Para reducir la velocidad de giro de 40 rpm (salida del reductor de velocidad); a 20 rpm (requeridos en el disco giratorio), se utilizará un par de engranajes, ya que se requiere convertir el movimiento alrededor del eje horizontal en movimiento alrededor del eje vertical, los engranajes serán del tipo cónico.

A fin de que no exista interferencia entre los dientes de los engranes, se recomienda que el piñón (engranaje pequeño) tenga no menos de 15 dientes. Por lo que es necesario calcular el número de dientes del engranaje (Ecuación 2.14);

¹⁶ Catálogo de rodamientos FAG (Pág. 152)

$$\frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{N_3}{N_2} \quad E. c. 2.14$$

Donde:

$\omega_3 =$ velocidad de giro del plato

$N_2 =$ número de dientes del piñón

$N_3 =$ número de dientes del engrane

$$N_3 = \frac{40 \text{ rpm}}{20 \text{ rpm}} * 15 \text{ dientes.}$$

$$N_3 = 30 \text{ dientes.}$$

Se selecciona un engranaje con $N_3 = 30$ dientes.

En la tabla 2.1 se muestra las dimensiones principales de los engranes:

Tabla 2. 1: Dimensiones de los engranes.

Engranes	Diámetro interior	Diámetro exterior	Altura del diente	Número de dientes
Engrane	10 mm	30 mm	7.5 mm	30
Piñón	9 mm	18 mm	7.5 mm	15

En el anexo C-6, C-7, se puede encontrar más detalles acerca de las dimensiones de los engranes.

a. Torque disponible en el disco giratorio.

El torque disponible en el disco giratorio viene dado por la Ecuación 2.15:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{\omega_2}{\omega_3} \quad E. c. 2.15$$

Donde:

$T_3 =$ torque del disco giratorio.

$$T_3 = \frac{40}{20} * 66.7 N * m$$

$$T_3 = 133.3 N * m$$

b. Peso máximo de la carga a soportar (W_{TA}).

Debido a las limitaciones el disco giratorio tendrá un diámetro de 300 mm ($r = 150$ mm), por lo que el disco podrá soportar cargas con una excentricidad máxima de 120 mm.

La carga máxima que soporta está dada por la Ecuación 2.16;

$$T_3 = W_{TP} * r \quad E. c. 2.16$$

Donde:

$r =$ radio del disco giratorio.

$W_{TP} =$ carga máxima.

$$W_{TP} = \frac{133.3 N * m}{0.12 m}$$

$$W_{TP} = 1111.1 N = 113 Kg$$

Para saber la carga que tiene que resistir el soporte del disco, se necesita conocer el peso del disco giratorio (Ecuación 2.17), para lo cual se parte del volumen (Ecuación 2.18) y su masa (Ecuación 2.19).

$$W = m * g \quad Ec. 2.17$$

Donde:

$W =$ peso

$m =$ masa

$g =$ gravedad ($\frac{9.8m}{s^2}$)

$$V = \pi * r^2 * h \quad \text{Ec. 2.18}$$

Donde:

$V = \text{volumen}$

$r = \text{radio}$

$h = \text{altura}$

$$m = \delta * V \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

$\delta = \text{densidad del material } \left(\frac{7859Kg}{m^3}\right)$

c. Peso del disco.

Se obtiene primero el Volumen del disco.

$$\begin{aligned} V_p &= \pi * r^2 * h \\ V_p &= \pi * 0.15m^2 * 0.07m \\ V_p &= 0.004m^3 \end{aligned}$$

Se reemplaza el Volumen del disco y se obtiene la Masa del disco.

$$\begin{aligned} m_p &= \delta * V \\ m_p &= \frac{7859Kg}{m^3} * 0.004m^3 \\ m_p &= 7,43Kg \end{aligned}$$

Finalmente se encuentra el Peso del disco.

$$W_p = m * g$$

$$W_p = 7.43Kg * \frac{9.8m}{s^2}$$

$$W_p = 72.8N$$

Ya obtenido el peso del disco para saber la carga a aplicarse sobre el disco posicionador se resta el peso del disco de la carga total a soportar así: (Ecuación 2.20):

$$W_{TC} = W_{TP} - W_p \quad Ec. 2.20$$

Dónde:

W_{TC} = peso total de la carga.

W_p = peso del disco.

$$W_{TC} = 1111.1 N - 72.8N$$

$$W_{TC} = 1038.3 N = 105Kg.$$

2.3 MODELAMIENTO Y SELECCIÓN DE MATERIALES DEL SISTEMA UTILIZANDO SOFTWARE.

Para facilitar el proceso iterativo de corrección y mejora del diseño preliminar se utilizará el software SolidWorks, lo que permite realizar de forma rápida y precisa, el análisis cinético y de esfuerzos de los diferentes elementos a construirse, garantizando un óptimo funcionamiento de cada uno de los elementos del sistema. Se obtendrán tres parámetros como son:

- **La tensión de Von Mises:** Es el esfuerzo máximo que se tiene en un punto del elemento, este se presentara mediante una graduación de colores, identificando con el color rojo la superficie más afectada del mismo.

a. El desplazamiento resultante (deflexión):

Indica la deflexión que sufre el elemento al aplicar una carga, en el análisis de solidWorks se representa mediante una graduación de colores donde el color rojo es la zona más crítica.

Es muy importante realizar el análisis para detectar deflexiones por acción de las cargas aplicadas, ya que la tendencia de las piezas a vibrar depende de esto. La deflexión provocada por la aplicación de las fuerzas reduce la precisión de la medida deseada. Las oscilaciones de una estructura o máquina provocan vibración. La tendencia a vibrar a una cierta frecuencia y la severidad de las vibraciones son funciones de la flexibilidad en las piezas.

Límites de deflexión recomendados: es responsabilidad del diseñador especificar la máxima deflexión permisible de una viga de máquina, chasis o estructura, por lo cual en la Tabla 2.2, se muestran los límites siguientes:

Tabla 2. 2: Límites de deflexión recomendados.

DESCRIPCIÓN	Y MÁX	LONGITUD DE VIGA
Pieza general de máquina	0.0005 a 0.003	plg/plg o mm/mm
Precisión moderada	0.00001 a 0.0005	plg/plg o mm/mm
Alta precisión	0.000001 a 0.00001	plg/plg o mm/mm

Fuente: Resistencia de materiales, Robert Mott Pág. 432

Para calcular la deflexión en los elementos que conforman el sistema se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y_{m\acute{a}x} = l * (0.0005 \text{ a } 0.003) \quad E. c. 2.21$$

Donde:

$Y_{m\acute{a}x}$ = *límite de deflexión.*

l = *longitud de la pieza.*

- **El factor de seguridad:** como se dijo al principio de este capítulo tomamos un factor de seguridad $F_s = 3$, ya que se tiene una incertidumbre en las cargas. Por lo cual en el análisis de solid Works el mínimo valor para que el diseño sea seguro y eficaz será de 3, caso contrario se tendrá que rediseñar. Al igual que la tensión de Von Mises y el desplazamiento este se presenta mediante una escala de colores en la cual se puede identificar el factor de seguridad mínimo y máximo del elemento, siendo la zona más crítica la en la que se aprecia el color rojo.

2.3.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA:

a. RODILLO MOTRIZ.

Una vez asignado la fuerza al cual va a estar sometido y el material en el que se va a construir, se procede a realizar el estudio de los esfuerzos.

a.1 Tensión de von mises.

El rodillo motriz es el elemento que va conectado al moto reductor, y soporta los esfuerzos de la carga que va a ser transportada, los mismos que se distribuyen a lo largo del rodillo como se aprecia en la Figura 2.3a, con una fuerza externa aplicada de 2666.7 N, se tiene una tensión de 110.182 MPa, este parámetro está dentro de lo admitido por el material, ya que el límite de fluencia mínimo del acero ASTM A-36 es de 250 MPa, (Anexo A-11) por lo cual el diseño es seguro para su realización.¹⁷

¹⁷ASTM International. Standard properties

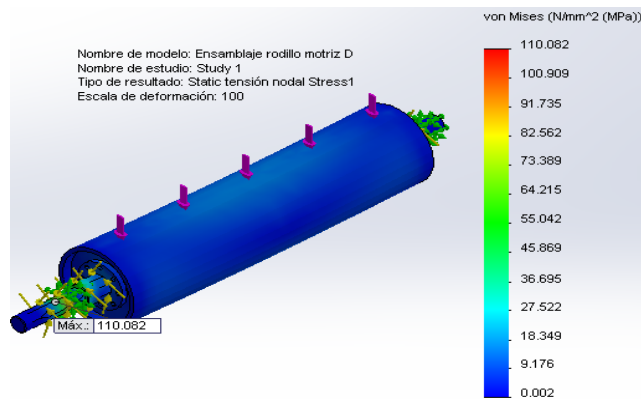


Figura 2.3a: Tensión de Von Mises en el rodillo motriz.

Fuente: Investigador.

a.2 Desplazamiento resultante.

El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.0331 mm, comparando con los resultados que se obtienen aplicando la ecuación 2.21, que da un valor de 0.1115 mm, como no sobrepasa este valor, se puede deducir que no afecta al sistema (Figura 2.3b).

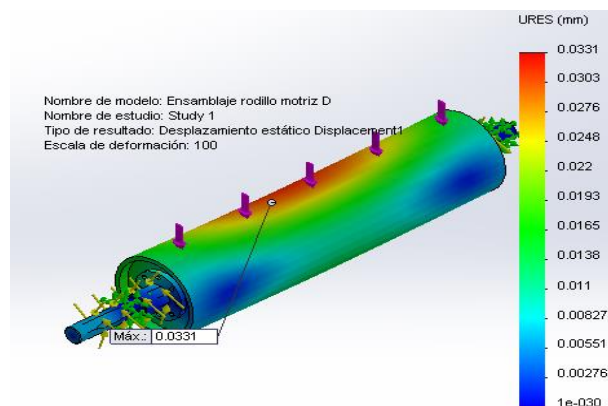


Figura 2.3b: Desplazamiento del rodillo motriz.

Fuente: Investigador.

a.3 Factor de seguridad.

En la Figura 2.3c se observa el factor de seguridad, que es de 3.37, este valor está dentro de los parámetros de diseño estimado. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo C1-a, C1-b y C-2.

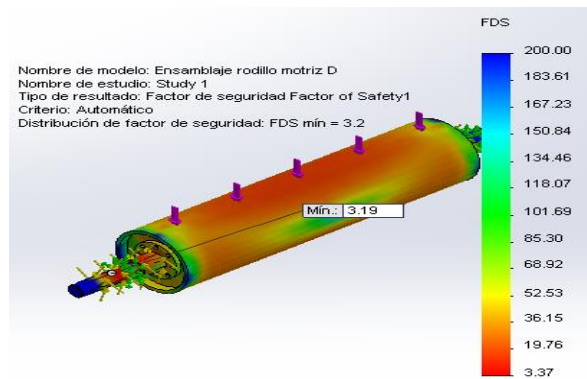


Figura 2.3c: factor de seguridad del rodillo motriz.

Fuente: Investigador.

b. Rodillo tensor.

El rodillo tensor es el encargado de transmitir el movimiento a la banda a través del tensado provocado entre la banda y el mismo. Las cargas se encuentran distribuidas como se observa en la Figura 2.4a. Las dimensiones y planos se pueden ver en el Anexo C1-a. C1-b.

b.1 Tensión de von mises.

En el resultado del estudio se puede visualizar en la Figura 2.4a, que permite ver las tensiones de Von Mises y conocer si el diseño es eficaz y seguro para su construcción, se aplicara la misma fuerza que en el rodillo motriz, con los resultados del análisis se tiene una tensión de 96.054 MPa, los cuales están dentro de los parámetros admitidos, su construcción es segura.

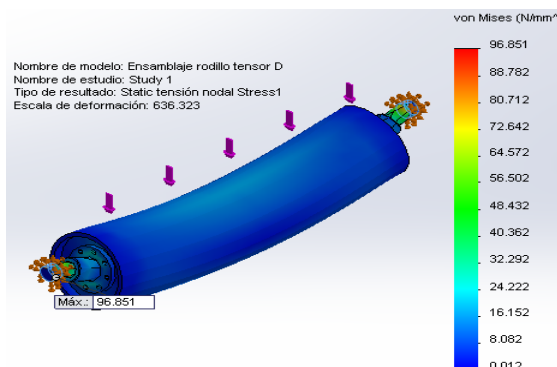


Figura 2. 4a: Tensión de Von Mises del rodillo tensor.

Fuente: Investigador.

b.2 Desplazamiento resultante.

Como se observa en la Figura 2.4b, el desplazamiento resultante obtenido es de 0.0401 mm, este valor es sumamente mínimo comparado con el obtenido al aplicar la ecuación 2.21, que es de 0.1115 mm, por lo cual no afectara al sistema.

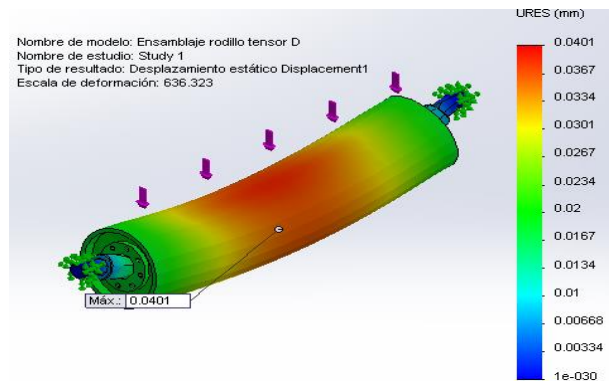


Figura 2.4b: Desplazamiento del rodillo tensor.

Fuente: Investigador.

b.3 Factor de seguridad.

Se aprecia el factor de seguridad en la Figura 2.4c, el valor mínimo es de 3.63 mm, el cual es superior al valor de diseño sugerido anteriormente, el $F_s=3$ está en las zonas de color rojo sobre el elemento indicando las superficies más afectadas.

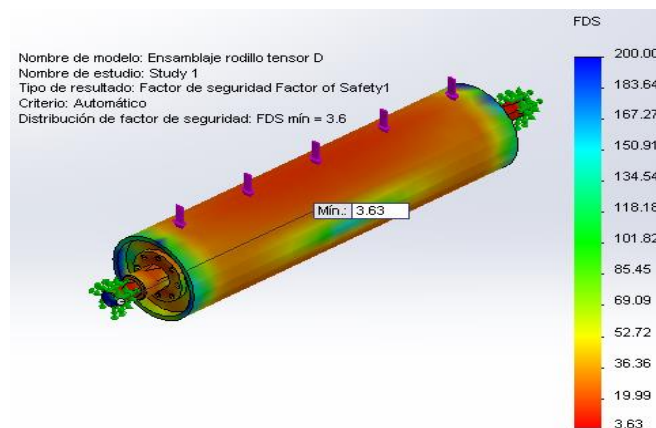


Figura 2.4c: Factor de seguridad del rodillo tensor.

Fuente: Investigador.

c. RODILLOS INTERMEDIOS.

Son los elementos más importantes de la banda transportadora, sostienen la banda y tienen que garantizar el deslizamiento libre y regular bajo carga. Las cargas distribuidas se pueden apreciar en la Figura 2.5a. Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo C-3.

c.1 Tensión de von mises.

La Figura 2.5a, se observa la deformación del rodillo medio al aplicarse una fuerza externa de 1333 N, bajo las condiciones de diseño junto con el respectivo esfuerzo de Von Mises equivalente a 106.8 MPa, este parámetro está dentro de lo admitido por el material, ya que la tracción máxima del acero AISI 1020 es de 380MPa, por lo cual este elemento si cumple con las expectativas.

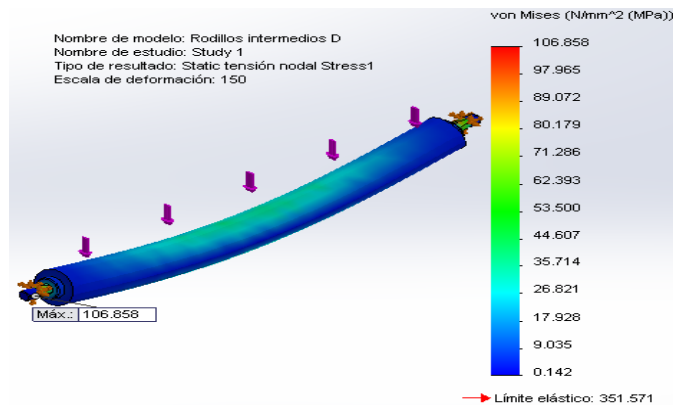


Figura 2. 5a: Tensión de Von Mises del rodillo medio.

Fuente: Investigador.

c.2 Desplazamiento resultante.

Como se observa en la Figura 2.5b, para este caso la deformación es 0.101 mm, el cual es un valor muy bajo comparado con el obtenido al aplicar la ecuación 2.21, el cual es de 0.1115 mm, por lo tanto se puede considerar que el diseño de este elemento cumple las características para un diseño eficaz.

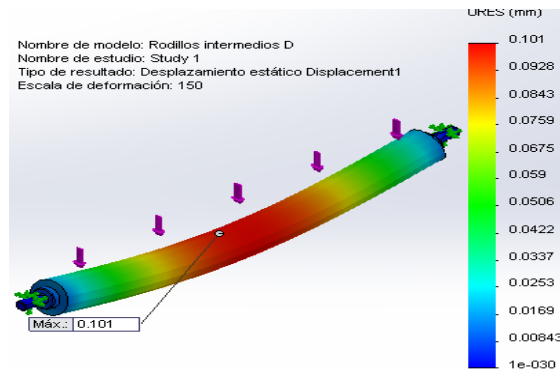


Figura 2.5b: Desplazamiento del rodillo medio.

Fuente: Investigador.

c.3 Factor de seguridad.

En la Figura 2.5c se detalla mediante la escala de colores el factor de seguridad, pudiéndose apreciar que el valor mínimo es de 3.29, se concluye que está dentro del valor estimado para el diseño, con lo cual se confirma que el diseño será seguro.

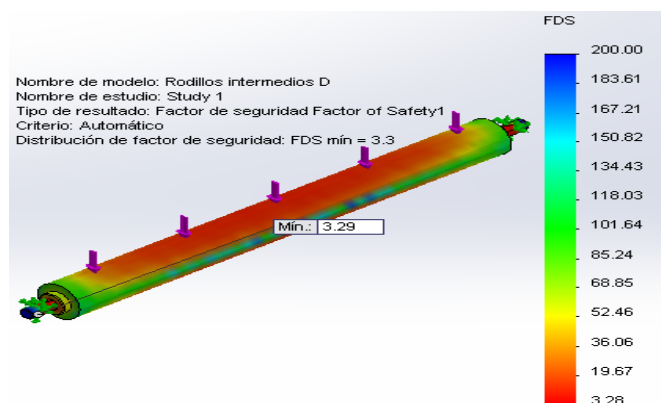


Figura 2.5c: Factor de seguridad del rodillo medio.

Fuente: Investigador.

d. ELEMENTO TENSOR.

La tensión es necesaria para que se adhiera la banda al tambor motriz en este proyecto se lo realiza mediante un dispositivo de tensión, que es del tipo de tornillo. Su plano y dimensiones se aprecian en el Anexo C-4.

d.1 Tensión de von mises.

Mediante la representación de la Figura 2.6a, se muestra la tensión de Von Mises máximo de 106.2 MPa, se puede apreciar que el tornillo sufre una mayor deformación, pero está dentro de los límites estimados.

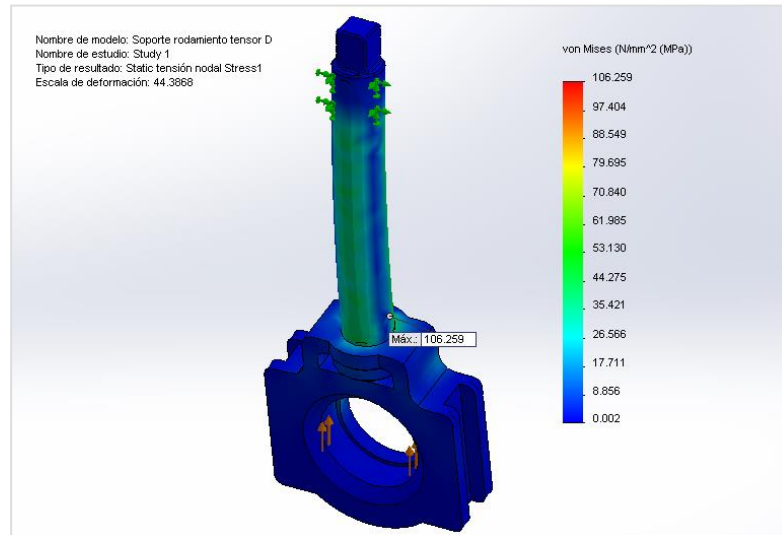


Figura 2. 6a: Tensión de Von Mises del tensor.

Fuente: Investigador.

d.2 Desplazamiento resultante.

El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.315 mm, al compararse con el valor obtenido según la ecuación 2.21, que es de 0.36 mm, como no sobrepasa este valor se deduce que no afecta al sistema (Figura 2.6b).

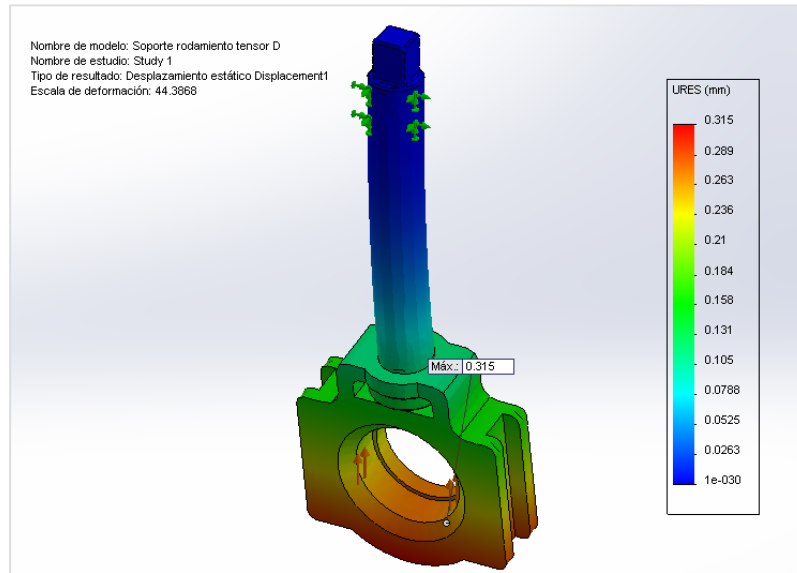


Figura 2.6b: Desplazamiento del elemento tensor.

Fuente: Investigador.

d.3 Factor de seguridad.

En la Figura 2.6c, se determina que el factor de seguridad de 3.46, este valor está dentro de los parámetros de diseño estimado, se concluye que el diseño es eficaz.

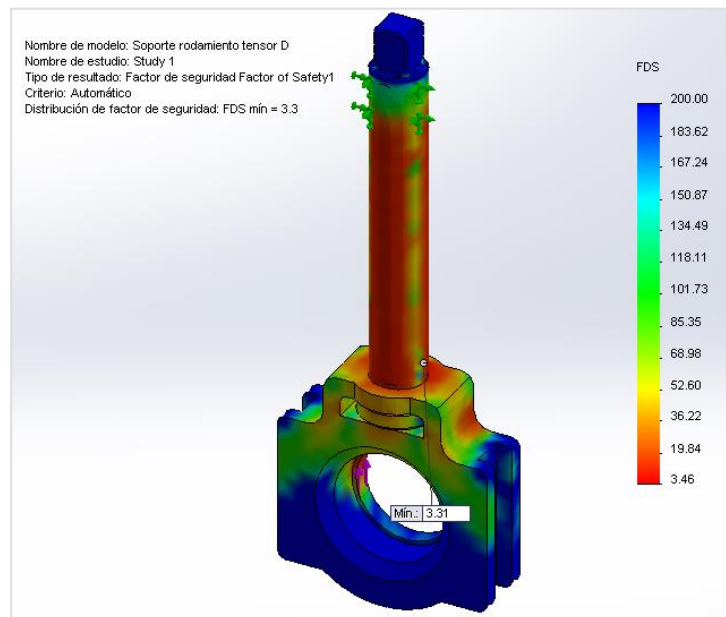


Figura 2.6c: Tensión de Von Mises del rodillo medio.

Fuente: Investigador.

e. ESTRUCTURA SOPORTE DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Este elemento es muy importante ya que es la base donde se alojara todos los elementos mecánicos constitutivos del sistema transportador.

e.1 Tensión de von mises.

En el resultado del estudio se puede visualizar en la Figura 2.7a, que permite ver las tensiones de Von Mises y conocer si el diseño es eficaz y seguro para su construcción, se tiene una tensión de 79.8 MPa, los cuales están dentro de los parámetros admitidos, y su construcción será segura. Las dimensiones reales se pueden encontrar en el Anexo C-5

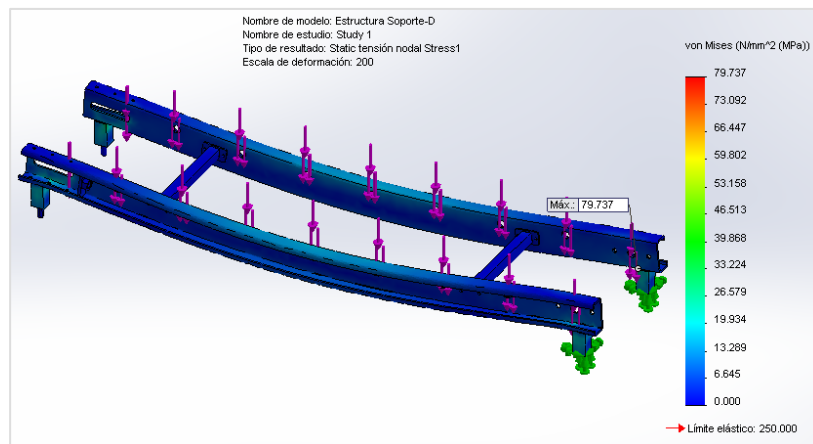


Figura 2. 7a: Tensión de Von Mises de la estructura de la banda.

Fuente: Investigador

e.2 Desplazamiento resultante.

El desplazamiento al que se encuentra sometido según el análisis (Figura 2.7b) es de 0.226 mm, aplicando la ecuación 2.21, se obtuvo un valor de 0.555 mm, el valor obtenido según la simulación no sobrepasa los límites de deflexión , por lo tanto no afectará al funcionamiento del sistema.

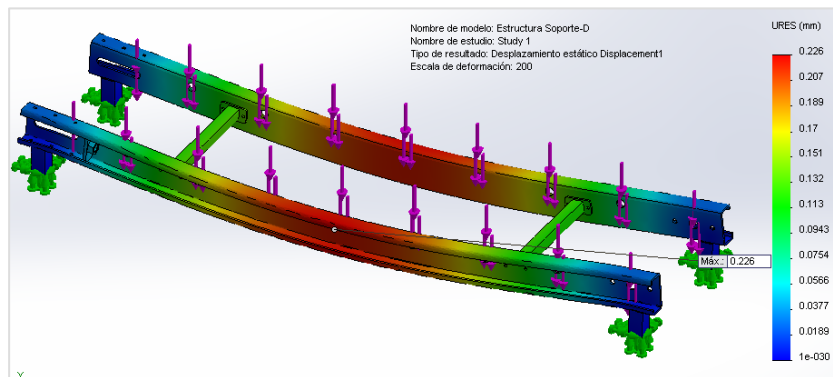


Figura 2.7b: Desplazamiento de la estructura de la banda.

