



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Dimensionamiento e implementación de un prototipo de servomotor de corriente alterna en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara

Chango Quispe, José Enrique y Solís Pico, Jonathan Fernando

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

01 de marzo del 2024

Latacunga



Plagiarism and AI Content Detection Report

Tesis Chango Solis (1).pdf

Scan details

Scan time: March 11th, 2024 at 0:46 UTC Total Pages: 56 Total Words: 13792

Plagiarism Detection



AI Content Detection



[View PDF](#)

🔍 Plagiarism Results: (16)

🔗 Microsoft Word - UnEncrypted.docx 1.7%

<https://www.guemsa.com/sicod/docus/encoder-tec.pdf>

Josep

ENCODER INCREMENTAL Principio de funcionamiento El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie ...

🔗 Servomotores: control, precisión y velocidad - Micro Automación 1.3%

<https://co.microautomacion.com/es/tec/servomotores-control-precision-y-velocidad/>

Idioma: Español - País: es_col Skip to content × Inicio Quiénes Somos Grupo...

Freire Llerena Washington Rodrigo

C.C.:1801910884



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: "**Dimensionamiento e implementación de un prototipo de servomotor de corriente alterna en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.**" fue realizado por el/los señor/señores **Chango Quispe, José Enrique y Solís Pico, Jonathan Fernando**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 29 de febrero del 2024

Freire Llerena Washington Rodrigo

C.C.:1801910884



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Chango Quispe, José Enrique y Solís Pico, Jonathan Fernando**, con cédulas de ciudadanía n° 0503485674