Fuente: Investigador.

e.3 Factor de seguridad.

El factor de seguridad es de 3.43 (Figura 2.7c) lo cual indica que está dentro de los parámetros de seguridad estimados, este elemento va a soportar sin sufrir ningún daño todos los elementos que conforman el transportador. Se concluye que la estructura está correctamente diseñada.

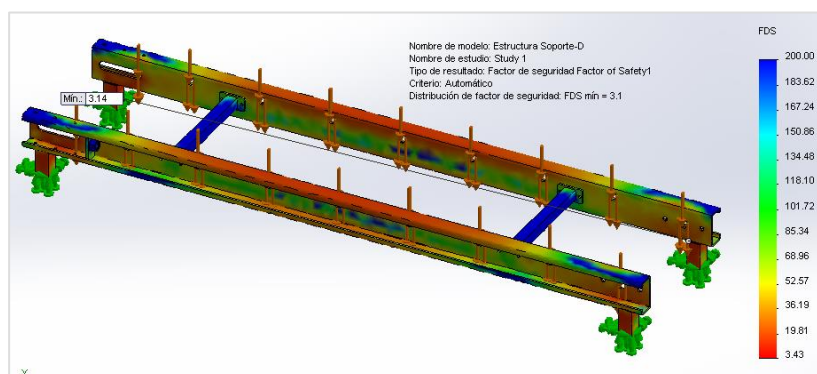


Figura 2.7c: Factor de seguridad de la estructura de la banda.

Fuente: Investigador.

2.3.2 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL DISCO GIRATORIO.

a. ENGRANAJE.

Debido a que la fuerza va a ser igual en todos los dientes, el análisis se lo realiza en uno de ellos. (Figura 2.8a). Las dimensiones reales se pueden encontrar en el Anexo C-6.

a.1 Tensión de von mises.

En la Figura 2.8a se obtiene en el engranaje de 30 dientes giratorio, al ser aplicada una carga de 133.3 N, se tiene una tensión es de 103.206 MPa, siendo esta tensión menor que el límite de fluencia del acero ASTM A36 250 MPa, el sistema puede resistir la tensión máxima sin problemas.

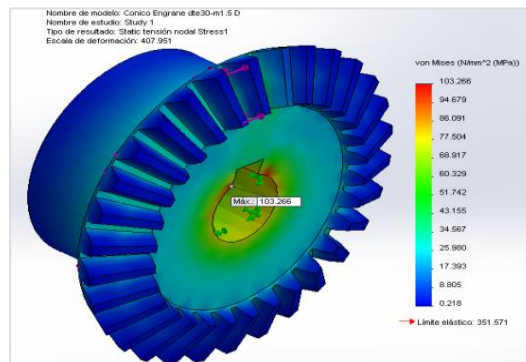


Figura 2. 8a: Tensión de Von Mises del engranaje.

Fuente: Investigador

a.2 Desplazamiento resultante.

Al analizar la Figura 2.8b, se determina que los máximos desplazamientos en el engranaje de 30 dientes giratorio, se producen en la cara del diente, siendo su valor máximo de 0.0113 mm; al aplicar la ecuación 2.21, se tiene un resultado de deflexión permitida de 0.03575 mm, comparado con el valor obtenido en la simulación se obtiene un valor que está dentro de los parámetros por lo tanto no afecta el funcionamiento normal del sistema de engranajes.

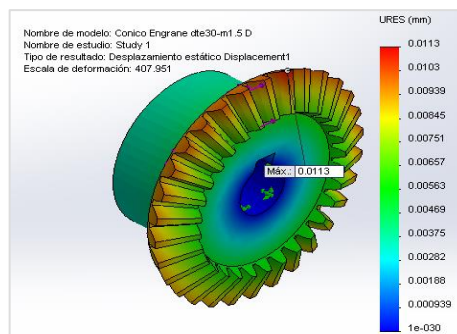


Figura: 2.8b: Desplazamiento resultante del engrane.

Fuente: Investigador

a.3 Factor de seguridad.

En cuanto al factor de seguridad; en la Figura 2.8c se muestra su distribución y se observa que las zonas críticas del engranaje de 30 dientes giratorio, su valor mínimo es de 3.59; el cual se encuentra dentro de los valores seguridad recomendados, por tanto se concluye que el diseño es seguro.

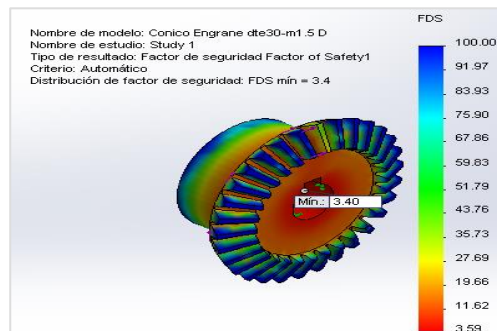


Figura: 2.8c: Factor de seguridad del engrane.

Fuente: Investigador

b. PIÑÓN.

Al igual que el engranaje, el análisis se lo realiza solo en uno de sus dientes, ya que la fuerza va a ser igual en todos los dientes, (Figura 2.9a). Las dimensiones reales se pueden encontrar en el Anexo C-7

b.1 Tensión de von mises.

En la Figura 2.9a, se observa el piñón de 15 dientes, dando su valor máximo de tensión de 106.14 MPa, pero al ser esta tensión menor que el límite de fluencia del Acero ASTM A36 250 MPa, (Anexo A-11), el sistema puede resistir la tensión máxima sin problemas.

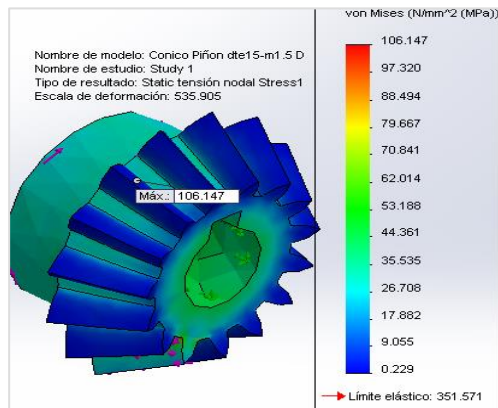


Figura 2. 9a: Tensión de Von Mises del piñón.

Fuente: Investigador.

b.2 Desplazamiento resultante.

Al observar la Figura 2.9b, se determina que la deflexión máxima en el piñón de 15 dientes se producen en la cara inclinada del diente, dando un valor máximo de 0.0052 mm; comparado con el valor obtenido al aplicar la ecuación 2.21, resulta ser 0.03575 mm, determinando que está dentro de los parámetros de deflexión por lo cual no afecta el funcionamiento normal del piñón.

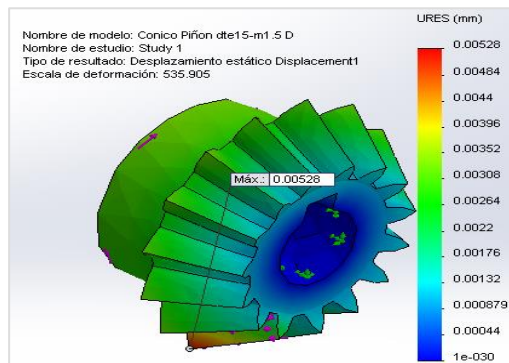


Figura: 2.9b: Desplazamiento resultante del piñón.

Fuente: Investigador.

b.3 Factor de seguridad.

En la Figura 2.9c, se muestra la distribución del factor de seguridad y se aprecian claramente las zonas críticas del piñón de 15 dientes, su valor es de 3.47, que esta sobre el límite permitido, por lo tanto el diseño es seguro.

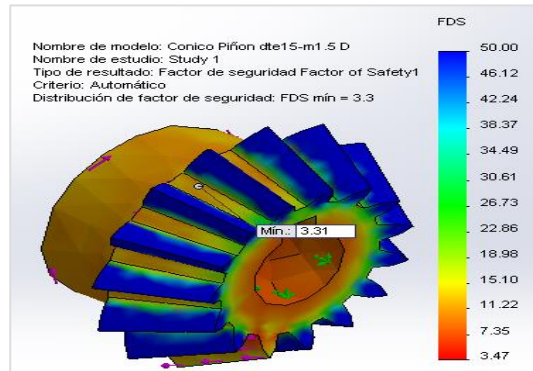


Figura: 2.9c: Factor de seguridad del piñón.

Fuente: Investigador.

c. EJE VERTICAL.

El eje vertical soporta el peso del disco giratorio y la carga que se aplicara para su posterior aplicación. Una vez asignada la fuerza a la cual va a estar sometido el eje giratorio y el material en el cual se va a construir, se procede a realizar el estudio de los esfuerzos (Figura 2.10a). Las dimensiones y planos constructivos se pueden encontrar en el Anexo C-8.

c.1 Tensión de von mises.

El resultado del estudio que permite ver las tensiones de Von Mises y conocer si el diseño es seguro para su construcción, al aplicarse una fuerza de 1111,1 N, nos presenta una tensión de 163.83 MPa (Figura 2.10a), este parámetro está dentro de lo admitido por el material, por cual el diseño es seguro para su construcción.

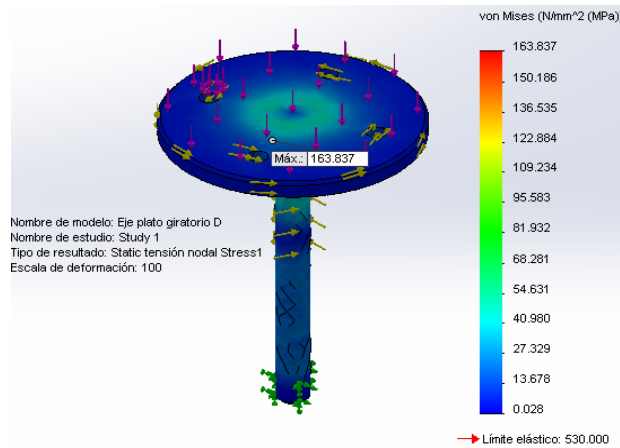


Figura 2. 10a: Tensión de Von Mises del eje vertical.

Fuente: Investigador.

c.2 Desplazamiento resultante.

El desplazamiento al que estará sometido el eje vertical tiene un valor máximo de 0.0359 mm (Figura 2.10b), comparando con el valor obtenido al aplicarse la ecuación 2.21, se tiene un valor de 0.048 mm, como se observa el valor obtenido mediante la simulación no sobrepasa los límites de deflexión, por lo cual no afectara en nada al funcionamiento del sistema.

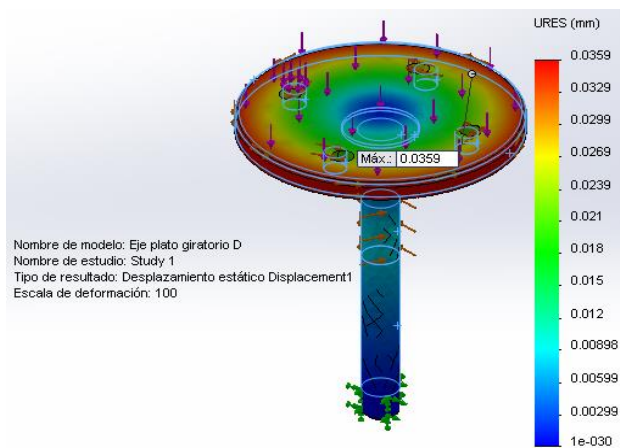


Figura: 2.10b: Desplazamiento del eje vertical.

Fuente: Investigador

c.3 Factor de seguridad.

Se puede observar que la superficie más afectada está en el centro, según los resultados obtenidos en la Figura 2.10c, el factor de seguridad es 3.23,

según el valor recomendado es un valor aceptable, en consecuencia se concluye que el diseño es seguro para su realización.

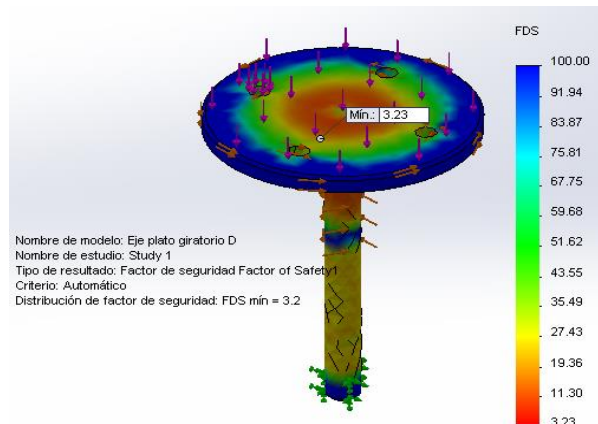


Figura: 2.10c: Factor de seguridad del eje vertical.

Fuente: Investigador

d. EJE HORIZONTAL

El eje horizontal se encuentra conectado al reductor, se sujeta mediante dos chumaceras, y en su parte final se halla el piñón de 15 dientes. Sus dimensiones y plano constructivos se pueden encontrar el Anexo C-9.

d.1 Tensión de von mises.

En la Figura 2.11a, se observa que la parte más afectada debido a la Tensión de Von Mises es donde se encuentran las chumaceras, teniendo un esfuerzo máximo de 168.24 MPa, este parámetro está dentro de lo admitido por el material, que es de 380 MPa, por lo cual garantiza su diseño.

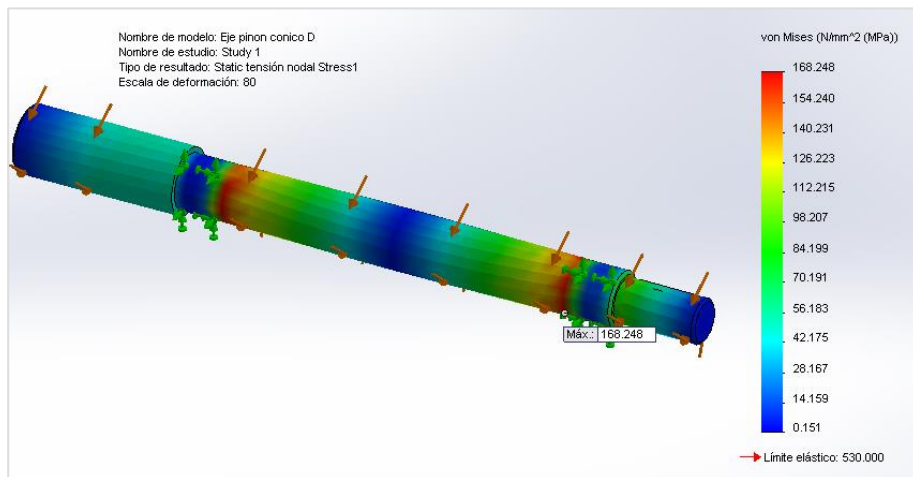


Figura 2. 11a: Tensión de Von Mises del eje horizontal.

Fuente: Investigador.

d.2 Desplazamiento realizado.

El desplazamiento al cual va a estar sometido el eje horizontal es de 0.0226 mm (Figura 2.11b), por lo cual este valor no es tan significativo comparado con el obtenido al aplicar la ecuación 2.21, que es de 0.0632 mm, por lo cual se deduce que no afectará en lo absoluto al sistema.

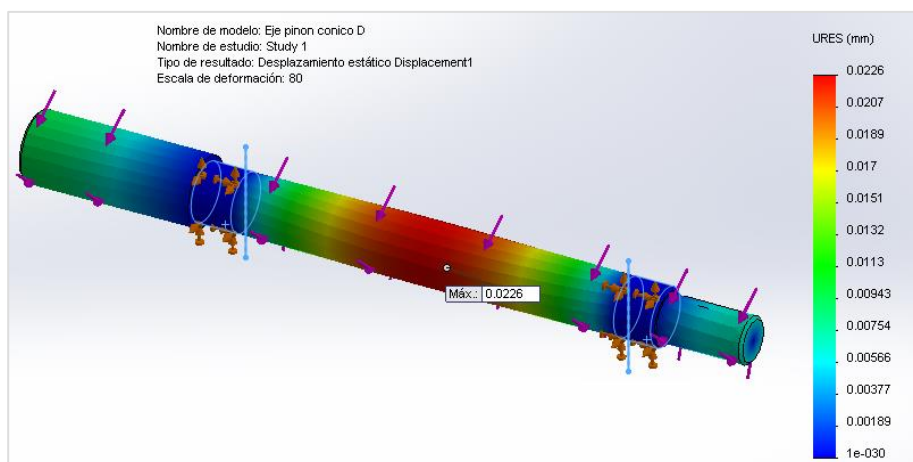


Figura: 2.11b: Desplazamiento del eje horizontal.

Fuente: Investigador.

d.3 Factor de seguridad.

Se puede apreciar en la Figura 2.11c que el valor mínimo del factor de seguridad es de 3.03, este se encuentra dentro del valor permitido para el diseño.

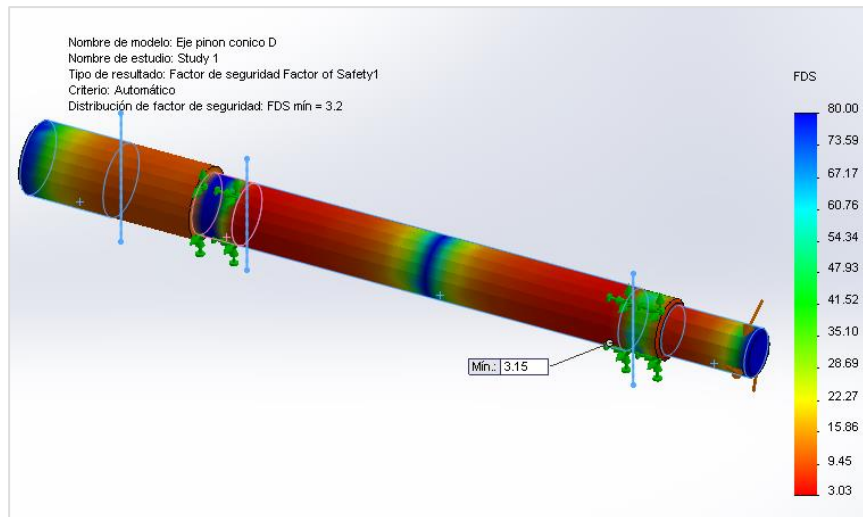


Figura: 2.11c: Factor de seguridad del eje horizontal.

Fuente: Investigador.

e. DISCO

La Figura 2.12a, muestra el elemento que va a ser analizado en el programa, en el cual la máxima tensión de Von Mises se produce cuando soporta una carga máxima de 1038.3 N. Anexo C-10.

e.1 Tensión de von mises.

En la Figura 2.12a, se obtiene una tensión de 61.842 MPa, el cual es menor que el límite de fluencia del Acero ASTM A36, que es de 250 MPa, por lo tanto, el disco posicionador puede resistir sin fallar esta tensión máxima.

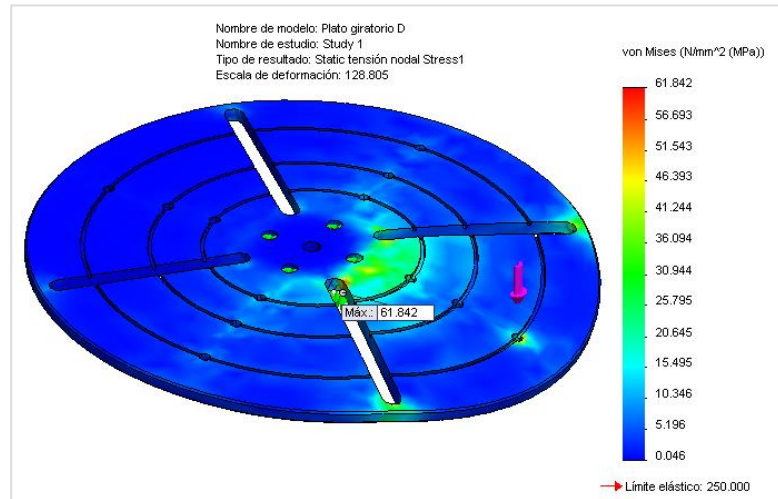


Figura 2. 12a: Tensión de Von Mises del disco posicionador.

Fuente: Investigador.

e.2 Desplazamiento realizado.

En la Figura 2.12b, se observa que el desplazamiento máximo del disco posicionador, ocurre cuando se aplica la carga máxima; su valor es de 0,233 mm, al aplicar la ecuación 2.21, se obtiene un valor de 0.72 mm, por lo que este desplazamiento que sufrirá el disco, no afecta el funcionamiento normal del sistema.

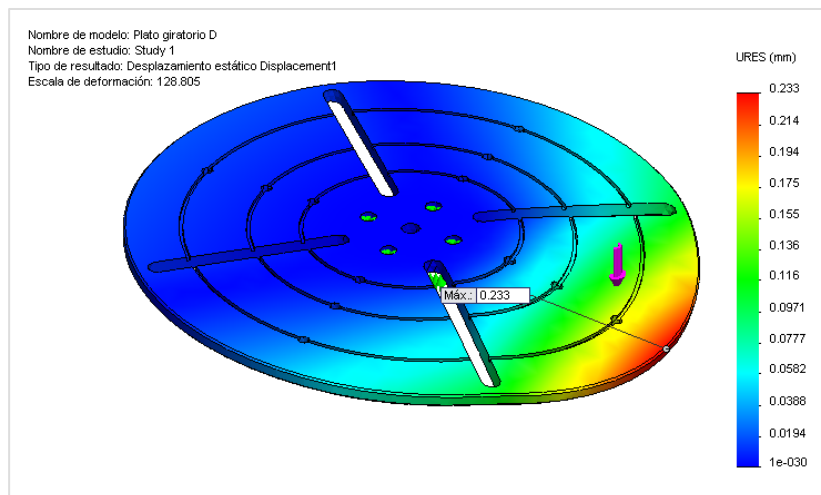


Figura 2.12b: Desplazamiento del discoposicionador.

Fuente: Investigador.

e.3 Factor de seguridad.

Se detalla el factor de seguridad en la Figura 2.12c, con un mínimo de 3.44, estando este valor dentro del permitido para estructuras con cargas de incertidumbre moderadas.

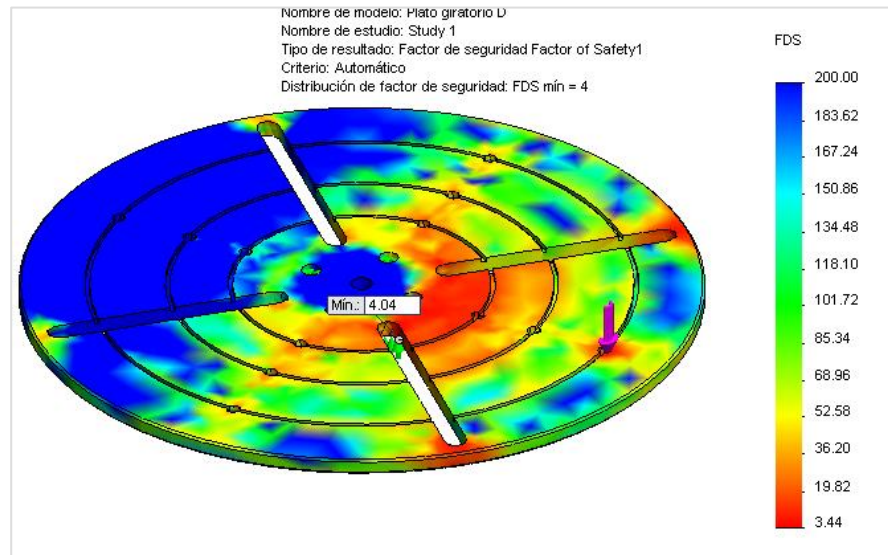


Figura.12c: Factor de seguridad del disco posicionador.

Fuente: Investigador.

f. ESTRUCTURA SOPORTE DEL DISCO.

En este soporte del disco giratorio es una estructura de Acero ASTM A36, en él se ubicaran los engranajes y el disco posicionador. El dimensionamiento real se puede observar en el Anexo C-11.

f.1 Tensión de von mises.

La fuerza a aplicarse en el soporte del disco giratorio es de 1111.1 N, La Figura 2.13a, se muestra la tensión de Von Mises, la cual es de 63.77 MPa, por lo que se encuentra dentro de los límites que soporta el Acero A-36. Lo que permite tener un sistema eficaz para su posterior construcción

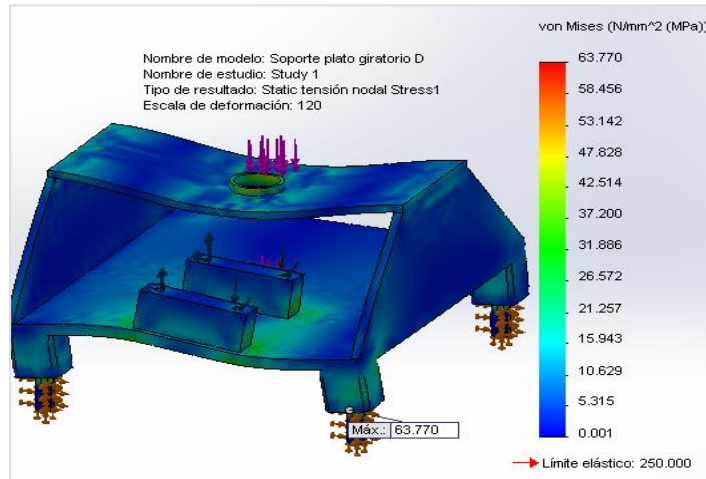


Figura 2. 13a: Tensión de Von Mises del soporte del disco giratorio.

Fuente: Investigador

f.2 Desplazamiento realizado.

El desplazamiento al cual estará sometido el soporte del disco giratorio según la Figura 2.13b, es de 0.154 mm, al aplicarse la ecuación 2.21, se tiene un valor de deflexión de 0.525 mm, por lo que el valor obtenido según la simulación no sobrepasa los límites recomendados, concluyendo así que no afectara el funcionamiento del sistema.

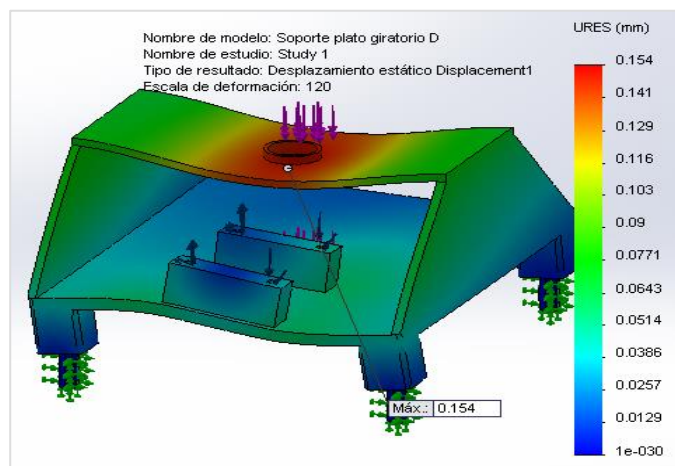


Figura 2.13b: Desplazamiento del soporte del disco giratorio.

Fuente: Investigador.

f.3 Factor de seguridad.

Este análisis asegura que el elemento no va a tener complicaciones al momento de su instalación, las zonas rojas muestran las zonas que tienen el factor de seguridad más bajo y por ende estas zonas son las más críticas, el factor de seguridad es de 3.72 que es un nivel aceptable para la realización del mismo.

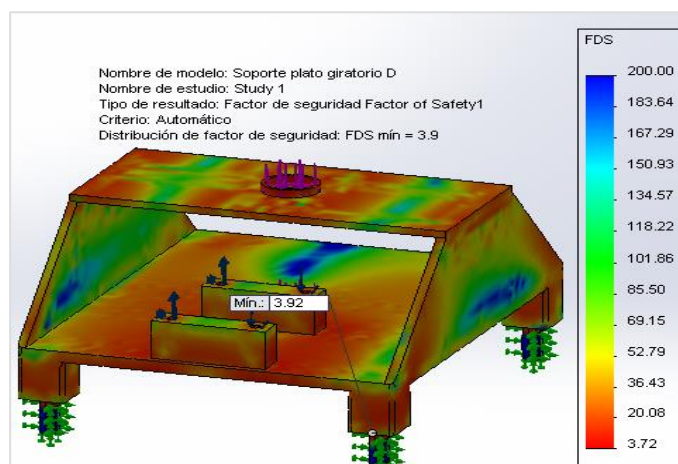


Figura 2.13c: Factor de seguridad del soporte del disco giratorio.

Fuente: Investigador.

2.3.3 ESTRUCTURA PRINCIPAL DE SOPORTE DEL LA BANDA TRANSPORTADORA Y DEL DISCO GIRATORIO.

La banda transportadora y el disco giratorio son sistemas que trabajan uno a la vez, es por esta razón que se construirá una base en la cual se pueda adecuar los sistemas, además en este elemento se ubicara también el servomotor, la caja reductora, y la caja de protecciones eléctricas, que contiene el PLC y el Drive. Las dimensiones y planos constructivos se pueden apreciar el Anexo C-12

a.1 Tensión de Von Mises de la estructura de soporte principal.

En la Figura 2.14a, al aplicarse una carga de 3000 N, se muestra la tensión de Von Mises, la cual es de 76.85 MPa, por lo que se encuentra dentro de

los límites que soporta el Acero A-36. Con esto se concluye que el diseño del soporte principal es eficaz para su construcción.

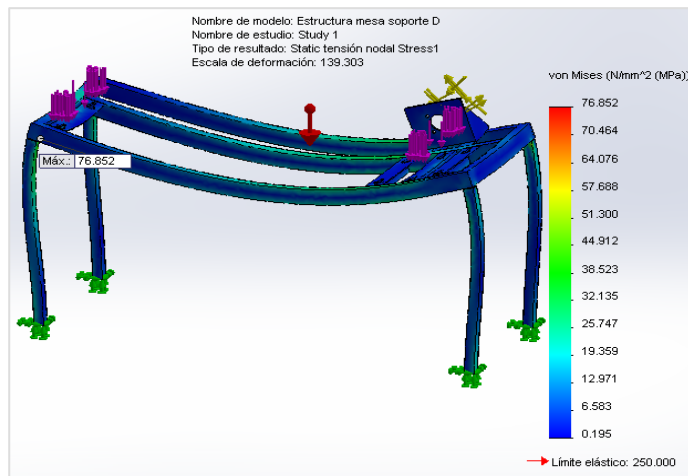


Figura 2. 14a: Tensión de Von Mises del soporte principal.

Fuente: Investigador

a.2 Desplazamiento realizado de la estructura de soporte principal.

El desplazamiento al cual va a estar sometido el soporte principal es de 0.923 mm, (Figura 2.14b:), por ser este valor mínimo comparado con el obtenido al aplicar la ecuación 2.21, que es de 3.84 mm, se concluye que no afectara en nada al funcionamiento del sistema.

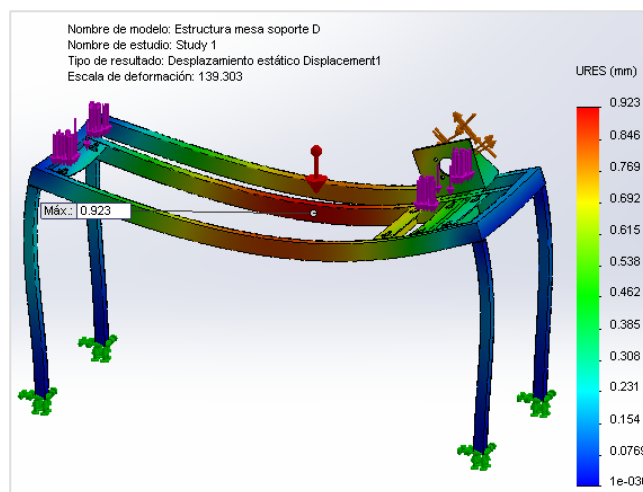


Figura 2.14b: Desplazamiento realizado del soporte principal.

Fuente: Investigador.

a.3 Factor de seguridad de la estructura de soporte principal.

En la Figura 2.14c, se observa el factor de seguridad mínimo y máximo siendo las zonas de color rojo las más afectadas, se tiene un factor de seguridad de 3.25, lo cual está dentro de los parámetros de diseño; se concluye que es un valor aceptable por lo cual su construcción será segura y permitirá tener un funcionamiento óptimo de todo el sistema.

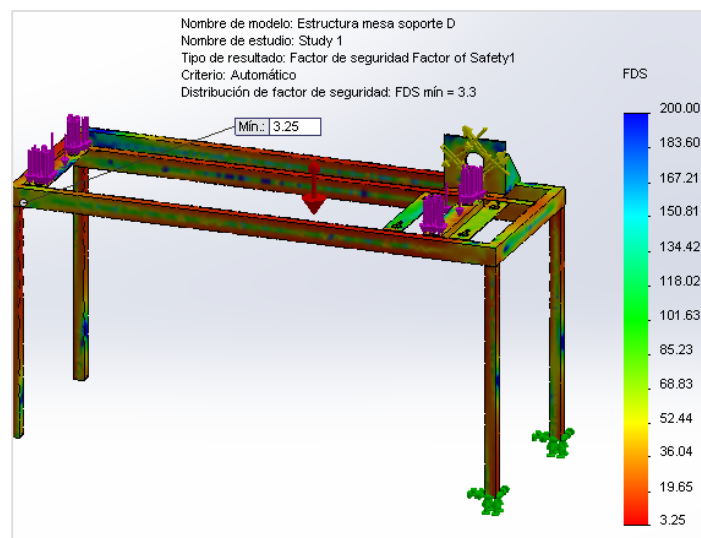


Figura 2.14c: Factor de seguridad del soporte del soporte principal.

Fuente: Investigador.

2.4 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

Los elementos del sistema eléctrico serán los que permitan un control óptimo del sistema, consiguiendo así el funcionamiento correcto, por lo tanto la selección se la realiza con criterio técnico para que estos tengan una larga vida de trabajo y evitar paradas innecesarias, o mucho menos algún daño en el sistema.

Estos elementos se seleccionarán en base al voltaje y corriente requeridos. El sistema de potencia consta de un servomotor, el cual debe tener las protecciones necesarias. La parte de control automático estará comandada mediante un PLC, el cual recibe la señal de dos sensores

infrarrojos los cuales activan o desactivan la salida del servo driver, el mismo que controla al servomotor.

2.4.1 SELECCIÓN DEL PLC

Se partirá de la selección del PLC, ya que se determinaran las entradas y salidas necesarias (A/D), en la Tabla 2.3, se establecen los elementos necesarios para utilizarse en la automatización.

Tabla 2. 3: Entradas y Salidas necesarias del PLC.

I/O	TIPO	DESCRIPCIÓN
X0	Digital	Señal del sensor # 1
X1	Digital	Señal del sensor # 2
X2	Digital	Paro de emergencia.
Y0	Digital	Señal de pulsos
Y4	Digital	Señal de dirección
Y6	Digital	Servo ON
Y10	Digital	Luz indicadora de emergencia.
Y11	Digital	Luz indicadora de ejecución.

Fuente: Investigador.

Lo más importante para la selección del PLC es que este permita el manejo de códigos G, lo cual permite el control de la posición y velocidad sin ninguna limitación. Además hay que tomar en cuenta que se necesita una fuente de 24 V dc, para alimentar la pantalla táctil. Entre otras características, lo que se requiere de este controlador lógico programable es que tenga una reacción rápida ante una señal de entrada tanto de accionamientos manuales o proceso automático del programa para poner en marcha el servo motor por medio del servo driver.

Tomando en cuenta la compatibilidad con el servo sistema, se elige un PLC de marca XINJE, el modelo del PLC seleccionado es el XCM-24T4-C, su alimentación es de 110/220VAC, 50/60Hz, está provisto de dos puertos de

comunicación COM 1 y COM 2.¹⁸ El puerto COM 1 maneja protocolo RS232, mediante el cual se realiza la conexión PLC – PC que permite la descarga del programa, así como la conexión del mismo con un interfaz HMI, el COM 2 tiene un protocolo RS232/RS485, el cual se pueden conectar en red varios PLC's.

En la Figura 2.15, se muestran las dimensiones del PLC, y en la Figura 2.16, se pueden apreciar sus partes constitutivas, las mismas que se describen en la Tabla 2.4, mayores detalles se pueden encontrar en el Anexo B-1.

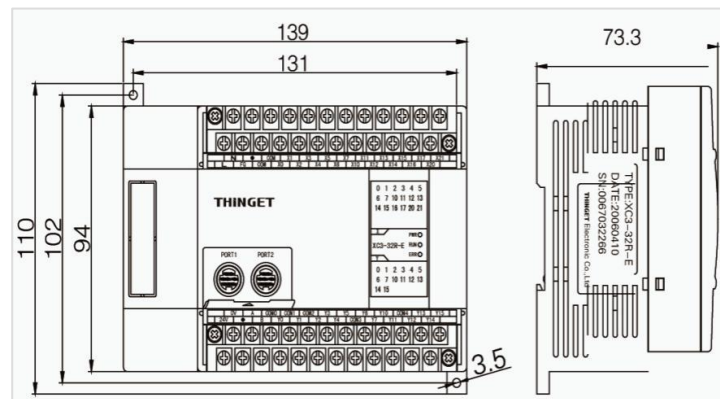


Figura 2. 15: Dimensiones del PLC XCM-24T4-C
Manual PLC XINJE (the specifications and parameters of CPU) Pág: 10

¹⁸ User Manual PLC XINJE (specifications and parameters of CPU) Pág: 9

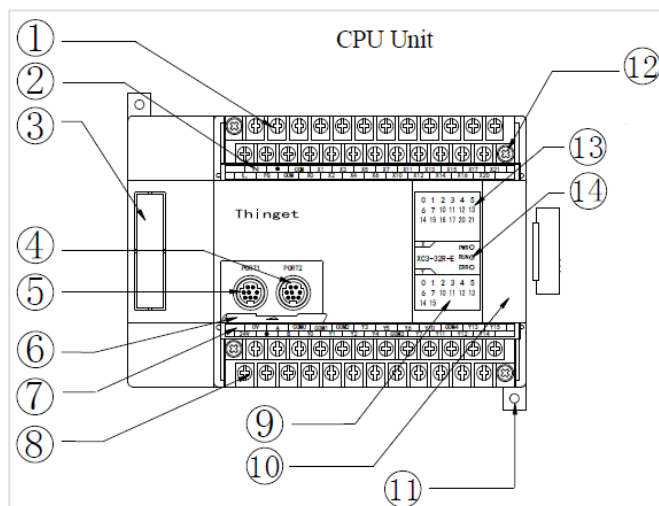


Figura 2. 16: Partes del PLC XCM-24T4-C
User Manual PLC XINJE (specifications and parameters of CPU) Pág: 14

Tabla 2. 4: Descripción de las partes constitutivas del PLC XCM-24T4-C

Núm.	Nombre	Núm.	Nombre
1	Terminal de entrada de la fuente de alimentación	8	Terminal de salida de la fuente de 24 V dc.
2	Terminales de Entrada	9	Led de salida
3	Expansión del puerto de BD	10	Puerto del módulo de expansión
4	COM 2	11	Orificio de montaje
5	COM 1	12	Tornillo
6	Tapa protectora	13	Led de entrada
7	Terminales de Salida	14	Led

Fuente: Investigador.

Las conexiones posibles que se puede realizar con el PLC elegido pueden ser compatibles con motores PaP, variadores de frecuencia, pantallas HMI, Servomotores, como se indica en la Figura 2.17;

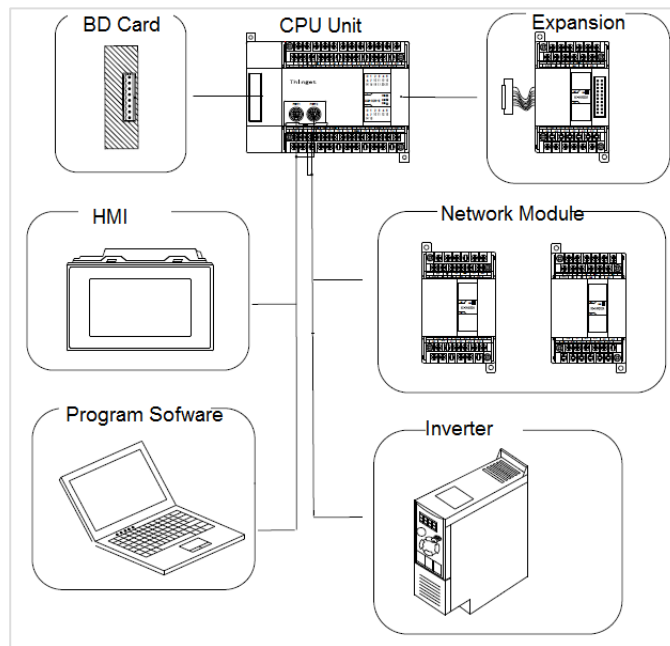


Figura 2. 17: Conexiones posibles del PLC.
User Manual PLC XINJE (specifications and parameters of CPU) Pág: 16

2.4.2 SELECCIÓN DEL ELEMENTO DE PROTECCIÓN.

Para seleccionar el interruptor termomagnético para la alimentación general se toma en cuenta la corriente que consume el servo motor. Con la Ecuación 2.22, se calcula la corriente a plena carga del motor.

$$I_{pc} = 1.75 * I_n \quad E. c. 2.22$$

Dónde:

I_{pc} = corriente a plena carga del motor.

$$I_{pc} = 1.75 * 3 A$$

$$I_{pc} = 5.69 A$$

Por lo tanto del catálogo de interruptores termo magnéticos que se encuentra en el ANEXO B-2 se selecciona el valor estándar inmediato superior, se utilizará un interruptor termo magnético 10A (Figura 2.18) para la protección del sistema.



Figura 2. 18: Interruptor termo magnético
Catálogo SCHNEIDER multi-9 (pág.)

2.4.3 SELECCIÓN DE SELECTORES Y PULSADORES.

Existen varios fabricantes de elementos actuadores e indicadores los cuales realizan maniobras de activado y desactivado en un proceso de control.

- **Selector ON/OFF.**

Mediante este elemento (Figura 2.19), se tendrá el control de encendido y apagado del sistema. (Anexo B-3)



Figura 2.19: Selector On-Off.
Catálogo CAM SWITCHES (Pág. 2).

- **Pulsador tipo hongo con retención.**

Para una situación de emergencia se utilizará un interruptor tipo Hongo con retención (Figura 2.20), el cual desconectará todo el circuito de mando y control permitiendo reaccionar ante alguna anomalía del sistema (Anexo B-4).



Figura 2. 20: Interruptor de emergencia.

Catalogo PROMELSA (s.f.) Automatismos Industriales (pag. 3)

- **Luz piloto.**

Se emplea dos luces piloto (Figura2.21), una para visualizar cuando se haya provocado alguna emergencia y la otra para la visualización del funcionamiento del servo. Sus características se detallan en el Anexo B-5



Figura 2. 21: Luz piloto.

Catalogo SCHNEIDER Electric unidades de mando y señalización Φ 22 (pág. 10-27)

- **Relés.**

Se emplean relés de 5V dc, como también de 24 Vdc (Figura 2.22), sus características se encuentran en el Anexo B-6.



Figura 2. 22: Relés.

Catálogo. Camsco. Pág. 12-18

- **Conductor del circuito de control.**

Dado a que el circuito de control se limita únicamente elementos eléctricos como pulsadores, relés auxiliares y conexiones al PLC, entonces la corriente y caída de tensión no serán de mayor consideración, por lo cual se utilizará una sección de $1,29 \text{ mm}^2$ que equivale a un conductor #16 AWG, para esta selección se utilizó la tabla de calibres para conductor tipo TFFN (Anexo B-7). Para la conexión del canal 1 (CN1. Conexión PLC-Servo driver), se emplea un cable flexible multipunto apantallado con el fin de evitar interferencias.

- **Sensores.**

Se necesita utilizar dos sensores infrarrojos, que serán colocados uno al inicio de la banda el cual permitirá el inicio del proceso, y otro que será colocado al final de la banda transportadora el cual indica la finalización del ciclo de transporte, evitando la caída del objeto transportado.

Se seleccionó este sensor ya que era el modelo que cumplía de una manera más completa el perfil deseado. Una de las principales características es la versatilidad de material que puede detectar sea esta madera, metales, plásticos, etc. Los cuales están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos, sin importar el material. Este componente puede tener la apariencia de un LED normal, la diferencia radica en que la luz emitida por él no es visible para el ojo humano, únicamente puede ser percibida por otros dispositivos electrónicos.¹⁹

Generalmente se alimentan con un voltaje que va de 5V dc. Poseen de 3 a 4 cables o hilos de conexión, 2 son de alimentación, mientras que los restantes son salidas ya sean normalmente cerradas, abiertas o ambas.

¹⁹ Catálogos y folletos técnicos CONTRINEX (Sensores inductivos, fotoeléctricos, capacitivos y ultrasonidos Pág. 140)

Estas características pueden ser consultadas a mayor detalle en las hojas técnicas del Anexo B-8.



Figura 2. 23: Sensor Infrarrojo SN-E18-D80NK.

www.cytron.com.my/viewProduct.php?...E18-D80N.

- **Selección de elementos adicionales.**

Para alojar a los conductores eléctricos se utilizarán canaletas ranuradas color gris de 50 * 50 mm, también se utilizarán rieles DIN metálicos de 35 mm simétrica donde se montarán elementos como: relés, breaker, porta fusibles, PLC, entre otros; en la Figura 2.24, se pueden observar los elementos seleccionados.



Figura 2. 24: Canaleta y riel DIN.

SPAIN_Catálogo Canaletas.

2.4.4 PANTALLA TÁCTIL (HMI).

El touch panel se eligió de la misma marca del PLC (XINGE) ya que facilita el trabajo y permite una comunicación más segura entre PLC y HMI, su apariencia se presenta en la Figura 2.25.

Una de sus principales ventajas se plantea en el hecho de ser un dispositivo de libre aplicación, una amplia conectividad con distintos equipos y protocolos existentes en el mercado, el software controlador de esta pantalla se expone libremente a los usuarios de parte de la empresa

Xinje Electronic Co. Ltd. De esta manera cualquier empresa o diseñador podrá hacer uso de las ventajas que esta pantalla ofrece sin la necesidad de estar sujeto a licencia alguna, entre sus principales características se encuentra las descritas en el Anexo B-9.

Estructuralmente la pantalla táctil TH-465 está formada como se indica en la Figura: 2.26, ahí se presenta el modelo frontal de la pantalla, donde se encuentra una entrada USB_A, la pantalla táctil de trabajo o visualización y un led indicador de inicio. (Figura 2.27)²⁰.

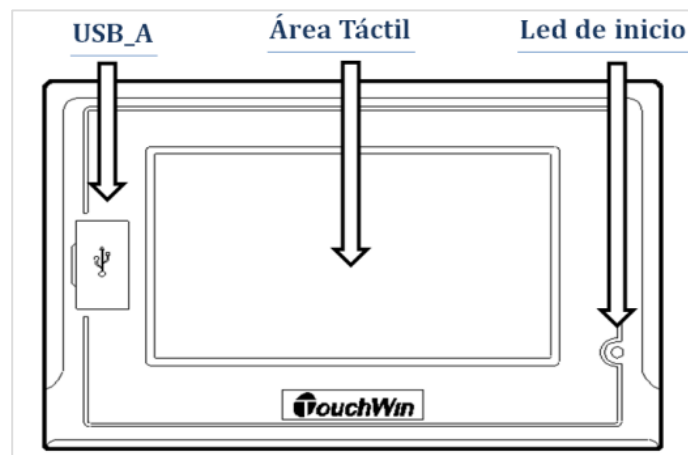


Figura 2. 25: Diagrama frontal de la pantalla.

Manual del usuario TH-465 Pág.5

La parte posterior de la pantalla TH-465. Es como se indica en la Figura 2.26, donde se encuentra:

- Soque de alimentación.
- Puerto serial COM_1.
- Puerto USB_B
- Puerto USB_A

²⁰Catálogo Xinje Electronic Co. Ltd.

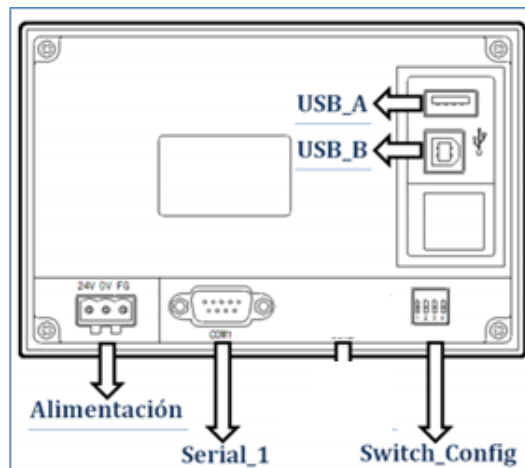


Figura 2. 26: Diagrama posterior de la pantalla TH-465.

Manual del usuario TH-465 Pág.5

Las dimensiones de esta pantalla se especifican en la Figura 2.27.

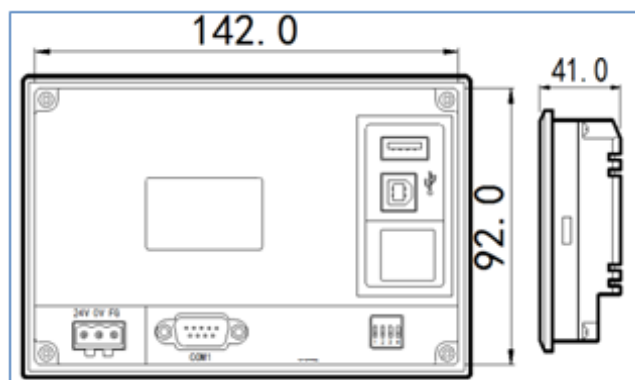


Figura 2. 27: Dimensiones de la pantalla TH-465.

Manual del usuario TH-465 Pág.6

2.5 DISEÑO DEL ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN.

La programación del PLC se la realiza en dos partes mediante subrutinas, una para controlar la banda transportadora y otra para el control del disco posicionador.

a. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN DEL DISCO POSICIONADOR.

La programación se la realiza para controlar diferentes posiciones en grados que requiera el operador, el disco posicionador posee un grado de

libertad, se trabajara con el eje “X”. El número máximo de posiciones programables es de cien, el diagrama de flujo de la programación del PLC para el disco posicionador se aprecia en la Figura 2.28.

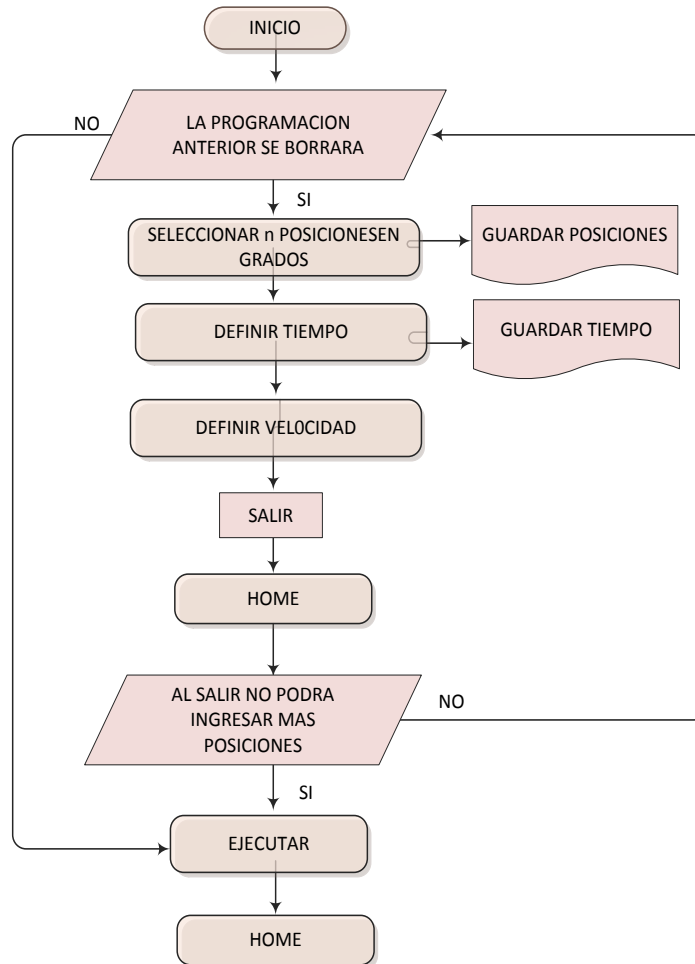


Figura 2. 28: Algoritmo de programación del PLC para el disco posicionador.
Fuente: Investigador

b. DISEÑO DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA.

La programación se la realiza para controlar diferentes posiciones que requiera el operador, la banda transportadora posee un grado de libertad por lo que se trabajara con el eje “X”.

El número máximo de posiciones programables es de cien, estas posiciones se almacenan en las memorias del PLC, por lo tanto si existe un corte de energía el operador no debe preocuparse de volver a programarlas nuevamente. El Algoritmo de programación del PLC para la banda se presenta en la Figura 2.29.

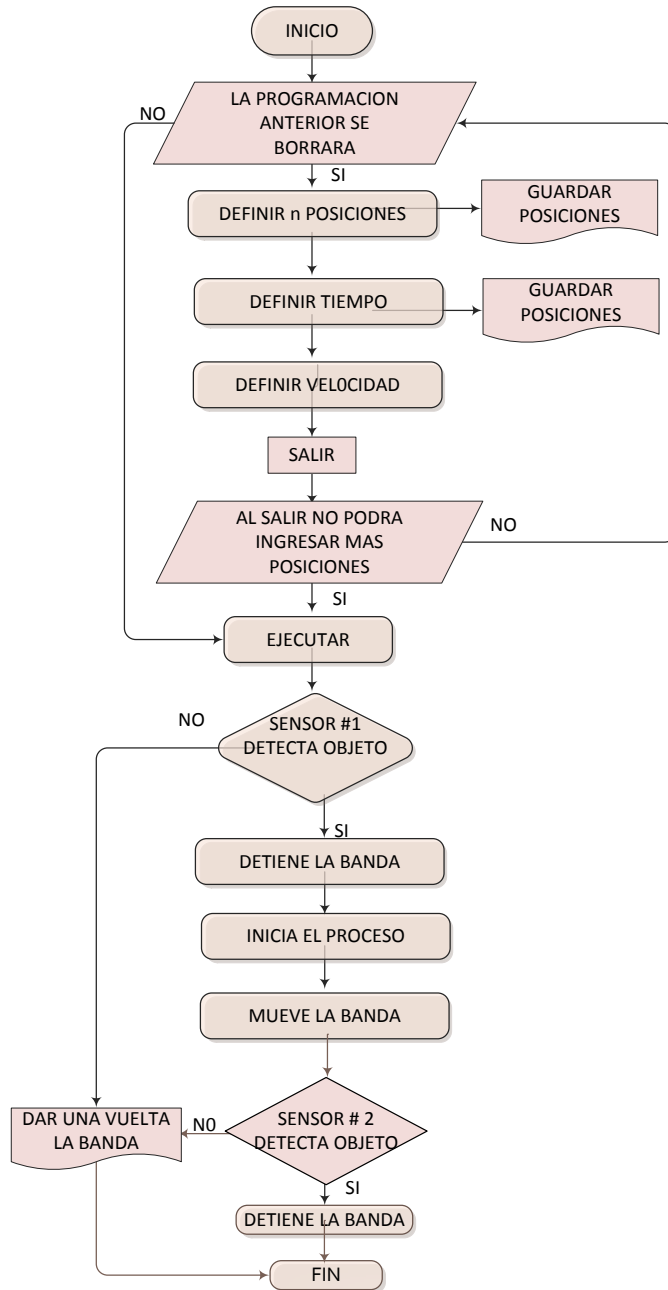


Figura 2. 29: Algoritmo de programación del PLC para la banda.

Fuente: Investigador.

c. DISEÑO DE LA PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ DE COMUNICACIÓN HMI.

Para el diseño de la programación del HMI, se tomó en cuenta la programación total del PLC y las condiciones necesarias para que esta permita un fácil manejo para el operador, el Algoritmo de programación se muestra en la Figura 2.30.

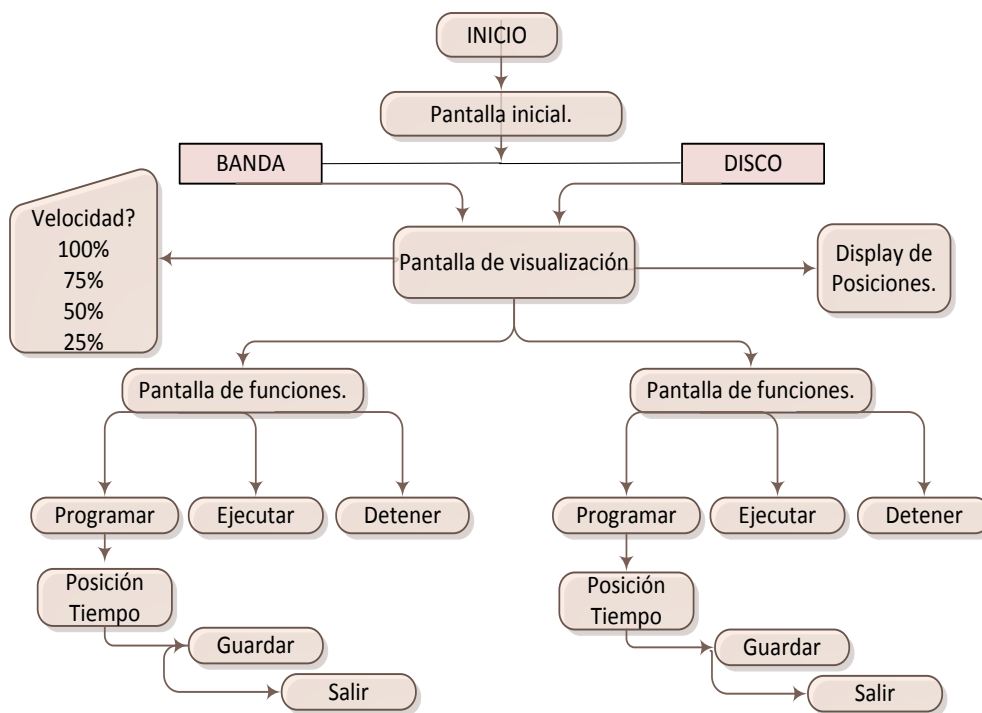


Figura 2. 30: diagrama de flujo de la programación del HMI.

Fuente: Investigador

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE MECÁNICO Y ELÉCTRICO DEL SISTEMA.

Ya culminado el capítulo de diseño se ha determinado cada una de las partes necesarias para la construcción del sistema. En el presente capítulo, se describe la construcción y montaje de la máquina. Se muestran las partes que se construyen totalmente, se presentan sus diagramas del proceso de construcción, el número de plano de referencia y la figura correspondiente al elemento terminado.

3.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE LA BANDA TRANSPORTADORA.

3.1.1 RODILLO MOTRIZ.

La Figura 3.1, se muestra el rodillo motriz en SolidWorks y se puede observar el rodillo motriz ya culminado su mecanizado.

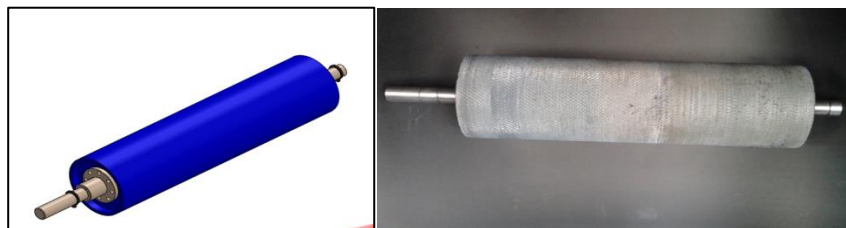
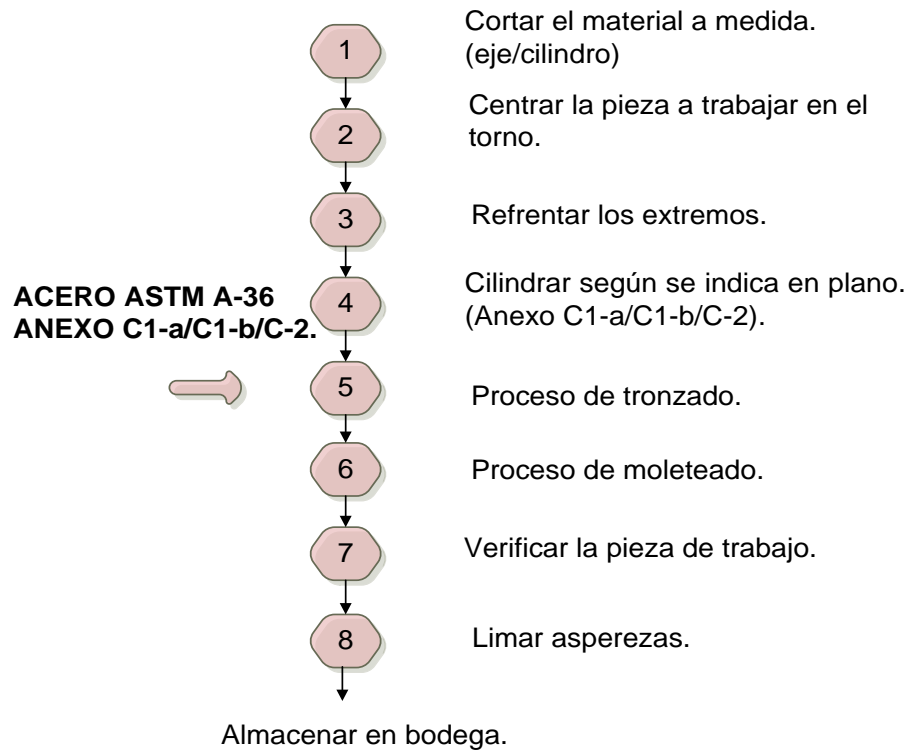


Figura 3. 1: Rodillo motriz.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL EL RODILLO MOTRIZ.



3.1.2 RODILLO TENSOR.

La Figura 3.2, se muestra el rodillo tensor en SolidWorks, como también en su aspecto constructivo.

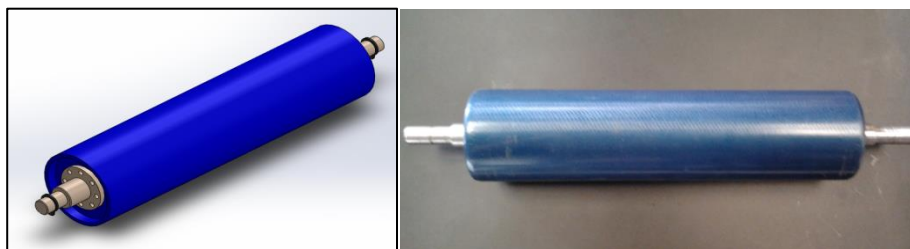
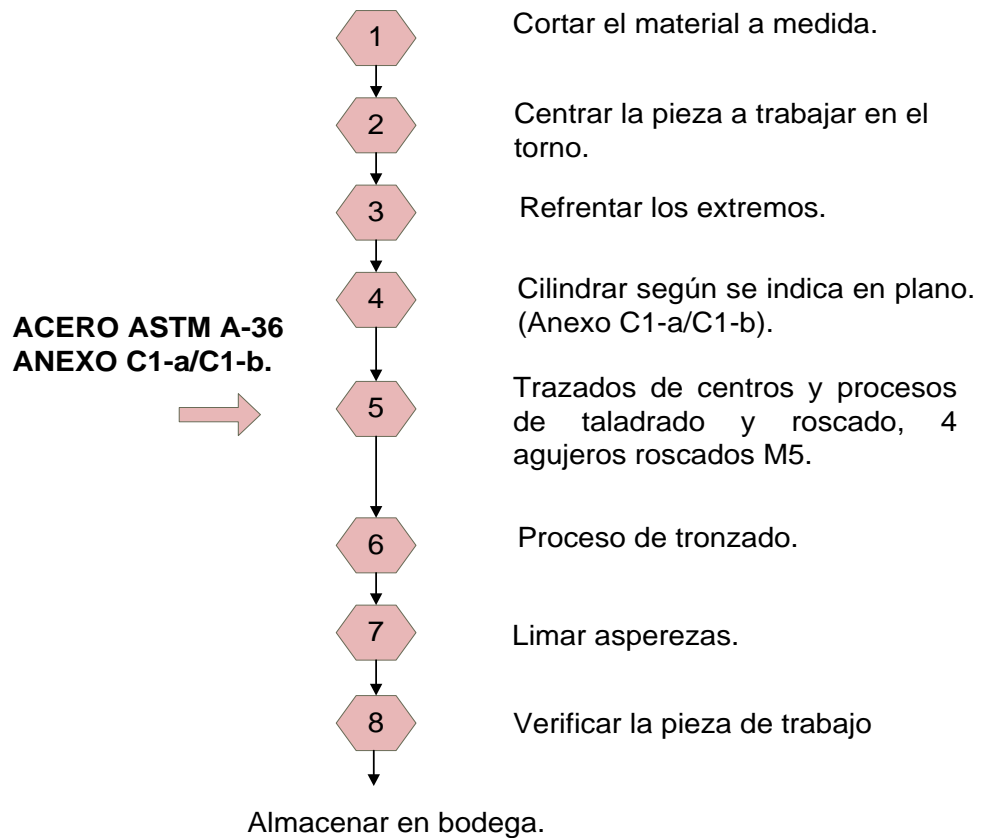


Figura 3. 2: Rodillo tensor.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA ESTRUCTURA DEL RODILLO TENSOR.



3.1.3 RODILLOS INTERMEDIOS.

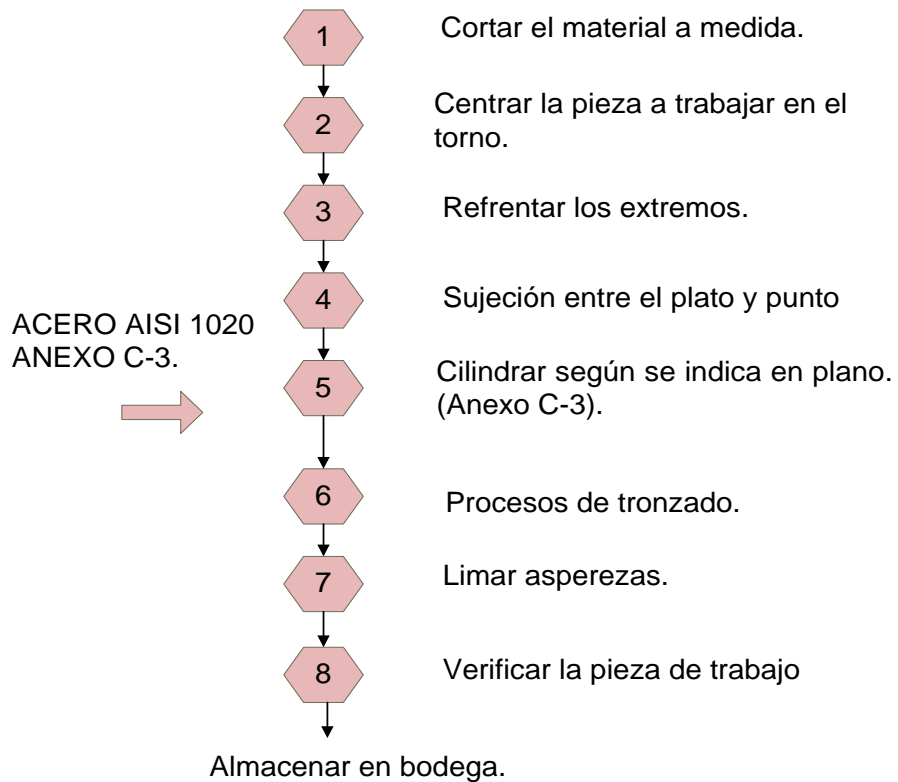
La Figura 3.3 se observa los rodillos intermedios del transportador en SolidWorks, también se puede apreciar los rodillos en su aspecto constructivo.



Figura 3. 3: Rodillo intermedio.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS RODILLOS INTERMEDIOS.



3.1.4 SOPORTE RODAMIENTO TENSOR.

La Figura 3.4, se muestra el soporte del rodamiento tensor en SolidWorks y se puede apreciar una vez culminado su mecanizado.

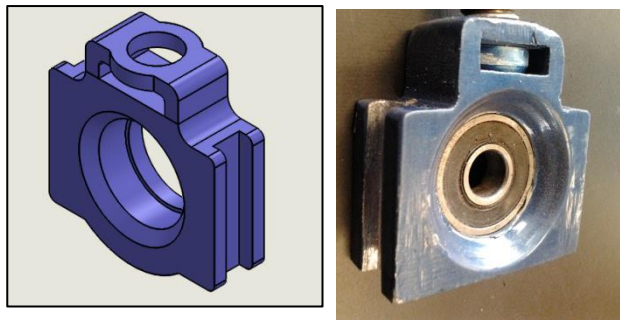
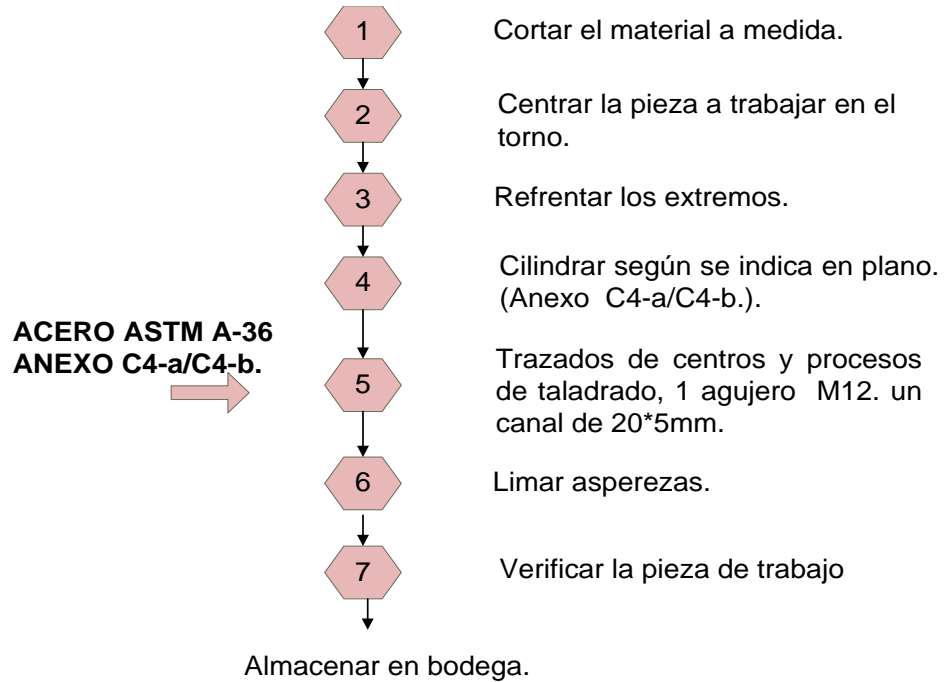


Figura 3. 4: Soporte rodamiento tensor.

Fuente: Investigador

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA ESTRUCTURA DEL SOPORTE RODAMIENTO TENSOR.



3.1.5 ESTRUCTURA SOPORTE DEL TRANSPORTADOR.

La Figura 3.5, se muestra la estructura soporte del transportador en SolidWorks, y se puede observar también la estructura cuando se ha culminado su construcción.

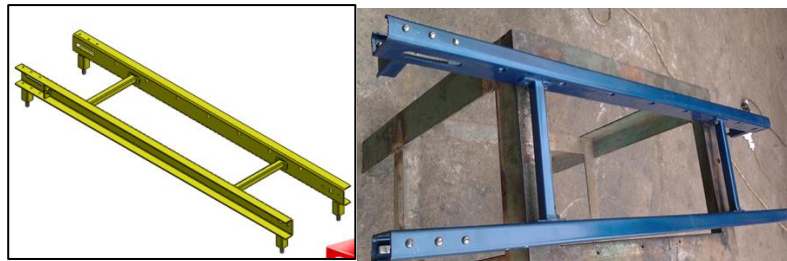
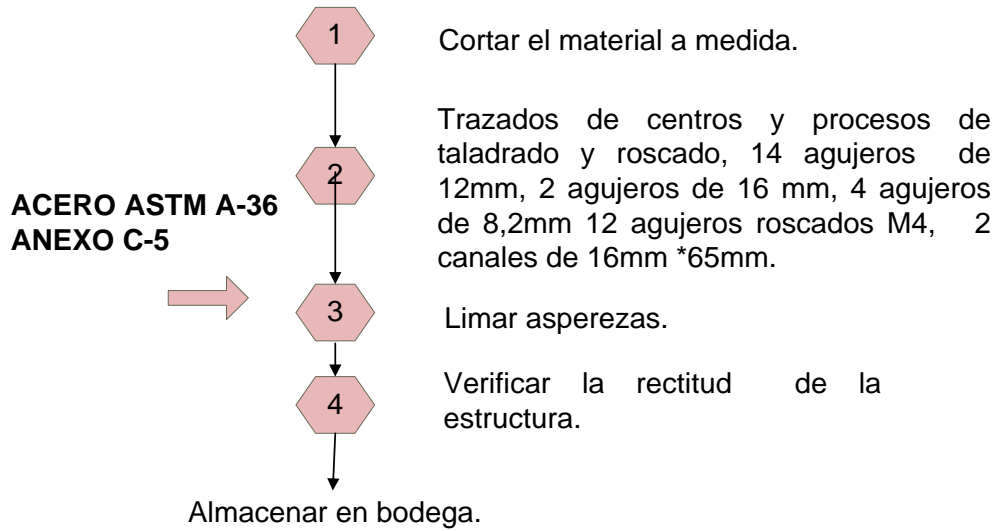


Figura 3. 5: Estructura soporte del transportador.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL TRANSPORTADOR.



3.1.6 GUÍA SOPORTE RODAMIENTO.

La Figura 3.6, se muestra la guía soporte del rodamiento tensor en SolidWorks, y se puede observar la guía soporte del rodamiento tensor culminado su mecanizado.

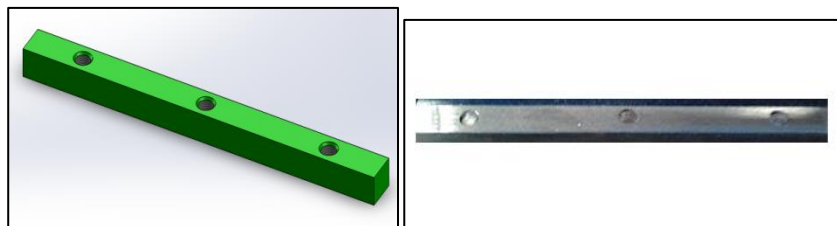
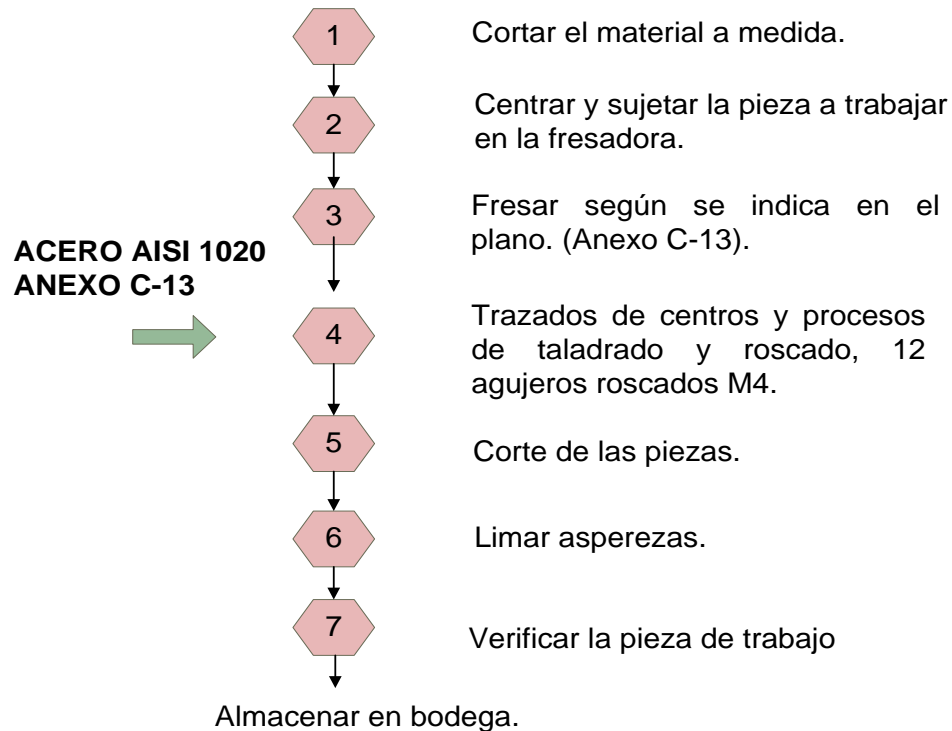


Figura 3. 6: Guía soporte rodamiento.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA GUÍA SOPORTE RODAMIENTO.



3.2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DEL DISCO GIRATORIO.

Se presentan las partes que van a ser construidos totalmente. A continuación se indica los diagramas de proceso, en donde se muestra los pasos de construcción, el número del plano de referencia y la Figura correspondiente al elemento terminado.

3.2.1 ENGRANE CÓNICO.

La Figura 3.7, se muestra el engrane cónico previamente diseñado en SolidWorks, y se puede observar el mismo cuando se ha finalizado con su mecanizado.

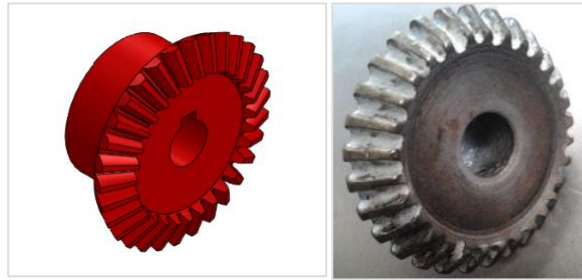
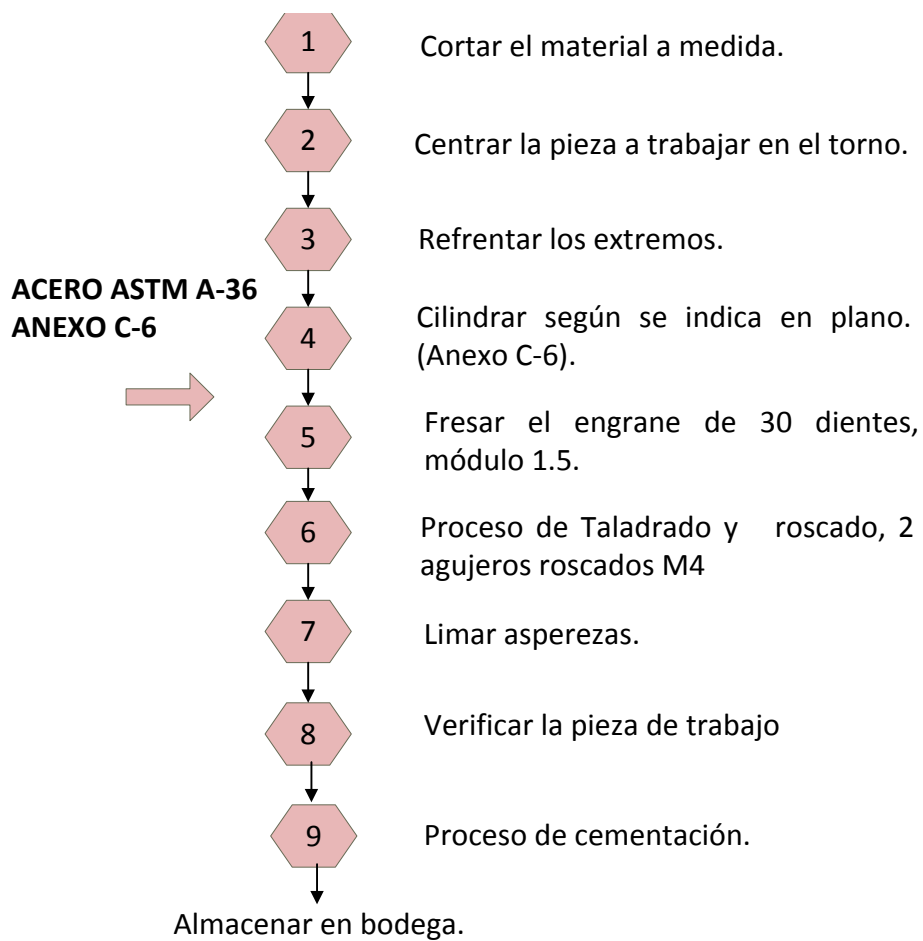


Figura 3. 7: Engranaje cónico.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL ENGRANE CÓNICO.



3.2.2 PIÑÓN CÓNICO.

La Figura 3.8, se muestra el piñón diseñado en SolidWorks en la misma se puede observar el piñón ya culminado su mecanizado.

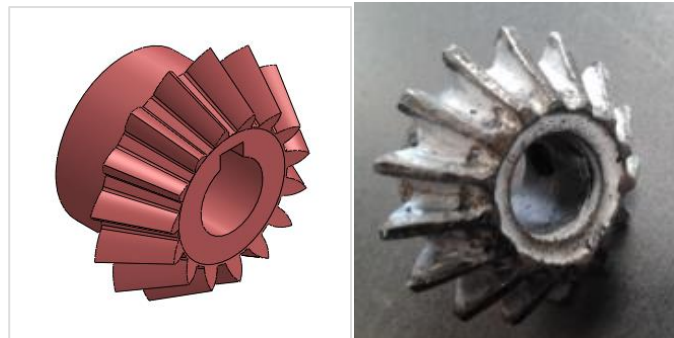
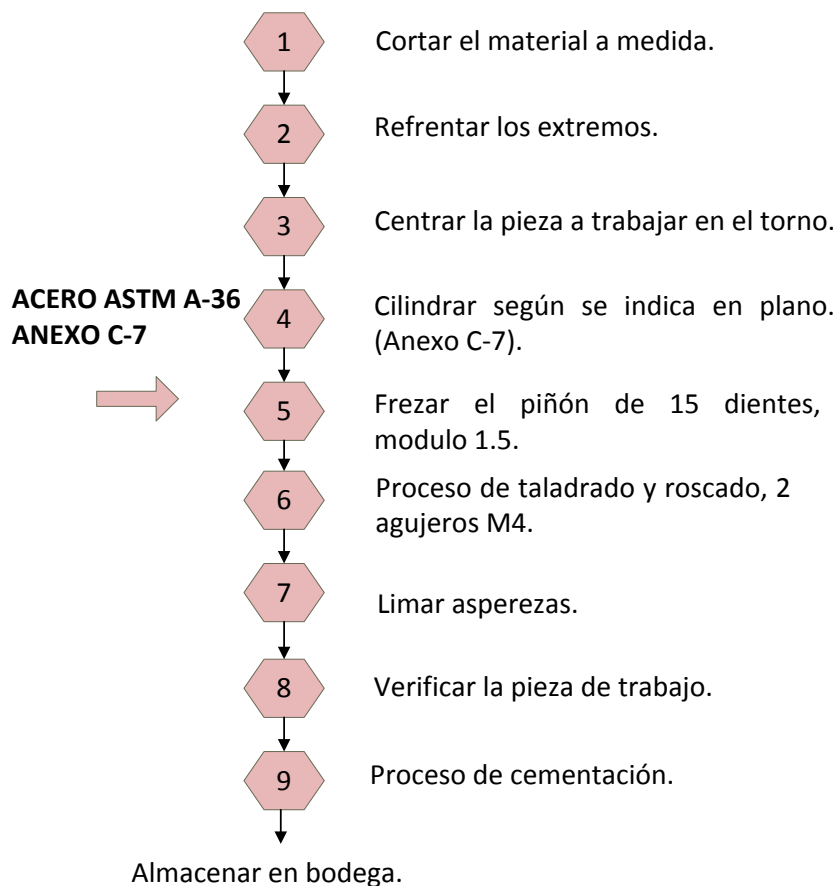


Figura 3. 8: Piñón.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL PIÑÓN.



3.2.3 EJE GIRATORIO.

La Figura 3.9, se muestra el eje giratorio diseñado en SolidWorks, también se puede observar el eje giratorio una vez culminado su construcción.

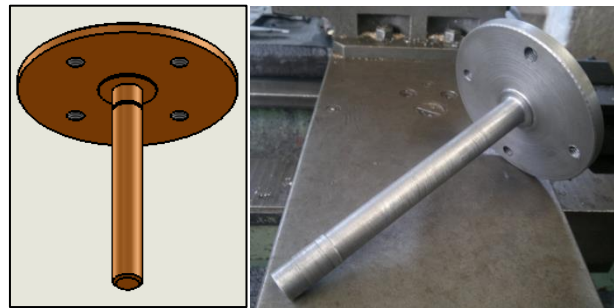
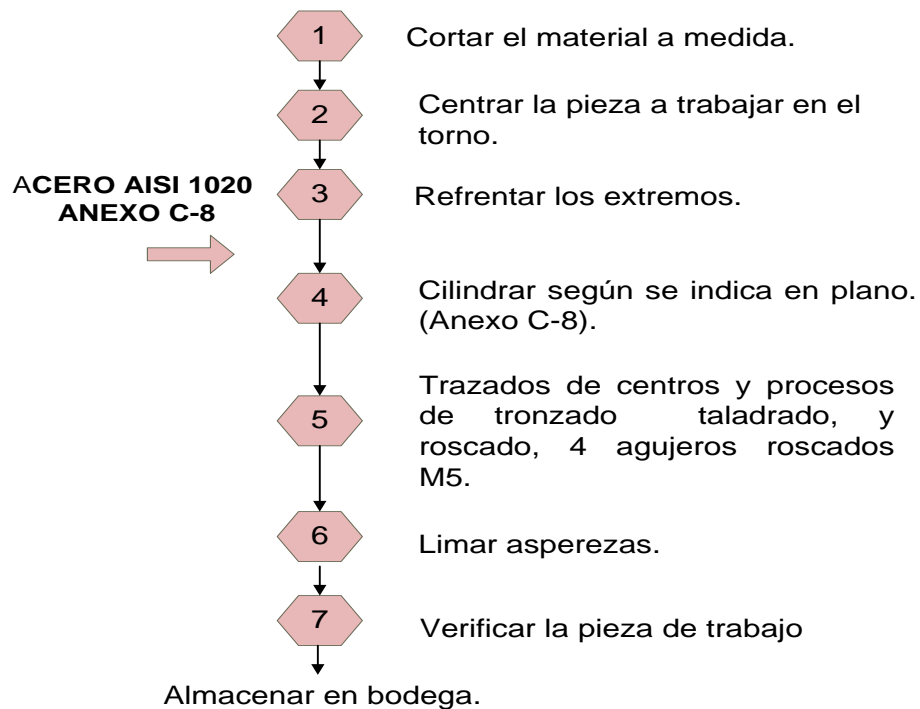


Figura 3. 9: Eje Giratorio.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL EJE GIRATORIO.



3.2.4 EJE PIÑÓN CÓNICO.

La Figura 3.10, se muestra el eje del piñón cónico diseñado y modulado en SolidWorks, en la misma se observa el eje del piñón una vez culminado su mecanizado.

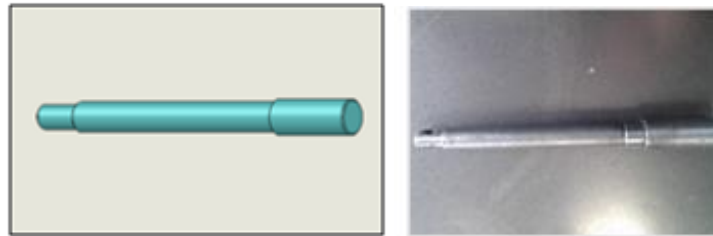
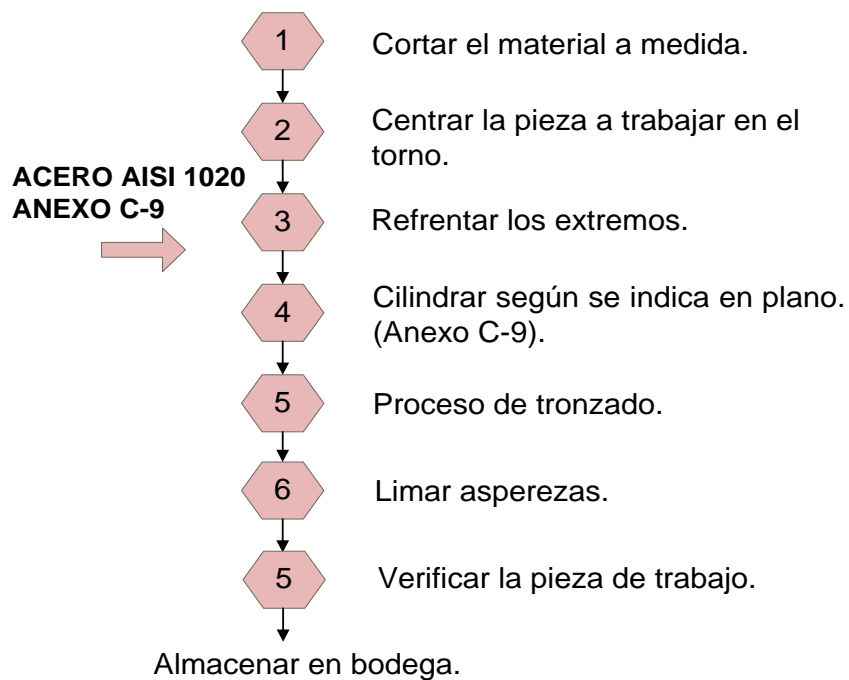


Figura 3. 10: Eje del piñón cónico.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL EJE DEL PIÑÓN CÓNICO.



3.2.5 DISCO GIRATORIO.

La Figura 3.11, muestra el disco giratorio diseñado en SolidWorks así mismo se puede observar el disco giratorio en su aspecto constructivo.

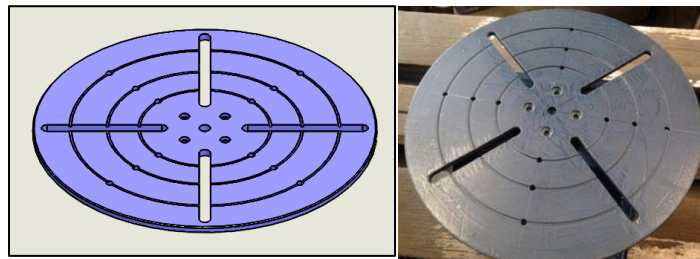
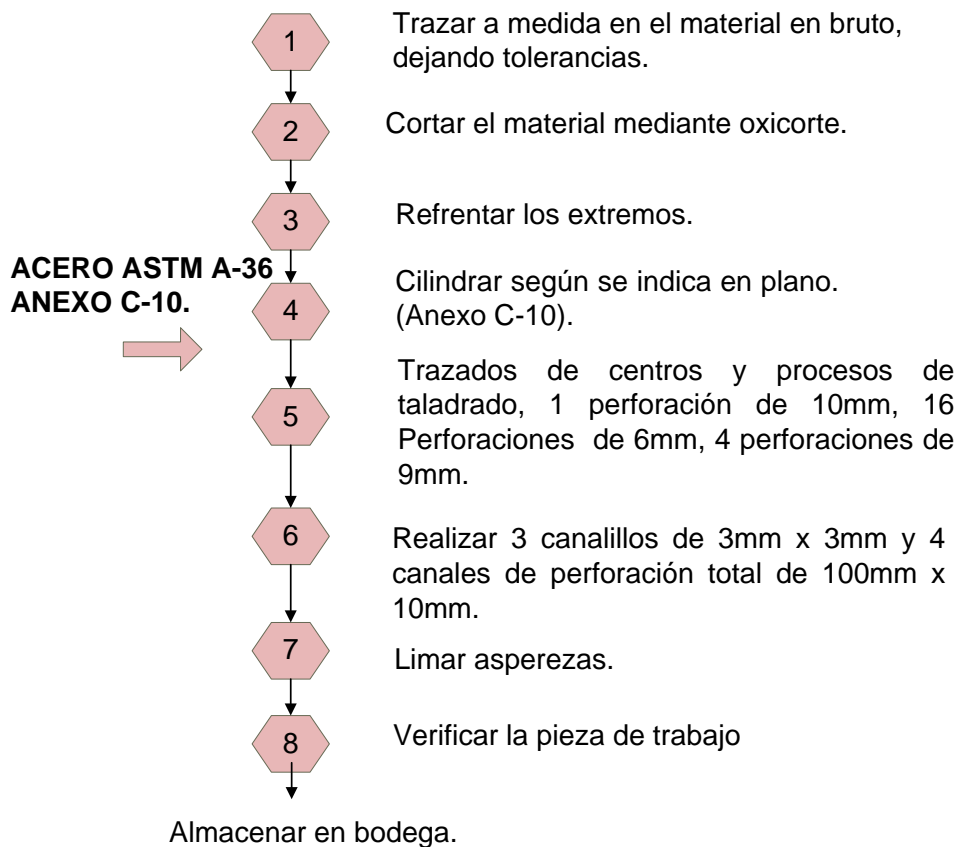


Figura 3. 11: disco Giratorio

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL DISCO GIRATORIO.



3.2.6 SOPORTE DEL DISCO GIRATORIO.

La Figura 3.12, muestra la mesa soporte del disco giratorio en SolidWorks, en la misma Figura se puede observar la mesa soporte construido en su totalidad.

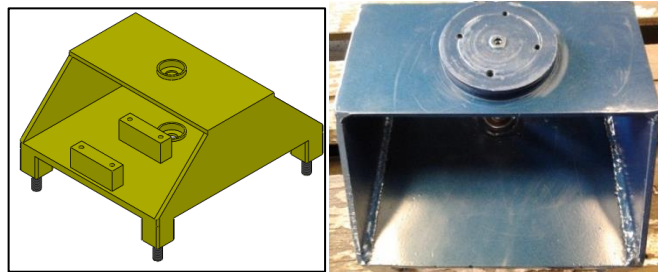
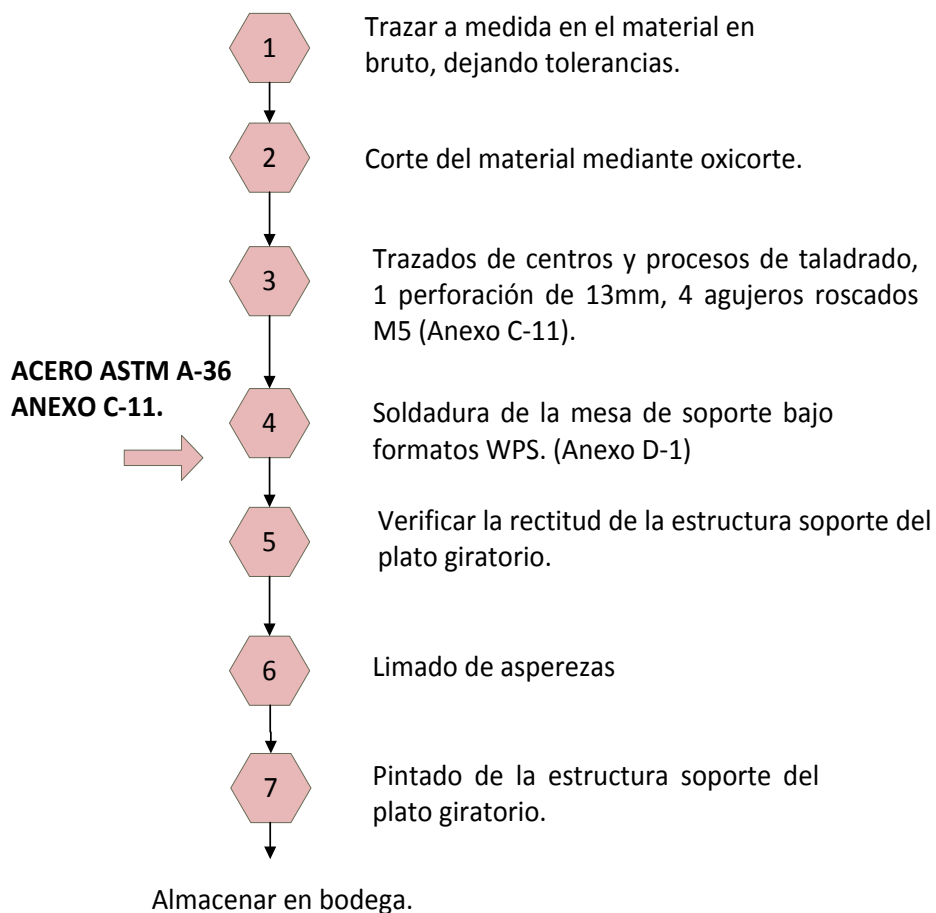


Figura 3. 12: Soporte del DISCO giratorio.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL DISCO GIRATORIO.



3.2.7 ESTRUCTURA DE SOPORTE PRINCIPAL.

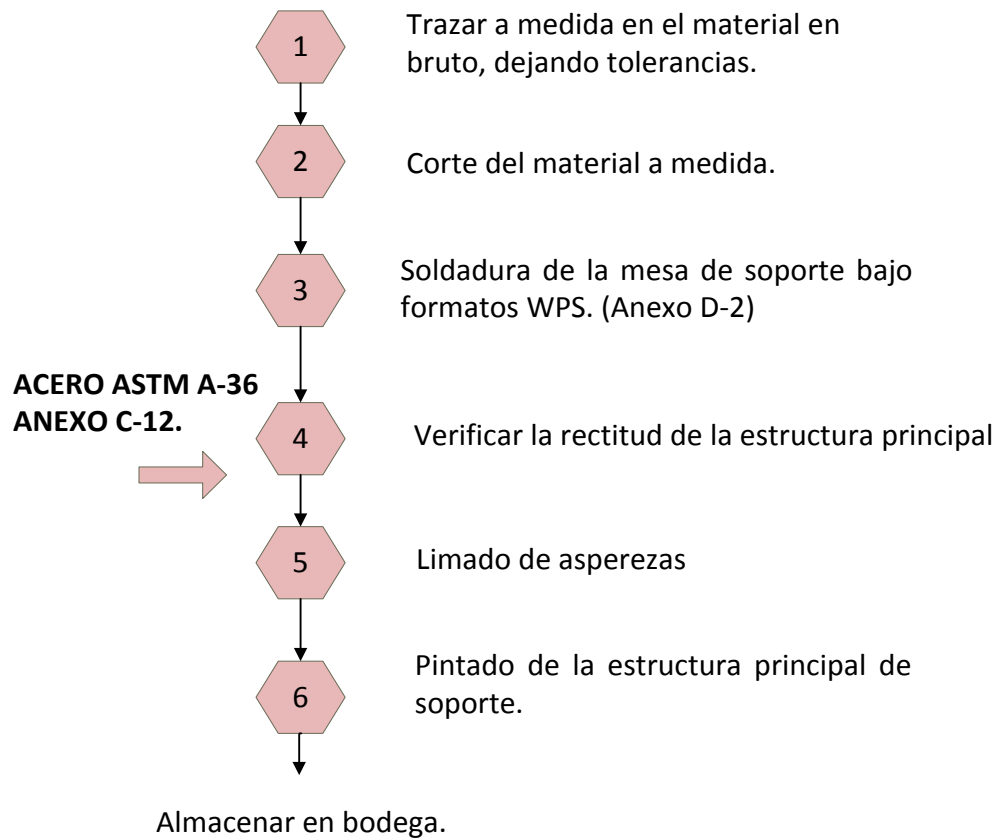
La Figura 3.13, muestra la mesa soporte del disco giratorio en SolidWorks, así mismo se puede observar la mesa soporte en su aspecto constructivo.



Figura 3. 13: Soporte Principal.

Fuente: Investigador.

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE PRINCIPAL.



3.3 COMPONENTES SELECCIONADOS.

Los elementos seleccionados como partes terminadas, se pueden observar en la tabla 3.1

Tabla 3. 1: Elementos adquiridos totalmente terminados.

Núm.	Detalle	Características
1	Servo-motor	SJT-M024C / 220 V / 3A
2	Servo-driver.	DA 98 B-05 / 3~220 V \pm 10%, 50/60 Hz
3	Moto reductor.	CM054 / 50:1, 50/60Hz.
4	PLC.	110-220V AC/50-60Hz/ 14 Input-10 Output
5	Rodamientos.	6000 y 626
6	Chumaceras	de piso y de pared, 10 mm
7	Pernos M12.	25mm.
8	Pernos M5.	5mm
9	Pernos M4.	5mm
10	Sensores Infrarrojo	5Vdc/ 3-80cm rango ajustable.
11	Touch Panel	4.7plg/ 24V dc/ 50/60Hz.
12	Caja de control.	500*480 mm / metal.
13	Relés.	5Vdc y 24Vdc
14	Pulsadores.	110 VAc/ 22mm
15	Breaker	10 A/ 110 V ac
16	Terminales eléctricos.	#16 / #18
17	Cables.	#16 AWG flexible/ 4*16 flexible/ #18 multipunto flexible.
18	Banda. (Construida a medidas especificadas.)	1010 *2.5 mm / caucho, / peso =25 Kg

Fuente: Investigador.

3.4 MONTAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA.

Cuando se ha finalizado la construcción de los elementos mecánicos, se procede a su respectivo montaje, para esto se necesita también los elementos detallados en la tabla anterior.

3.4.1 MONTAJE DEL DISCO GIRATORIO.

En la Figura 3.14 se observa el disco giratorio culminado su montaje, y en la tabla 3.2 se aprecia sus partes.

Tabla 3. 2: Partes constitutivas del disco giratorio.

1	Disco giratorio
2	Soporte del disco.
3	Engrane de 30 dientes
4	Eje vertical.
5	Piñón de 15 dientes
6	Chumaceras de piso.
7	Eje horizontal.
8	Acople.

Fuente: Investigador.

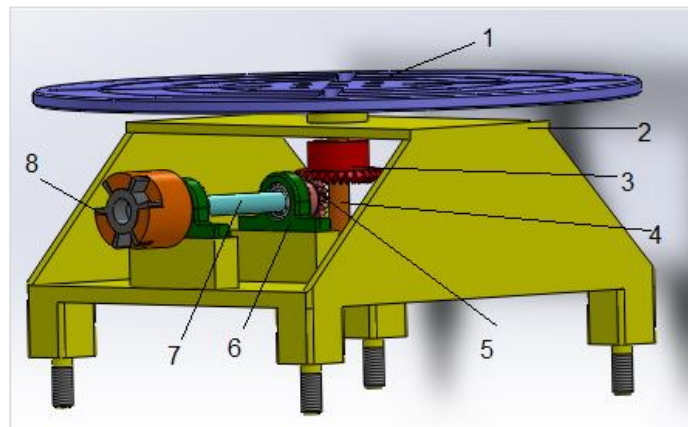


Figura 3. 14: Disco giratorio.

Fuente: Investigador.

3.4.2 MONTAJE DE LA BANDA TRANSPORTADORA.

En la Figura 3.15, se puede observar la banda transportadora totalmente armada, y en la tabla 3.3, se observan sus partes constitutivas.

Tabla 3. 3: Partes constitutivas de la banda.

1	Rodillo tensor.
2	Estructura de la banda
3	Rodillo motriz.
4	Acople.
5	Chumacera de pared.
6	Rodillos medios.
7	Banda. ANEXO C-14
8	Elemento tensor.

Fuente: Investigador.

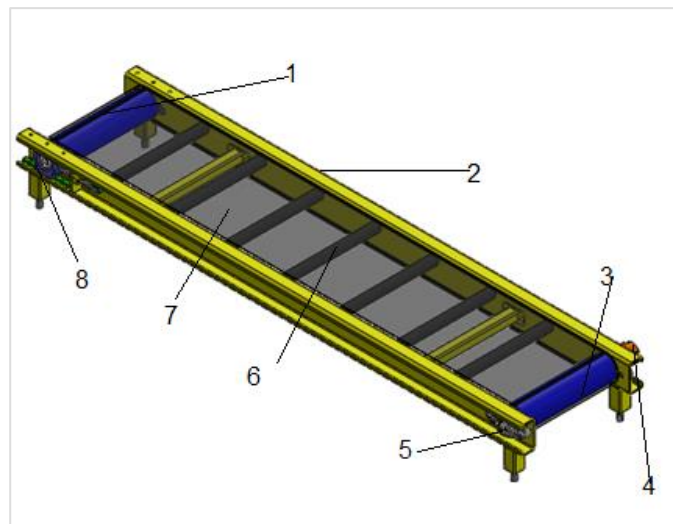


Figura 3. 15: Banda transportadora.

Fuente: Investigador.

3.4.3 MONTAJE DEL SISTEMA TOTALMENTE TERMINADO.

En la Figura 3.16: se observa el sistema de la banda transportadora ubicada en la mesa soporte. Y en la Figura 3.17 se puede apreciar el disco giratorio.

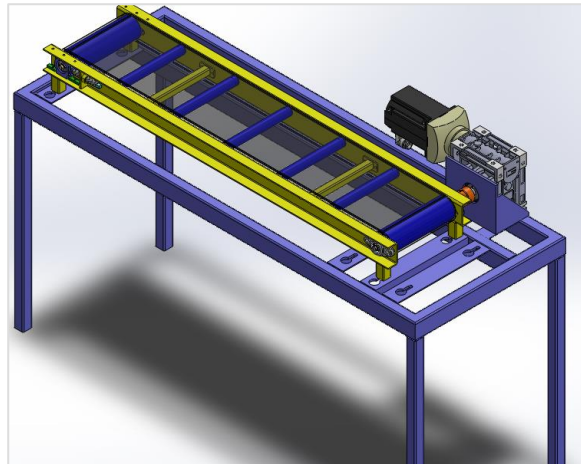


Figura 3. 16: Sistema de la banda transportadora.

Fuente: Investigador.

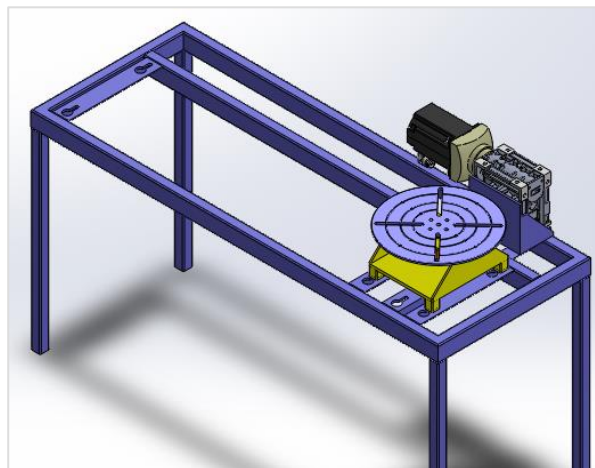


Figura 3. 17: Sistema del disco giratorio.

Fuente: Investigador.

3.5 DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

Para el diseño eléctrico en el capítulo anterior se tomó muy en cuenta los requerimientos necesarios para que la máquina sea de fácil uso, fácil manejo, fácil montaje y cómodo para su trasportación. Se plantean los circuitos de control y potencia, el circuito de control abarca todo lo que se

refiere a controladores como pulsadores, interruptores, luces piloto, etc. El circuito de potencia a todo lo que incluye el grupo que genera movimiento como el servomotor con sus respectivas protecciones.

3.5.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL.

En este caso el servo driver se asimila a un variador de velocidad que lleva acoplado internamente una tarjeta electrónica que en su circuito reemplaza a los potenciómetros para que el control de velocidad sea desde el HMI, en el Anexo E, se muestra el diagrama de conexión de todo el sistema.

Para proteger al PLC se utiliza un fusible de 2 A, como lo recomienda el fabricante, los terminales de alimentación se los conecta entre los terminales de la línea y el neutro.

a) Terminales de conexión del PLC.

En la Figura 3.18, se puede apreciar el diagrama de conexión del PLC, se debe seguir el esquema para obtener un funcionamiento eficaz, se presenta la conexión entre el PLC y algunos elementos que intervienen en el manejo del sistema de control de posición y velocidad.

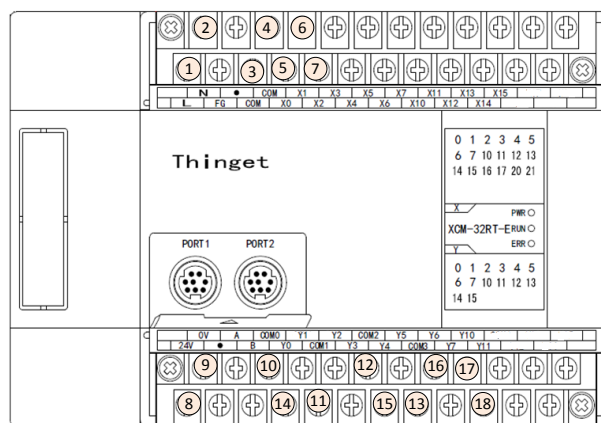


Figura 3. 18: Terminales de conexión del PLC.

Fuente: Investigador.

Tabla 3. 4: Descripción de los terminales del PLC.

NÚM.	DESCRIPCIÓN	NÚM.	DESCRIPCIÓN
1	Línea	10	Terminal Común 0
2	Neutro	11	Terminal Común 1
3	Terminal Común de las Entradas	12	Terminal Común 2
4	Terminal Común de las Entradas	13	Terminal Común 3
5	Sensor #1	14	Señal de Pulsos (-)
6	Sensor #2	15	Señal de Dirección (-)
7	Paro de emergencia	16	Servo ON
8	Terminal de 24V	17	Señalización de paro
9	Terminal de 0V	18	Señalización de ejecución

Fuente: Investigador.

En la Figura 3.19, se muestra la conexión de la fuente del PLC, de idéntica manera indica cómo se debe conectar externamente el PLC, las propiedades de esta fuente se pueden apreciar en la Tabla 3.5:

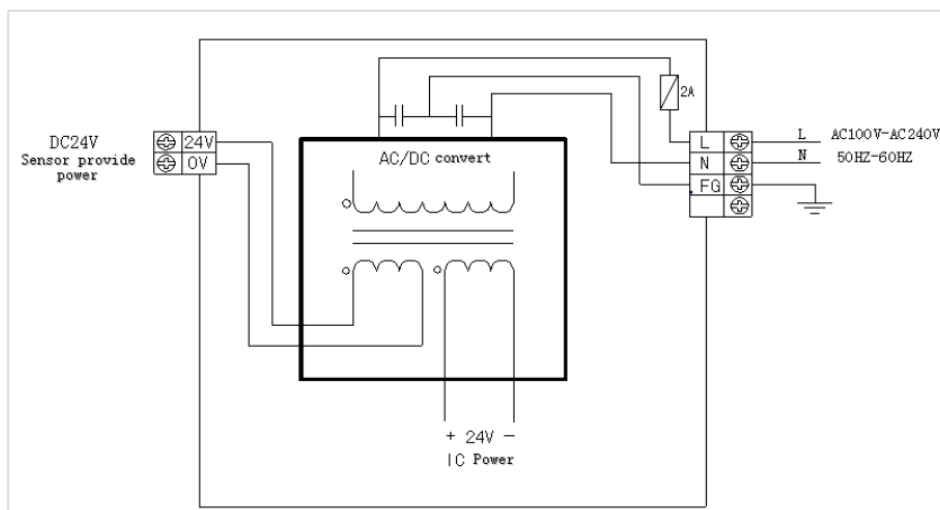


Figura 3. 19: Diagrama de conexión de la fuente de 24 Vdc y del PLC.

Fuente: XCM Motion Controller User Manual. Pág.19

Tabla 3. 5: Propiedades de la fuente de 24 V del PLC.

Modelo	XCM-24T4-C
Tensión nominal	DC 24 V
Rango Permitido de tensión	21.6V-26.4VDC
Corriente de entrada (solo para la unidad básica)	120 mA/ DC 24 V
Consumo máximo de energía	12 W
Alimentación para el sensor	DC 24 V± 10% / Máx.400mA

Fuente: XCM Motion Controller User Manual. Pág.19

3.5.2 MONTAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

Basándonos en los requerimientos generales y específicos del sistema controlador, se puede establecer los elementos el sistema necesita (Tabla 3.6). El tamaño del armario se escoge tomando en cuenta la cantidad de elementos que participan en el sistema a implementar, y las distancias de separación recomendadas. Para este caso se eligió un armario de 48*50 cm, en el cual la disposición de los elementos se puede apreciar en la Figura 3.20

Tabla 3. 6: Componentes del sistema de control.

ÍTEM	DETALLE
1	Servo driver.
2	PLC.
3	Fusibles.
4	Breaker.
5	Borneras para RIEL DIN.
6	Fuente de voltaje de 5 VCC.
7	Relés.
8	Canaletas.
9	Conexión CN1.
10	Conexión CN2.
11	Relés.

Fuente: Investigador.

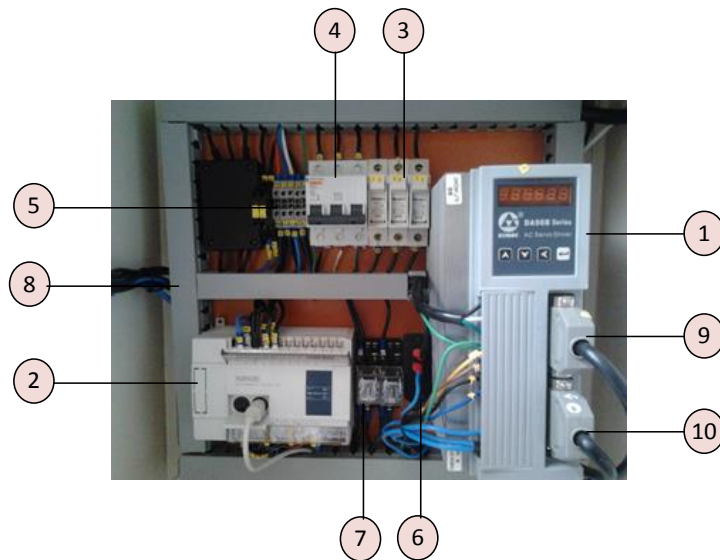


Figura 3. 20: Disposición de los elementos del sistema de control.
Fuente: Investigador.

3.5.3 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES.

El sensor lleva integrado un regulador de ajuste sensitivo; mediante un potenciómetro permite regular la distancia de sensado de 3 a 80 cm.

a. Calibración.

Para el ajuste de estos sensores se deben seguir los siguientes pasos:

- La muestra de material debe colocarse a una distancia dentro del rango de sensado, a la que siempre se va a encontrar la pieza en el proceso.
- Si el sensor no enciende el LED indicador de detección, se debe girar a la derecha el potenciómetro que se encuentra en la parte posterior del sensor (Figura 3.21). En cuanto se encienda el LED se debe detener el movimiento del potenciómetro.



Figura 3. 21: Potenciómetro de calibración del sensor.
Fuente: Investigador.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.

En este capítulo se desarrollara todo lo necesario para la realización del control del sistema. La programación se realizó con Thinget XC Series PLC ProgramTool, que es un software gratuito exclusivo para estos tipos de PLC's.²¹

La función de este software es la edición y modificación del programa, detección de errores, archivamiento de programas y monitoreo en línea de variables. La conexión de la PC al PLC comúnmente se realiza mediante una conexión en serie (generalmente la RS-232 o la RS-422).

La programación del PLC para el control del sistema se lo realizo en dos partes, la primera etapa es para controlar las distintas posiciones y velocidades, y la segunda es la parte de comunicación y ejecución. Los diseños de configuración y programación tanto en el HMI como en el PLC deben funcionar conjuntamente ya que el HMI envía señales al PLC y este las ejecuta de acuerdo al diseño del programa ladder interno del mismo para cumplir con la automatización requerida en la máquina.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE THINGET XC SERIERS PROGRAM TOOL.

El software permite programar PLC's de la serie XC, de la marca XINJE. A continuación se describe la estructura del software, y las funciones de las distintas barras que se encuentran el mismo.

²¹ Software para PLC y HMI Xinje.

4.1.1 Pantalla Principal

En esta pantalla se visualizan todas las herramientas necesarias para la programación del PLC, su entorno se presenta en la Figura 4.1.

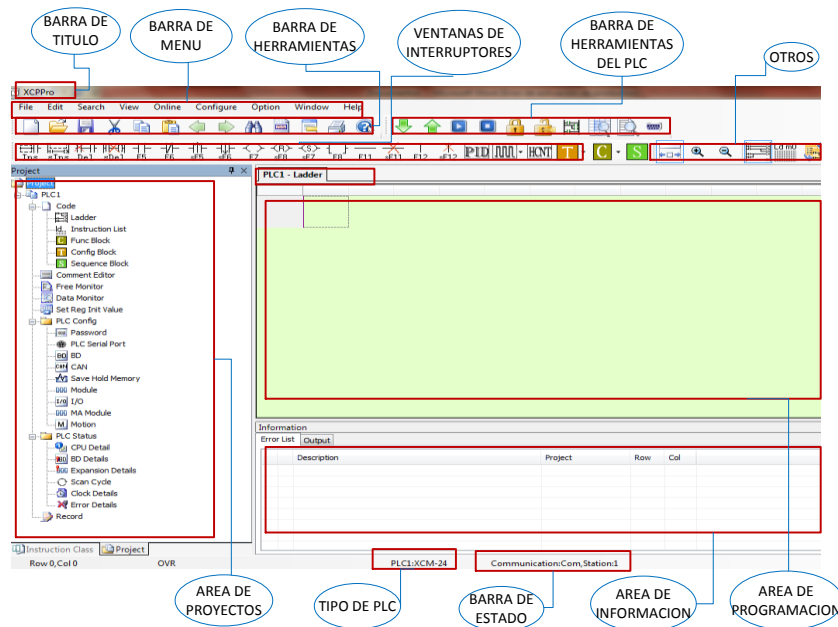









Figura 4. 1: Entorno de la pantalla principal.







Fuente: Investigador.

a. Barra de Herramientas Convencionales.

En esta barra se encuentran los íconos básicos del software, los cuales se muestran en la Tabla 4.1:

Tabla 4. 1: Íconos de la barra de herramientas del software.

Figura	Descripción	Función
	Nuevo	Crea un nuevo programa
	Abrir	Abre un programa guardado
	Guardar	Guarda un programa
	Cortar	Corta las instrucciones seleccionadas
	Copiar	Copia las instrucciones seleccionadas
	Pegar	Pega las instrucciones seleccionadas
	Deshacer	Retorna a una instrucción anterior








	Rehacer	Vuelve una instrucción desecha
	Buscar	Busca una instrucción específica
	Nota	Muestra un modo de comentario
	Ayuda de Herramientas	Abre / Cierra la ayuda de herramientas
	Imprimir	Imprime el archivo actual
	Ayuda	Ayuda sobre el uso del software

Fuente: Investigador.

b. Barra de Herramientas del PLC.

Se muestran ciertas funciones, mediante las cuales se puede manipular datos del PLC, como cargar o descargar el programa, permite también monitorear el proceso de operación del programa, etc. En la Tabla 4.2, se puede observar todas estas funciones.

Tabla 4. 2: Barra de herramientas del PLC.





















Figura	Descripción	Función
	Descargar	Descarga el programa a la memoria del PLC
	Subir	Lee el programa de la memoria del PLC
	Ejecutar	Ejecuta el PLC
	Detener	Detiene el PLC
	Bloquear	Bloquea el programa
	Desbloquear	Desbloquea el programa
	Monitoreo	Supervisa el proceso de operación del programa
	Monitoreo de datos	Supervisa el estado de todos los datos del PLC
	No monitorear	Detiene la supervisión del estado de los datos del PLC.
	Serie del PLC	Configura el puerto de comunicación

Fuente: Investigador.

c. Barra de Instrucciones.

En esta barra se pueden encontrar todas las herramientas necesarias para la edición de un programa, estas instrucciones se muestran en la Tabla 4.3:

Tabla 4. 3: Barra de instrucciones.

Figura	Descripción	Figura	Descripción
	Inserta un nodo		Activa la salida
	Inserta una fila		Otros
	Elimina un nodo		Línea horizontal
	Elimina una fila		Elimina la línea horizontal
	Contacto normalmente abierto		Contacto normalmente cerrado
	Línea vertical		Elimina la línea vertical
	Pulso del flanco ascendente		Configuración de parámetros PID
	Pulso del flanco descendente		Configuración de parámetros de pulsos
	Bobina		Configuración del puerto de alta velocidad
	Resetea la bobina		Configuración G-BOX

Fuente: Investigador.

d. Barra de Menú.

Se encuentran varios menús, los cuales contienen submenús, algunos de estos se indican a continuación:

d.1 Menú Archivo (File).

En este menú se encuentran varios submenús, los cuales se muestran en la Figura 4.2:

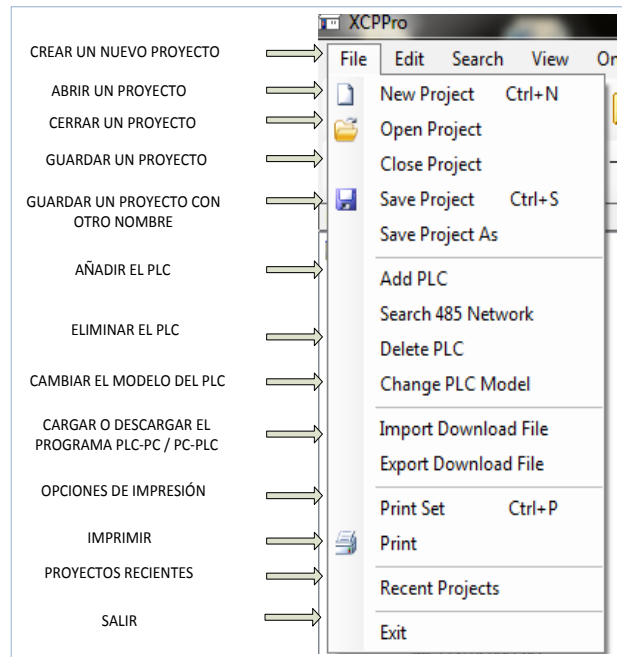


Figura 4. 2: Menú archivo.

Fuente: Investigador

d.2 Menú Editar (Edit).

En la Figura 4.3 se muestra el menú editar con sus respectivos submenús:

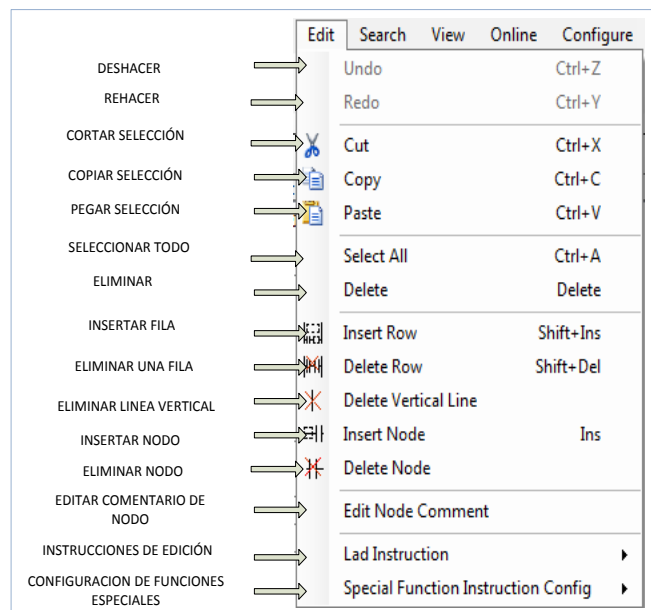


Figura 4. 3: Menú Editar.

Fuente: Investigador.

d.3 Menú en línea (Online).

Este menú es muy importante ya que permite realizar distintas operaciones en línea con el PLC, entre las principales funciones se tienen las siguientes:

- Cargar o descargar el programa o datos, PLC-PC o PC-PLC.
- Iniciar o parar el PLC.
- Reiniciar el PLC si se presenta un error.
- Monitoreo del programa.
- Monitoreo de datos.
- Deshabilitar salidas
- Bloquear o desbloquear el PLC
- **Descarga secreta del Programa:** esta función le permite al usuario proteger sus derechos de autor, ya que al momento de usar este tipo de descarga el programa o datos del PLC nunca podrán ser descargados ni descifrados por el software.

d.4 Menú de configuración del PLC (Configure).

La principal función de este menú es permitir la configuración de comunicación del PLC y los módulos de expansión si este los tiene, en la Figura 4.4, se observa las funciones en su totalidad.

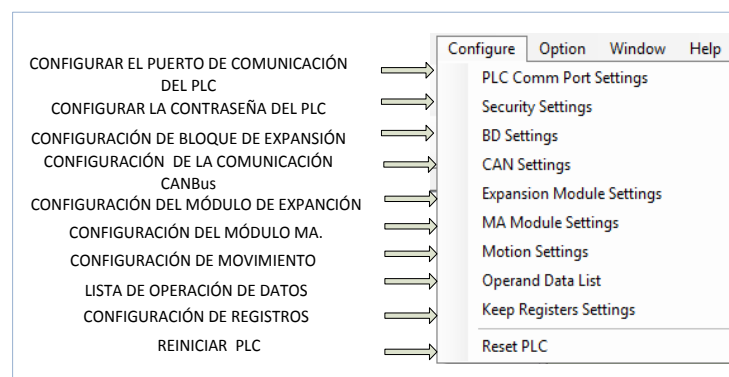


Figura 4. 4: Menú Configurar

Fuente: Investigador.

d.5 Menú de opciones (Option).

Entre las funciones que permite realizar este menú están la configuración del modo de comunicación del PLC, la configuración de la comunicación Ethernet, entre otras; en la Figura 4.5, se pueden apreciar todas estas opciones.

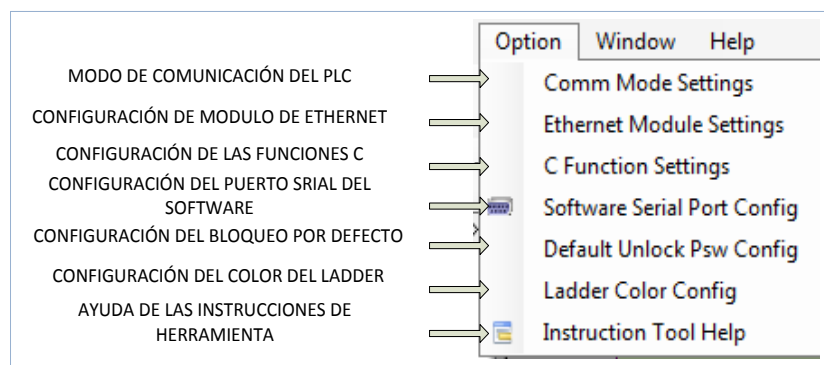


Figura 4. 5: Menú Configurar

Fuente: Investigador.

d.6 Menú Ayuda (Help).

En este menú se encuentra toda la ayuda necesaria a cerca del software, como también la opción de descargar o actualizar la versión del mismo. En la Figura 4.6, se observan las partes que lo conforman.

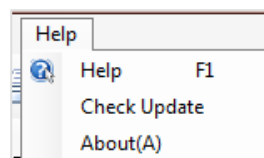


Figura 4. 6: Menú ayuda.

Fuente: Investigador

4.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE TOUCWIN EDIT TOOL.

Con la finalidad de mantener y garantizar la correcta funcionalidad del sistema, se implementa el control mediante una pantalla táctil denominada TH-465, descrita anteriormente, la misma que se la programa con el software conocido como ToucWin Edit Tool, su entorno principal se lo muestra en la Figura 4.7.

Este software también maneja el código G o también conocido como código de programación gráfico manteniendo sus propias librerías en lo que tiene que ver con indicadores, botones o controladores, etc. Si se desea implementar nuevos botones o imágenes muy aparte de las que posee el software, se lo puede hacer fácilmente, solo se debe tomar en cuenta los formatos de imágenes admisibles en el software para que puedan ser incorporados, se presenta como un prototipo libre para cualquier aplicación sin necesidad de licencias, es decir es un software de libre aplicación²².

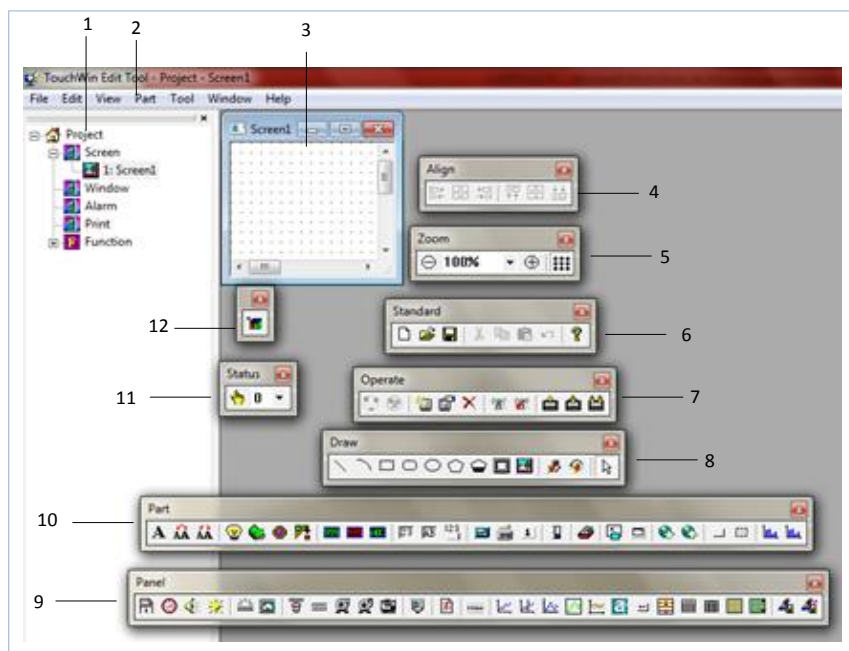


Figura 4.7: Interfaz básica del Software TouchWind Edit Tool.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

En la Tabla 4.4, se detallan los nombres de cada una de las partes que conforman el entorno principal del software TouchWin Edit Tool.

²²Xinje Electronic Co. Ltd.

Tabla 4. 4: Descripción de las barras Software TouchWin Edit Tool

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Director del proyecto
2	Barra de Menús
3	Área de edición SCREEN
4	Barra de alinear
5	Barra de Herramientas de zoom
6	Barra de Herramientas estándar
7	Barra de Herramientas operar
8	Barra de Herramientas graficar
9	Barra de Herramientas panel
10	Barra de Herramientas partes
11	Barra de Herramientas estado
12	Biblioteca

Fuente: Investigador.

Ya que se trata de un programa de gran extensión se presentara únicamente las principales herramientas para poder utilizar, guardar, simular y programar la pantalla TH-465 con este software, en la Figura 4.8, se presenta la barra de herramientas del software TouchWin Edit Tool, esta permite manipular y editar el programa, de igual forma en la Tabla 4.5, se observa algunos iconos con su respectiva descripción, estos serán los que más se utilicen en la edición del programa de control mediante la pantalla táctil.

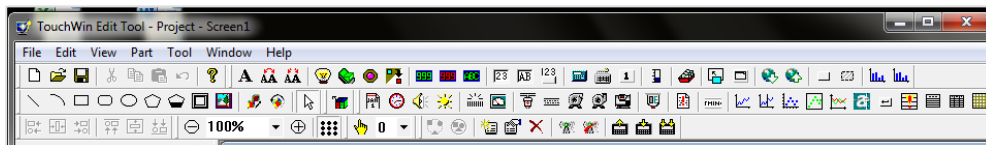
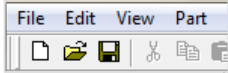
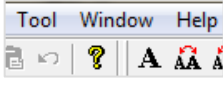




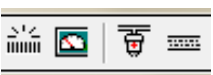
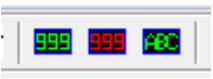






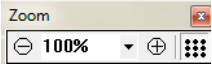
Figura 4. 8: Diagrama de la barra de herramientas del Software.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

Tabla 4. 5: Diagrama de la barra de herramientas del Software.

ICONO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	<p>EDIT</p> <p>FILE</p>	<p>Permite crear, manipular, editar el inicio de un proyecto, como también adecuar la pantalla según la necesidad del programador. El menú ver permite activar o desactivar las barras de</p>

	<p>VIEW PART</p>	<p>herramientas. El menú Partes (Part) se utiliza para editar el proyecto, en éste se encuentran botones, lámparas, pantallas, alarmas, imágenes, tablas entre otras utilidades más.</p>
	<p>Lines</p>	<p>Son formas de figuras establecidas por el programa, estas pueden ser rectángulos, círculos, polígonos o marcos para un diseño de presentación en la pantalla.</p>
	<p>Map</p>	<p>Permite el ingreso de imágenes ya sea a color o blanco y negro que se encuentren bajo el formato .bmp y .jpg</p>
	<p>Move Animal</p>	<p>Permite dar movilidad a un determinado elemento de la pantalla, solo se indica el camino que se desea recorra, se selecciona el elemento y el camino, se hace un grupo de estos dos y el elemento lo seguirá hasta el final del mismo.</p>
	<p>Material Library</p>	<p>Presenta las figuras y modelos propios del programa, los cuales se pueden editar y emplear como indicadores o controles según se necesite.</p>
	<p>Date</p>	<p>Estas herramientas permiten el control y exposición de la fecha, tiempo y alarma en la pantalla.</p>
	<p>Elements</p>	<p>Presentan distintos tipos de indicadores necesarios en el medio industrial entre ellas tenemos válvulas, tuberías, motores, indicadores de nivel, indicadores de alarma mediante texto, los cuales vienen establecidos por el programa y son de gran y fácil utilidad en el desarrollo de un programa.</p>
	<p>Display</p>	<p>Se presentan tres tipos de display, los digitales o numéricos, de alarma y los de texto, estos pueden ser usados cuantas veces sean necesarios y pueden ser manipulados, editados y presentados según lo decida el programador cambiando su color, texto o tamaño.</p>

	Lamp	Elemento indicador que generalmente se usa para identificar pantallas o cambios de acción de elementos.
	Button	Elemento de control para dar paso o detener una determinada acción que se esté dando, en el programa se puede editar y modificar.
	LampButton	Elemento indicador de una acción o inicio de trabajo, se puede editar tamaño, color y si se desea incluir texto.
	ScreenJump	Permite mediante la acción de un determinado control ir alternando pantallas que se hallan programando o diseñando para el programa.
	Zoom	Para poder manipular el zoom de la pantalla a trabajar, es muy importante recordar que el área útil de trabajo presente en el programa depende específicamente del modelo de la pantalla que se va a programar.

Fuente: Investigador.

4.3 PROGRAMACIÓN DEL SERVO DRIVER.

Este dispositivo se asimila a un amplificador de señal, el cual interpreta las señales de un transductor rotativo (encoder), que está integrado al servo motor, el cuál controla la posición, sentido de giro y velocidad del mismo.

El funcionamiento para el control del servo driver y por ende del servo motor, trata de que el servo driver reciba señales de pulsos por medio de un controlador lógico programable (PLC), controladores numéricos o interfaces computacionales que permiten generar trenes de pulsos, en donde el control de velocidad y posición, está dado por las siguientes consideraciones:

a. Control de velocidad.

El control de velocidad se lo realiza mediante la frecuencia de pulsos que se envían desde el controlador.

b. Control de posición.

El control de posición está directamente relacionado con el número de pulsos que se envían desde el controlador al servo driver, con determinada frecuencia.

4.3.1 Establecimiento de parámetros y visualización de variables.

Los parámetros básicos de programación del servo driver para el control de velocidad y posición se describen en la Tabla 4.6 y 4.7 respectivamente:

Tabla 4. 6: Parámetros de ajuste para el lazo del control de velocidad.

ÍTEM	Descripción	Valor Recomendado
PA05	Ganancia proporcional de velocidad (Kp).	100
PA06	Tiempo constante de integración de la velocidad.	6
PA07	Filtro de instrucción del torque.	500
PA08	Filtro pasa bajo constante de detención de velocidad.	200
PA23	Límite de velocidad máxima.	2500rpm

Tabla 4. 7: Parámetros de ajuste para el lazo del control de posición.

ÍTEM	Descripción	Valor Recomendado
PA09	Ganancia proporcional del lazo de orientación.	20
PA10	Ganancia de orientación	0
PA11	Instrucción de ganancia del filtro de frecuencia.	300

En el sistema es de primordial importancia acceder a los valores de velocidad, torque, corriente, entre otros. El servo driver almacena dichos parámetros en registros a los cuales se los puede acceder directamente en

el selector digital del mismo, para lo cual se debe seleccionar el parámetro **dsp-** , mediante los botones de avance o retroceso (▲, ▼), puede observar parámetros como los mencionados anteriormente.

4.4 DISEÑO DEL SOFTWARE DEL HMI Y DEL PLC.

Al programar un PLC se necesita una interfaz entre el operador y el PLC para introducir en la memoria de usuario el programa con las instrucciones que definen las secuencias de control. Esta interfaz se lleva a cabo a través de un software instalado en un computador, dependiendo del tipo de PLC, el equipo de programación produce unos códigos de instrucción directamente ejecutables por el procesador o bien un código intermedio, que es interpretado por un programa residente en el procesador.

Es así como se procede con el diseño de la programación para el control de velocidad y posición del sistema, se lo realiza en forma de Ladder o escalera en el software del PLC, y de forma gráfica en el software de la pantalla táctil, tomando en cuenta las direcciones a las cuales corresponden cada uno de los elementos.

4.4.1 DISEÑO DE PROGRAMACIÓN EN EL SOFTWARE DEL PLC (XC Series Program Tool).

Después de instalado el programa se procede a abrirlo, dando doble clic en el ícono que se crea en el escritorio con el nombre de XC Series Program Tool (Figura 4.9), se despliega una ventana como la que se muestra en la Figura 4.10.

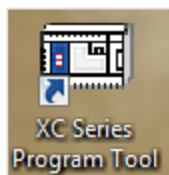


Figura 4. 9: Icono del software del PLC.

Fuente: Investigador.

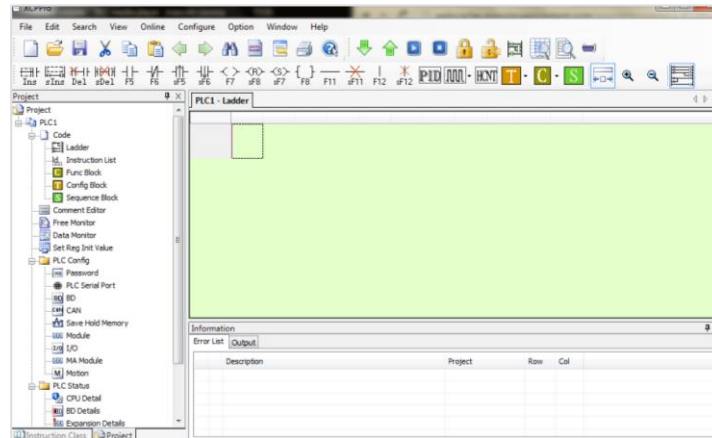


Figura 4. 10: Ventana principal del software.

Fuente: Software XC Series Program Tool.

En esta pantalla es necesario configurar el software de acuerdo al PLC que se esté empleando en el presente caso es el XCM-24, para lograr esto en la ventana descrita en la Figura anterior se aprecia la barra FILE, se elige NEW PROYECT, se despliega la ventana que se describe en la Figura 4.11. Se observa que cuenta con un fondo gris y un recuadro blanco con el nombre SELEC PLC MODEL, aquí se presentan todos los modelos de PLC's de la marca Thinget, y se elige el modelo XCM-24 se despliega la ventana de la Figura 4.12, con la diferencia que en este caso cumple con las características del PLC utilizado para la automatización de la máquina.

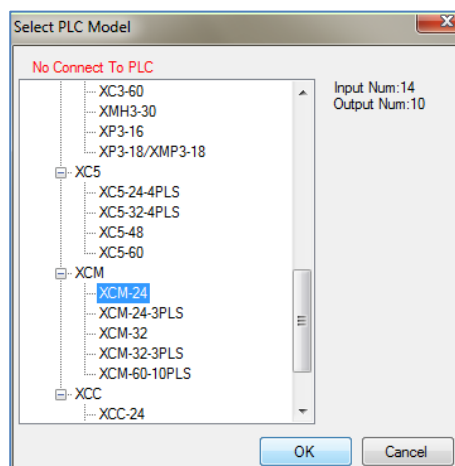


Figura 4. 11: Software de programación, selección del modelo del PLC.

Fuente: Software XC Series Program Tool.

Para la programación se emplea símbolos gráficos en tipo chart los cuales se detalló anteriormente en la Tabla 4.3.

Se inicia la programación; en lenguaje ladder o escalera, el programa del PLC debe tener secuencia con el HMI y con las entradas externas como pulsadores, sensores etc. Para que el momento de poner en marcha la máquina la automatización sea unificada y poder controlarla de acuerdo a los parámetros requeridos para el control de posición y velocidad.

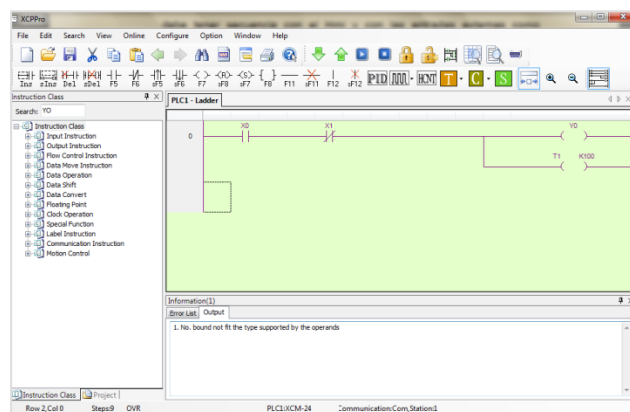


Figura 4. 12: Programación del PLC.

Fuente: Software XC Series Program Tool.

Para poder llamar a los elementos que se necesitan en el programa se lo puede realizar de acuerdo a los comandos que se mostraron anteriormente en la Tabla 4.3, por ejemplo para insertar un contacto normalmente abierto, se lo hace presionando la tecla F5. Con lo que aparecerá el contacto en el área de edición del programa tal como se muestra en la Figura 4.13.

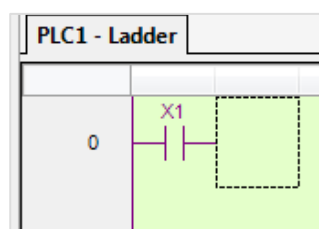


Figura 4. 13: Forma de ingresar los comandos


Fuente: Software XC Series Program Tool.

Un PLC se encuentra conformado por una infinidad de componentes tales como contactos, relés, temporizadores, etc. Estos elementos se detallan en la Tabla 4.8.

Tabla 4. 8: Componentes del PLC XCM-24T4-C.

ÍTEM	Nombre	Rango	Puntos
Puntos I/O	Entradas	X000-X013	14
	Salidas	Y000-Y009	10
M	Relé Interno	M0-M2999 (M3000-M7999)	8000
		Uso especial M8000-M8767	768
S	Relé de estado	S0-S511 (S512-S1023)	1024
T	Temporizador	T0-T99 : 100ms no acumulables	640
		T100-T199 : 100ms acumulables	
		T200-T299 : 10ms no acumulables	
		T300-T399 : 10ms acumulables	
		T400-T499 : 1ms no acumulables	
		T500-T599 : 1ms acumulables	
		T600-T699 : con tiempo preciso de interrupción	
C	Contador	C0-C299 : 16 bits contador +/-	640
		C300-C599 : 32 bits contador +/-	
		C600-C639: contador de alta velocidad.	
D	Registro de datos	D0-D2999 (D4000-D4999)	4000
		Uso especial D8000-D9023	1024
FD	Registro FlashROM	FD0-FD63	64
		Uso especial FD8000-FD8349, FD8890-FD8999	460
ED	Registro de expansión interna	ED0-ED36863	36864

Fuente: Investigador.

Ahora se va a colocar una señal de salida al PLC. Se selecciona bobina  de la barra de instrucciones y en el área de edición se coloca el nombre de la salida que se desea activar, que en este caso es Y0, como se muestra en la Figura 4.14.

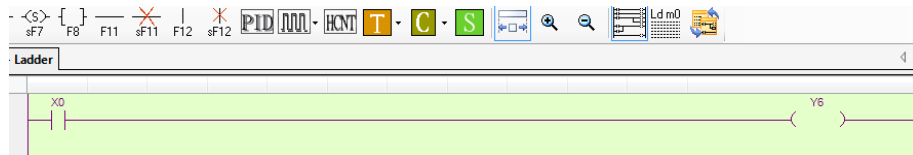


Figura 4. 14: Activación de una salida.

Fuente: Software XC Series Program Tool

Con esta línea de programación se logra activar una salida del PLC (Y6), en respuesta a una entrada del mismo (X0). De esta manera se ingresa todos los elementos que se muestra en la Figura 4.15.

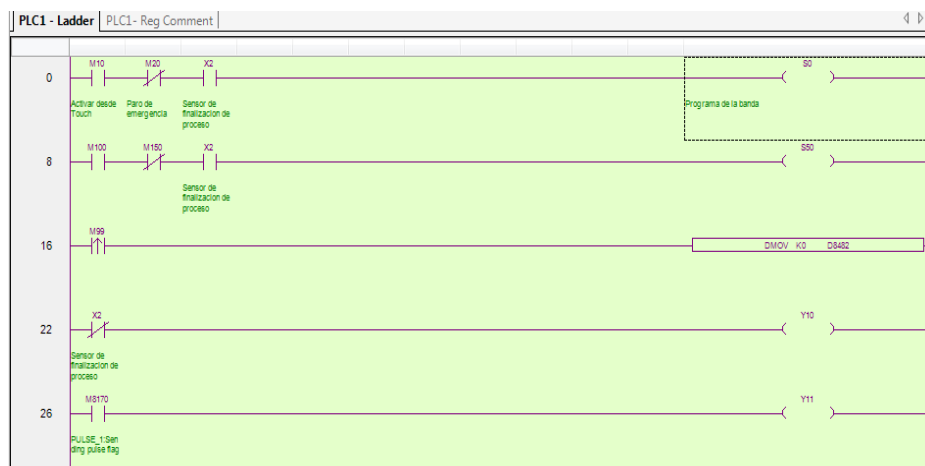


Figura 4. 15: Líneas de programación.


Fuente: Software XC Series ProgramTool

Toda la programación del sistema de control de velocidad y posición se encuentra en los Anexos desde H-1 hasta H-8.


Si se programa en Lista de Instrucciones, en el Anexo H-9 hasta H-14, se indica los códigos que se deben introducir en el programa.

a. Descarga del programa al PLC.

Cuando se haya finalizado con la programación del disco y la banda transportadora, se procede a descargar al PLC.

Entonces, se utiliza el ícono Download  de la barra de herramientas del PLC, aparecerá una ventana de descarga, de esta ventana solo se debe esperar que se descargue por completo, el tiempo dependerá del número de líneas de programación. De esta manera ya se tiene el programa en el PLC para su funcionamiento.

b. Arranque del PLC.

Ya concluido el paso anterior, solo se debe poner en funcionamiento el PLC, dando clic en el ícono Run  de la barra de herramientas del PLC, se activa y entrará en funcionamiento, se debe tomar en cuenta que cuando el PLC ya no está conectado al Software, éste arranca automáticamente cuando se energiza. Con estos pasos se ha concluido con la programación total del PLC y la configuración del mismo.

4.4.2 DISEÑO DE CONFIGURACIÓN EN EL SOFTWARE DEL HMI.

Cada parámetro de selección desplegado en la pantalla del HMI tiene una memoria interna que actúa como un relé que se lo puede configurar en el HMI ya sea para un enclavamiento permanente o temporal y actúa directamente sobre el PLC como un relé externo, también existe la opción de configurar el HMI para que la selección actúe solo para cambiar de página en lugar de actuar como relé pero jamás las dos cosas al mismo tiempo.

Una vez instalado el programa se procede a abrir el mismo dando doble clic en el ícono que se crea en el escritorio con el nombre de TouchWin Edit Tool, Figura 4.16:



Figura 4. 16: Ícono de ingreso al Hmi

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

En la pantalla de programación es necesario configurar el software de acuerdo a la pantalla que se está utilizando, en este caso es la TH-465, como se observa en la Figura 4.17:

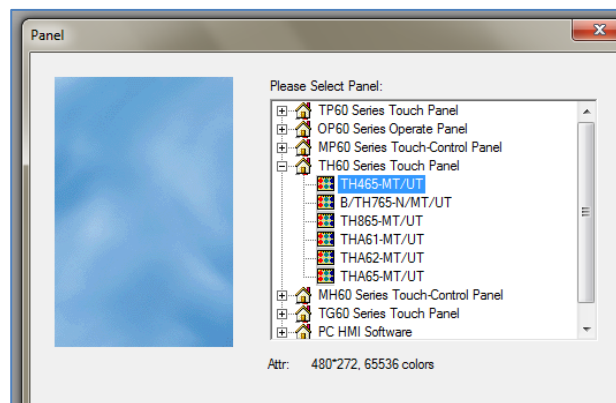


Figura 4. 17: Selección del modelo de la pantalla.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

Seguidamente se escoge el tipo de PLC que se está ocupando, en este caso se selecciona Thinget XC Series; luego se designa el tipo de comunicación a emplear que es la Thinget XC series, como se observa en la Figura 4.18:

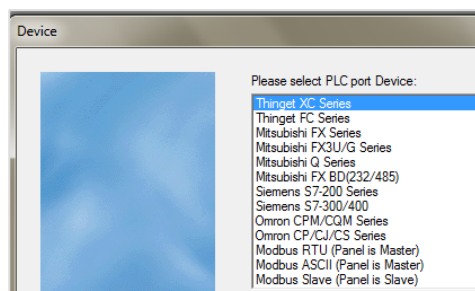


Figura 4. 18: Selección de la marca del PLC.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

Finalmente se despliega otra ventana en la cual se escriben datos del proyecto como son el nombre del proyecto y el autor, como se puede apreciar en la Figura 4.19:

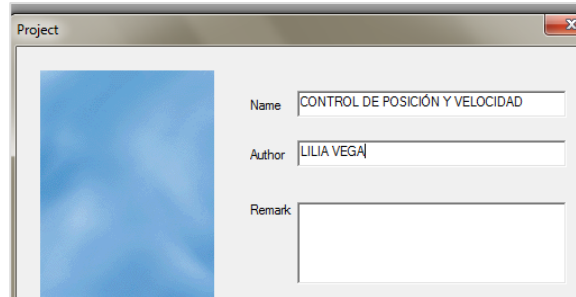


Figura 4. 19: Datos del proyecto.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

Luego de este proceso de selección se despliega la ventana principal del software TouchWin Edit Tool. Figura 4.20:

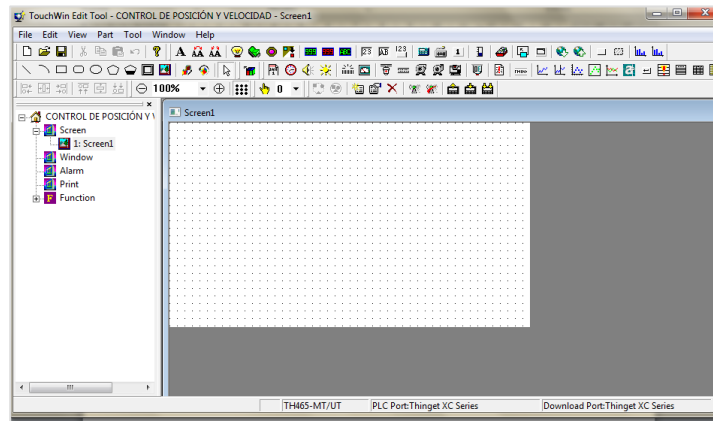


Figura 4.20: Ventana principal del software TouchWin Edit Tool.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

Antes de empezar con la programación es necesario guardar el proyecto en una carpeta donde se crea conveniente. Para dar inicio con la edición del programa se lo puede realizar a través de áreas de trabajo (screens), o por medio de ventanas (Windows).

Para insertar un screen se da clic derecho sobre la palabra screen en la barra del proyecto general 1, y se crea otro screen, al cual se le otorga un número de identificación ID y un nombre (Figura 4.21), y así se lo puede

repetir las veces que sea necesarias, se puede editar el nombre según lo desee el usuario.

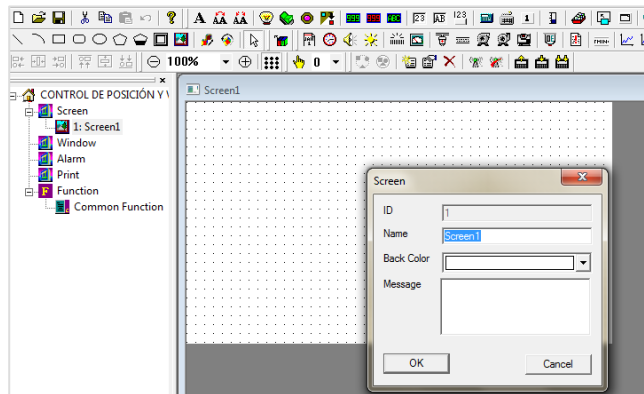


Figura 4. 21: Creación de screens.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

Ya establecidas las áreas de trabajo necesarias se procede a realizar la codificación del entorno visual, que se desea apreciar en el control del sistema para local es necesario conocer algunas herramientas útiles que se las describió anteriormente en la Tabla 4.5.

Cada vez que se ocupa un elemento descrito en la Tabla 4.5, aparece una nueva ventana en la que se tiene que elegir o ingresar a que variable corresponde, por ejemplo asignar alguna marca, entrada, salida o bien alguna función especial, así mismo se debe describir la asignación del puerto. (Figura 4.22).

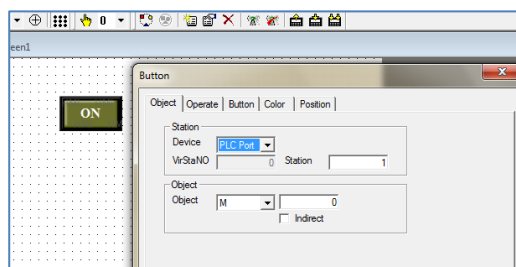


Figura 4. 22: Asignación de variables a los elementos.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

Algunas funciones especiales como la función FUNTION tienen ciertas características, en esta se establece la operación que va a seguir y cumplir

estrictamente, es decir se selecciona la función RELEASED, a continuación la operación SCREEN JUMP y luego se designa a que SCREEN se quiere llamar y de esta forma se puede abrir un SCREEN por medio de un botón que tiene otro SCREEN diferente, (Figura 4.23).

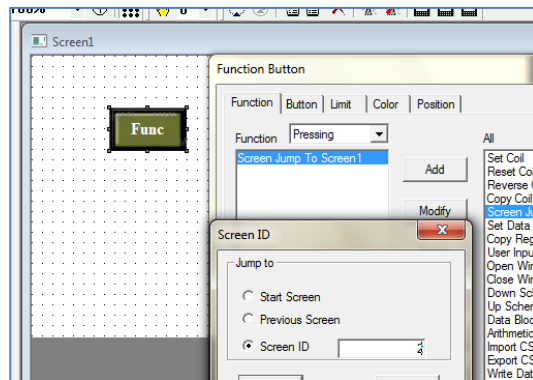


Figura 4. 23: Asignación de parámetros a un botón Funtion.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

En el control se va a insertar cuatro pantallas y cuatro ventanas de alerta, en las propiedades de cada una de éstas se cambian los nombres como se muestra en la Figura 4.24.

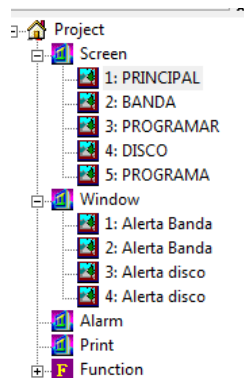



Figura 4. 24: Pantallas y ventanas del HMI.

Fuente: Investigador.

Se selecciona la pantalla principal, se da clic en Function Button (), el cual está ubicado en la barra de herramientas, se lo ubica en la zona de trabajo, seguidamente se abrirá una ventana en donde se configurará el botón.

Se presentan las siguientes opciones:

- Released.
- Pressed.
- Releasing.
- Pressing.

A continuación se selecciona la opción Pressing, ya que este permite ejecutar la acción sin necesidad de tenerlo presionado por un determinado tiempo (Figura 4.25),

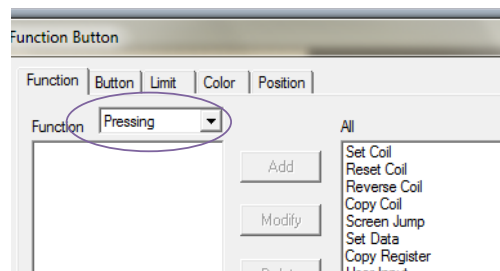


Figura 4. 25: Propiedades de botón.

Fuente: Investigador.

Este botón es muy útil ya que permite controlar varias opciones desde el mismo, de la parte derecha (Figura 4.26), se selecciona el parámetro que se desee controlar, por ejemplo:

- Controlar bobinas.
- Controlar o llamar otro screen.
- Cerrar ventanas.
- Abrir ventanas, entre otras.

En este caso se selecciona Set Coil (establecer bobina "1"), se da clic en añadir (Add"2") se despliega otra ventana (function-set coil), se escoge la función que actuara directamente en el PLC ("M", es un relé interno del PLC "3"). Finalmente se asigna el número mediante el cual se diferencia uno de otro "4", en este caso con el número 100.

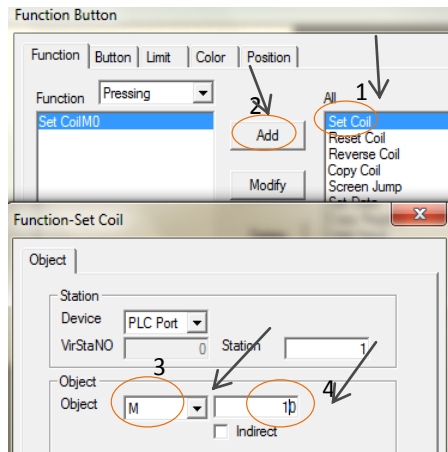


Figura 4. 26: Configuración de las variables.

Fuente: Investigador.

En la tabla 4.9 se observa las direcciones que se aplican para la comunicación entre el PLC y el touch panel.

Tabla 4. 9: Parámetros de programación del PLC-panel touch.

Programación del PLC.	Programación Touch panel.	Descripción
M10	Set CoilM10	Seleccionar banda
M100	Set CoilM100	Seleccionar disco
FD 8908	FD8908 (DWord)	Registro de velocidad
D5	D5 (DWord)	Insertar posición de la banda
D 4000	D 4000 (Word)	Número de programas de la banda
D30	D30 (Word)	Visualizar la posición actual (cm)
T2	D4001 (Word)	Tiempo de pausa
M0	Set CoilM0	Borrar la programación de la banda
M1	Set CoilM1	Programar
M2	M2	Guardar las posiciones
M3	Set CoilM3	Finalizar la programación la programación
M4	M4	Ejecutar Banda
M10	Reset CoilM10	Detener banda
M100	Reset CoilM100	Detener Disco
M101	M101	Borrar la programación del disco
M102	M102	Programar hacia la derecha
M103	M103	Programar hacia la izquierda

M104	M104	Guardar los grados programados
M105	M105	Finalizar la programación
M106	M106	Ejecutar disco
D4300	D4300 (Word)	Número de posiciones
D501	D501 (DWord)	Posición actual en grados
T0	D4301 (Word)	Tiempo de pausa

Fuente: Investigador.

Para elegir el aspecto del botón, se da clic en la pestaña llamada Botón (Button), y aparece una ventana como se muestra en la Figura 4.27.

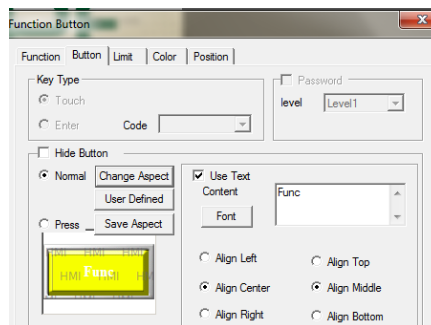


Figura 4. 27: Aspecto del Botón.

Fuente: Investigador.

Luego se da clic en cambiar aspecto (Change Aspect), y se despliega una nueva ventana (Figura 4.28), con varios modelos y colores de botones para elegir según desee el usuario.

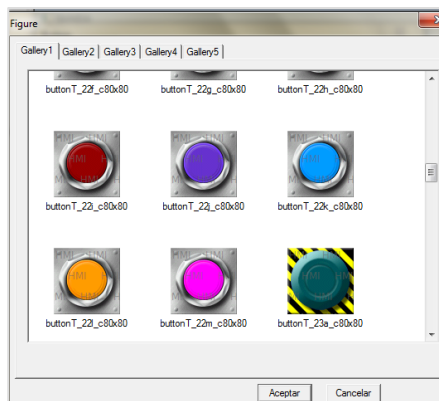


Figura 4. 28: Tipos de Botones.

Fuente: Investigador.

Finalmente una vez seleccionado el tipo de botón a utilizar, se da clic en aceptar, se ubica el botón en la posición deseada y se finaliza la programación de un botón. Para la programación de los demás elementos que se utilizaran en el programa de control, se los programa de idéntica manera, también permite insertar textos, marcos, alarmas, lámparas, imágenes, pantallas digitales, etc. Como se muestra en la Figura 4.29.

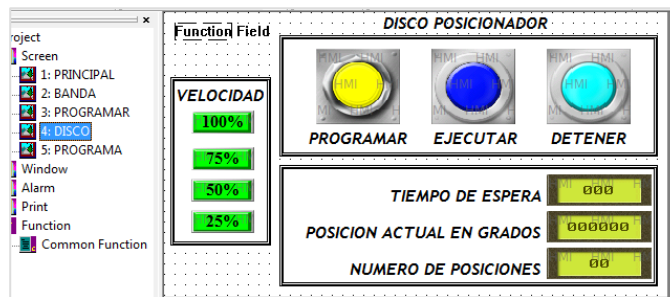


Figura 4. 29: Pantalla principal.

Fuente: Investigador.

Para cargar el programa a la pantalla TH-465, se necesita un cable USB como el que se indica en la Figura 4.30, con lo que se garantiza tener una comunicación óptima, en el caso de que al conectar la pantalla al computador el programa no la detecte automáticamente, se puede configurar los puertos COM a través de la barra herramientas (TOOL) eligiendo OPTION y estableciendo el puerto COM correcto, como se aprecia en la Figura 4.31.



Figura 4. 30: Cable USB que se utiliza para cargar el programa

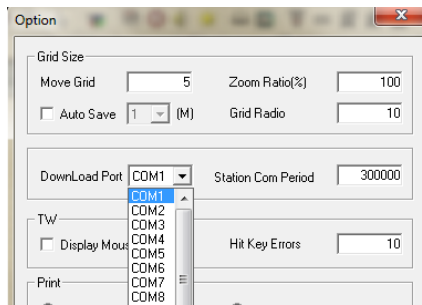


Figura 4. 31: Configuración del puerto de comunicación.

Fuente: Software TouchWin Edit Tool.

4.5 PASOS PARA PROGRAMAR EL DISCO POSICIONADOR Y LA BANDA TRANSPORTADORA.

4.5.1 Operación del touch panel para la programación del disco posicionador.

Para operar el disco posicionador primero se energizara el sistema, al instante aparece en el Touch Panel la pantalla principal la misma que se puede observar en la Figura 4.32. En esta pantalla se debe seleccionar la opción a programar en este caso DISCO.



Figura 4. 32: Pantalla principal.

Fuente: Investigador.

Al presionar el botón DISCO aparece una nueva pantalla (Figura 4.33), la cual permite seleccionar la velocidad, éstos están designados con el 100%, 75%, 50% y 25%; siendo el 100% la máxima velocidad a la que trabaja y el 25% la mínima, a la vez permite la visualización de la posición actual en

grados cuando se está ejecutando la aplicación. Seguidamente se presiona el botón PROGRAMAR.

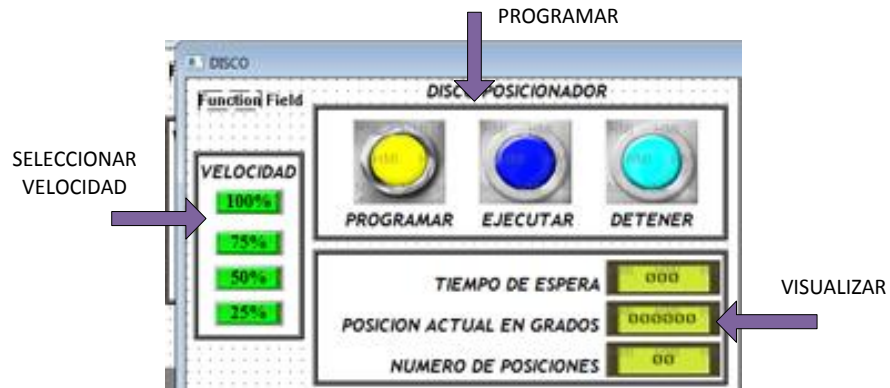


Figura 4. 33: Pantalla de funciones del disco posicionador.

Fuente: Investigador.

Al presionar el botón PROGRAMAR, se traslada a una ventaba de alerta, esta ventana le pregunta al operador si desea programar otras posiciones es decir reiniciar la programación para ejecutar una aplicación distinta (Figura 4.34).

- Si el operador selecciona NO, se trasladara a la ventana de funciones (Figura 4.33), y se ejecuta el programa anteriormente seleccionado.

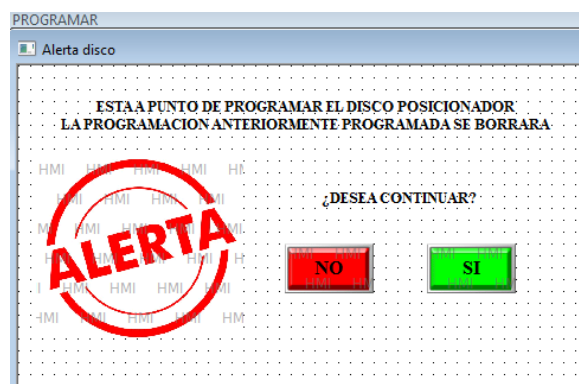


Figura 4. 34: Ventana de alerta de programación del disco

Fuente: Investigador.

En esta pantalla el operador puede ubicarse en los grados que desee mediante las flechas IZQUIERDA. DERECHA, guarda la posición seleccionada y continua con las demás programaciones, también ingresa el tiempo de pausa entre las posiciones dadas.

- Si el operador presiona SI, se borrarán todos los datos ingresados anteriormente y se trasladará a la ventana de programación (Figura 4.35), para proceder a insertar nuevas posiciones.

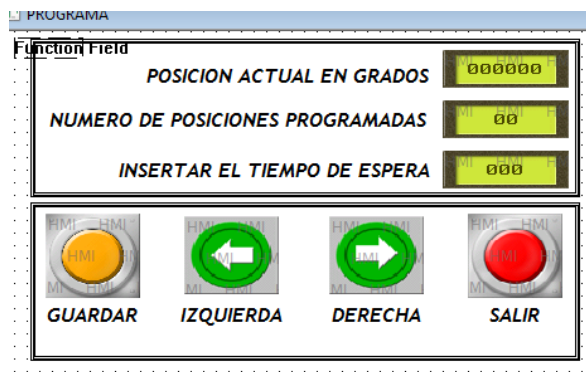


Figura 4. 35: Pantalla de programación del disco posicionador.

Fuente: Investigador.

Ya culminada la programación se presiona el botón SALIR, se despliega una ventana de alerta de fin de programación la cual pregunta si no necesita seleccionar más posiciones (Figura 4.36)

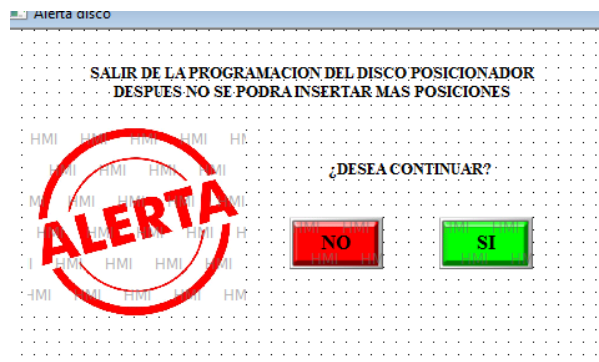


Figura 4. 36: Ventana de alerta de fin de programación del disco.

Fuente: Investigador.

- Si el operador presiona NO, se regresará a la pantalla de programación (Figura 4.35) para seguir seleccionando más posiciones.

- Si el operador presiona SI, se traslada a la pantalla de funciones (Figura 4.33), en la cual se presionara el botón EJECUTAR para que se inicie el proceso de control.

Si desea regresar a programar nuevamente debe presionar el botón DETENER, de esta manera se regresa a la pantalla principal en donde puede seleccionar la BANDA o el DISCO.

4.5.2 Operación del touch panel para la programación de la banda transportadora.

El usuario debe seleccionar BANDA, en la pantalla principal (Figura 4.32). Se despliega la pantalla de funciones de la banda. En esta se puede seleccionar la velocidad a la cual se requiere trabajar éstos valores están designados con el 100%, 75%, 50% y 25%; siendo el 100% la máxima velocidad a la que trabaja y el 25% la mínima, también se puede visualizar la posición actual en cm cuando se está ejecutando el programa y el tiempo de pausa (Figura 4.37).

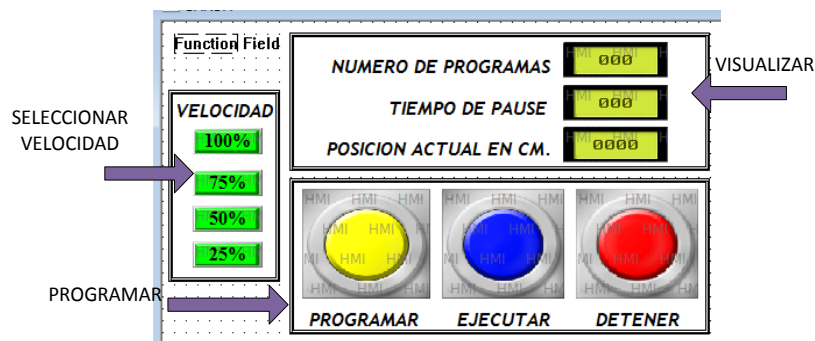


Figura 4. 37: Pantalla de funciones de la banda.

Fuente: Investigador.

Al momento que selecciona el botón PROGRAMAR, aparece una ventana de alerta (Figura 4.38), esta le pregunta al operador si desea programar otras posiciones es decir reiniciar la programación para ejecutar una aplicación distinta.

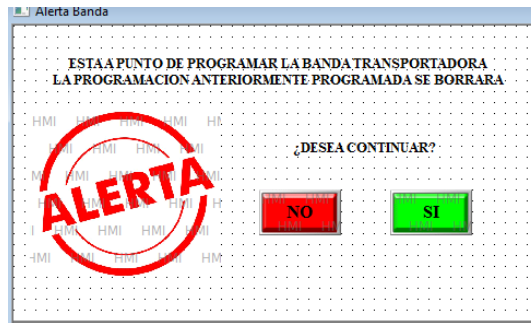


Figura 4. 38: Ventana de alerta de programación.

Fuente: Investigador.

- Si el operador selecciona NO, se trasladara a la pantalla de funciones (Figura 4.37) y se ejecutara el programa anteriormente seleccionado.
- Si el operador presiona SI, se borrara todos los datos ingresados anteriormente y se traslada a la pantalla de programación (Figura 4.39), para proceder a insertar nuevas posiciones.



Figura 4. 39: Pantalla de programación de la banda.

Fuente: Investigador

Cuando se ha finalizado la programación el operador debe presionar el botón SALIR, aparecerá una ventana de alerta la cual pregunta si no necesita insertar más posiciones (Figura 4.40).

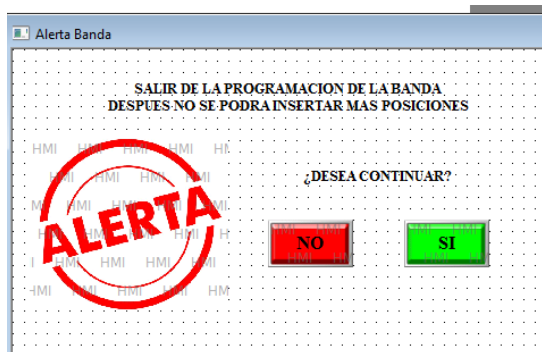


Figura 4. 40: Ventana de alerta de fin de programación.

Fuente: Investigador.

- Si el operador presiona NO, se regresará a la pantalla de programación (Figura 4.39) para seguir insertando más posiciones.
- Si el operador presiona SI, aparece la pantalla de funciones (Figura 4.37), en la cual se presionara el botón EJECUTAR para que se inicie el proceso de control.

4.6 PRUEBAS DEL SISTEMA.

Este apartado, muestra los resultados obtenidos en las aplicaciones del control de velocidad y posición lineal y angular del sistema. Una vez ensamblada la máquina, se procede a verificar su correcto funcionamiento.

4.6.1 PRUEBAS ELÉCTRICAS.

En esta sección se verifica que el voltaje sea el indicado para alimentar a los elementos del sistema como se observa en la tabla 4.10.

Tabla 4. 10: Verificación de voltajes de los elementos.

ELEMENTO	Voltaje	Correcto	
		SI	NO
SERVO DRIVER	220V	✓	
TOUCH PANEL	24 VDC	✓	
PLC	120 V	✓	
RELÉS	24 VDC	✓	
SERVOMOTOR	220V	✓	
SENSORES	5VDC	✓	

a. PRUEBAS DE CARGABILIDAD

Esta prueba se la realizó mediante el analizador de energía, un analizador de calidad de energía rastrea y mide varios parámetros diferentes de electricidad; estos parámetros pueden incluir la corriente alterna, la frecuencia, tensión rms, la distorsión armónica y el factor de potencia, entre otros. Se capturo un evento en un determinado tiempo, en la Tabla 4.11 se presentan varios de los parámetros analizados:

FRECUENCIA = 59,96

Tabla 4. 11: Parámetros de funcionamiento del sistema.

	L1	L2	L3
Vrms	118.2	117.7	117.3
Arms	1.4	1.4	0.6
PF	0.45	0.44	0.45
W	75.98	72.99	20.79
VAR	149.2	-151.2.	-41.20
VA	167.4	167.9	46.16

Fuente: Analizador de energía.

En el Anexo F-1. Se pueden encontrar los datos obtenidos del analizador con su respectiva gráfica de onda.

4.6.2 PRUEBAS MECÁNICAS.

Prueba de repetibilidad.

Estas pruebas se las realizo poniendo en funcionamiento tanto el disco como la banda transportadora, se verificó los rangos de funcionamiento, y el error presentado de los grados y posiciones seleccionadas.

a. Prueba de repetibilidad del disco.

Para realizar esta prueba de repetibilidad se ubicó varios puntos indistintamente localizados en el disco posicionador y se realizó el ciclo de

funcionamiento correspondiente del mismo un número de diez repeticiones. Por programación del PLC el giro del disco no debe superar 360°. En la Tabla 4.12 se muestran las pruebas de rotación realizadas al disco posicionador.

Tabla 4. 12: Resumen de las pruebas realizadas al disco.

Grados ingresados	GRADOS OBTENIDOS										Desviación estándar
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	
	84	83	83	83	83	83	83	83	83	83	0,16
123	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	0,32
175	175	175	176	176	176	176	176	176	175	176	0,48
235	235	235	236	235	236	236	235	236	235	235	0,52
275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	-
330	331	330	331	331	331	331	331	331	330	331	0,42
360	360	359	360	360	360	360	360	360	359	359,5	0,33
310	312	312	312	313	313	312	312	313	312	312,5	0,34
210	211	212	212	212	212	212	212	212	212	212	0,34
158	159	160	160	160	160	160	160	160	160	160	0,32

Fuente: Investigador.

Análisis de resultados

Mediante los datos obtenidos en la tabla 4.12, se calculó la desviación estándar para saber la precisión de la máquina, se determinó que se tiene un error de 0.52 grados.

b. Prueba de repetibilidad de la banda.

Para realizar esta prueba de repetibilidad se ubicó diez puntos localizados indistintamente en la banda transportadora, y se realizó el ciclo de funcionamiento correspondiente del mismo con una repetición de diez veces el mismo ciclo, sus valores se registraron en la Tabla 4.13:

Tabla 4. 13: Posiciones programadas en la banda.

Posiciones ingresadas	POSICIONES OBTENIDAS										Desviación estándar
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	
	15	14	15	16	15	15	16	15	15	17	0,82
25	27	26	26	27	26	26	27	27	26	25	0,67
35	38	37	35	37	36	37	38	37	37	38	0,94
45	46	45	44	45	45	44	45	45	43	44	0,84
60	62	61	60	61	61	60	62	62	61	62	0,79
70	71	70	69	70	70	71	69	71	70	69	0,82
50	53	53	52	53	52	52	51	52	53	53	0,70
33	34	32	33	32	32	33	34	34	32	34	0,94
52	52	52	51	52	51	53	52	52	52	52,3	0,50
47	47	47	48	47	47	46	49	47	47	46	0,88

Fuente: Investigador.

Análisis de resultados

Con los datos obtenidos en la tabla 4.13 y mediante el cálculo de la desviación estándar se determinó que la banda tiene un error de ± 0.94 cm en su desplazamiento, este error no está relacionado con la programación y mucho menos al control del servo driver, se da por problemas mecánicos uno de ellos es la falta de adhesión existente entre la banda y los rodillos, otro motivo y el más representativo es la posición de salida del objeto ya que no comienza su desplazamiento desde un mismo punto, debido a la distancia de ubicación del objeto con respecto al sensor.

4.7 ANÁLISIS DE COSTOS.

a. Factibilidad del proyecto.

La factibilidad del proyecto dependerá del estudio y análisis de los siguientes parámetros expuestos a continuación.

a.1 Inversión inicial del proyecto.

Para el análisis de la inversión necesaria de la implementación del proyecto será necesario realizar un análisis de los insumos utilizados en el diseño e implementación del prototipo para el control de velocidad y posición.

En la Tabla 4.14 se indica el equipo y material proporcionado por el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la ESPE-EL.

Tabla 4. 14: Equipo del Laboratorio de Accionamientos ESPE-EL

ítem	Descripción	Costo
1	Servo Driver DA98B	2500
2	Servo Motor SJT0M24C	

En la Tabla 4.15 se indica el equipo y material proporcionado por el estudiante encargado del proyecto.

Tabla 4. 15: Equipo proporcionado por el estudiante.

ítem	Descripción	Costo
1	PLC XCM-24T4-C	780
2	Pantalla táctil TH-465	564
3	Reductor de velocidad	520
4	Sensores	34
5	Acoples para motor	28,77
6	Terminales y marquillas	15,6
7	Tornillos y pernos	6,65
8	Breaker de 3 polos 10 A	15,4
9	Borneras, contactos y tapas	6,21
10	Materia prima para la construcción del sistema	220
11	Tablero de Control de 30 x 35 x 20 (cm)	35
12	20 Mtrs. Cable flexible # 14 AWG.	9,2
13	Luz Piloto CAMSCO 110 VAC.	1,7
14	Pulsadores (NO, NC).	4,75
15	Bornera y Fusible de 1 A.	6,21

16	Porta fusibles para Riel Dim.	
17	Selector de 2 posiciones CAMSCO 22 mm	2,04
18	Canaleta 25 *40	4,47
19	Riel Din	2,15
20	Canaleta 20 * 12	2,16
22	Banda de caucho color negra L=2100mm	47,58
23	Cable de comunicación PLC -PC/TOUCH	40
24	Conector DB44 hembra +carcazas	25
26	Cable multifilar AWG 22*16 GSK	12,5
27	Fabricación del módulo de control de velocidad y posición	400
TOTAL DE GASTOS		2783,39

a.2 Análisis Técnico-Económico.

El prototipo de control de velocidad y posición ha cumplido un pleno funcionamiento desde su implementación, además hay que tomar en cuenta el apoyo al aprendizaje de los estudiantes quienes adquieren estos conocimientos para aplicarlos posteriormente en su vida laboral, estos sistemas en la actualidad cumplen una función indispensable en las industrias ya que permiten mejorar su producción. Por lo cual la inversión del proyecto realizado se justifica, ya que la implementación este sistema para el control de la velocidad y la posición lineal como angular es aplicable en modo real a nivel industrial.

Además, con este proyecto de tesis se motiva a los estudiantes para que puedan realizar prácticas de laboratorio y de esta manera actualicen constantemente sus conocimientos científicos y tecnológicos a nivel de la automatización industrial y así tengan la capacidad de resolver los problemas que se presentan en el ámbito profesional.

Con todos los costos mencionados anteriormente, se tiene que para el proyecto se realizó una inversión total de **5283,39 USD**.

4.8 MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN.

El manual de operación para el prototipo de control de la velocidad y posición se presenta en el Anexo G.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- Con el presente trabajo de tesis se diseñó y se construyó un módulo didáctico de una banda transportadora y un disco posicionador para el control de velocidad y posición lineal y angular, utilizando elementos de tecnología moderna que servirá para implementarse en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE –Extensión Latacunga.
- Se desarrolló el conocimiento de los software de programación de los equipos conectados, mediante el método de autoeducación como son el TouchWin Edit Tool que sirve para programar el Touch panel TH-465, y el XC Series Program Tool que nos faculta programar los PLC´s XCM, de la marca XINJE.
- Se diseñó, seleccionó, programó e implementó el sistema eléctrico de control y potencia cumpliendo con todos los parámetros necesarios para el funcionamiento del módulo didáctico.
- Los elementos del sistema mecánico fueron diseñados mediante los métodos analítico y tecnológico en el cual interviene el software SolidWorks 2012, con los cuales se estableció fundamentalmente parámetros como son: dimensión, movimiento, esfuerzo máximo y factor de seguridad, este último fue el de mayor importancia ya que aseguró una probabilidad baja de falla al tener un valor de tres o mayor para este tipo de elementos de máquinas.

- Con este proyecto de tesis se, motiva a los estudiantes para que puedan realizar prácticas de laboratorio y de esta manera actualicen constantemente sus conocimientos científicos y tecnológicos a nivel de la automatización industrial y así tengan la capacidad de resolver los problemas que se presentan en el ámbito profesional.

Recomendaciones

- Al emprender un proyecto, en el que se incluya construir algún sistema mecánico, para realizar algún proceso; es muy importante construir un prototipo a pequeña escala, ya que con este se pueden aclarar muchas dudas acerca del diseño, se pueden encontrar y corregir problemas, además de que surgen nuevas ideas, de cómo poder mejorar los resultados obtenidos, y así optimizar los resultados para no tener problemas, con el sistema a escala real.
- Para el proceso de selección del PLC se recomienda determinar el número y el tipo de entradas/salidas, y finalmente antes de realizar la programación del mismo, elaborar un diagrama esquemático de las entradas/salidas
- Revisar e interpretar el manual de operación del prototipo de control de velocidad y posición, el cual se encuentra en el Anexo: G de este documento, antes de realizar cualquier operación con el mismo.
- Antes de la instalación y puesta en marcha los equipos de mando y control se recomienda leer los manuales y especificaciones técnicas para evitar daños irreparables en los mismos.
- Utilizar cables apantallados para la alimentación del servo driver y para la conexión del CN1(PLC-Servo Driver), para atenuar ruidos eléctricos presentes en el medio, y así evitar que circulen corrientes parasitas a la entrada del Servo Driver.
- Se debe realizar un mantenimiento preventivo al módulo didáctico, principalmente al transportador, para optimizar su vida útil. (Revisar cauchos del acople, ajuste de banda, cambios de rodamientos).

- Revisar la calibración, ubicación y funcionamiento de los sensores antes de ejecutar alguna operación.

Glosario de términos

A

Automatización: Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar máquinas y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos.

B

Banda Transportadora: Máquina para transportar productos o materias primas entre dos o más puntos.

C

Controlador Lógico Programable (PLC): Equipo electrónico diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real.

D

Disco Posicionador: Es una estación para piezas que requieren rotación sobre un eje con un disco de fijación que admite una rotación de $\pm 360^\circ$.

E

Encoder: Sensor que permite detectar el movimiento de rotación de un eje.

Exactitud: Es la capacidad de un instrumento de medir un valor cercano al valor de la magnitud real.

Error: Es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

H

HMI: Interface Hombre Máquina.

M

Mecanismo: Conjunto de elementos mecánicos unidos entre sí, con la finalidad de producir, transmitir y controlar un movimiento.

Motor: Máquina que convierte la energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico.

P

PAP: Motor paso a paso.

Precisión: Capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones.

Procesos: Un conjunto de acciones integradas y dirigidas hacia un fin.

R

Reductor de Velocidad: Sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades.

Rodamiento: Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre eje y las piezas conectadas a este, que le sirve de apoyo y permite su desplazamiento.

S

Servo Driver: Amplificador de señal, el cual interpreta señales de un transductor rotativo (encoder).

Sensor: Es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital.

Señal de Control: Es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine el error.

Señal Digital: Es una señal que solo toma valores de 1 y 0.

Señal de Referencia: Es el valor que desea que alcance la señal de salida.

Señal Análoga: Es una señal continua en el tiempo.

Señal de Salida: Es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se la denomina variable controlada.

Sistema: Consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

Sistema de Control en Lazo Cerrado: Es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado. También es llamado control realimentado (Feedback)

Software de Automatización: Son programas digitales para computadora mediante el cual se logra controlar los procesos de una industria con eficiencia.

T

ToucWin Edit Tool: Software de programación para touch panel de la marca XINJE.

X

XC Series Program Tool: Software de programación para PLC de la marca XINJE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Bolton, William**, Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica; 4ta Edición Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V., México
- **Cembranos Nistal f. Jesús**, Automatismos Eléctricos, Neumáticos e Hidráulicos
- **Enríquez Harper**; Elementos de diseño de las instalaciones eléctricas industriales; Limusa Noruega Editoriales; 2da Edición 2002.
- **FAG**, “Catálogo de soportes y rodamientos”, 2010
- **Gómez Fabio**, “cintas transportadoras en automatización de la producción”, editorial Alfa-omega, México, 2006
- **Gsk cnc equipment co. Ltd**, GSK DA98B AC Servo Drive Unit, (User Manual).
- **Icobandas S. A**, “diseño de bandas transportadoras”, Colombia 2008
- **Kosow, I.** (1.995). Máquinas eléctricas y transformadores. México: 2a. ed. Prentice Hall.
- **Manual de fabricación de bandas y rodillos** transportadores- Pirelly, William-Editorial Mac Graw Hill- Impreso en Madrid (España) 1992.
- **Norman. S. Nise**, Sistemas de Control para Ingeniería, Prentice Hall, Tercera edición

- **Porras / a. P. Montanero**; Autómatas Programables fundamento, manejo, instalación y prácticas; Editorial McGraw-Hill; 1era edición; año 1990.
- **Robert I. Mott**; Diseño de elementos de máquinas; Editorial Pearson Educación; 2da y 4ta edición; año 2006.
- **Richard g. Budynas y j. Keith nisbett**; Diseño en ingeniería mecánica de Shigley; Editorial McGraw-Hill Interamericana; 8va edición; año 2008.
- **Xinje Electronic Co., Ltd., XINJE XCM Motion controller “User Manual”**
- **XCM CatalogForeword** “Lista de parámetros documentación de usuario”
- **XC Series Edit Tool XCP Pro, “User Manual”**

PAGINAS CONSULTADAS

Catálogos y folletos técnicos Contrinex (Sensores inductivos, fotoeléctricos, capacitivos y ultrasonidos)

- <http://pdf.directindustry.es/pdf/contrinex/sensores-inductivos-fotoelectricos-capacitivos-ultrasonidos/5385-166924.html>

Conti Francisco (Motores paso a paso)

- http://books.google.com.ec/books?id=Np93tF35SAsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Jordy Mayne, Sensores – Acondicionadores – Procesadores

- www.bairesrobotics.com.ar/data/sensores_2003.

Rueda Luis, Control de Motores,

- http://perso.wanadoo.es/luis_ju/soft/files/motores

Silge Electronica S.A.Av. Mitre 950 - B1604AKN - Florida - BA -
ARGENTINA Tel: (011) 4730-1001 - Fax: (011) 4760-4950 - Email:
ventas@silge.com.ar

- www.silge.com.ar

Yaskawa (Productos-Posicionadores)

- http://www.motoman.es/es/productos/posicionadores/?no_cache=1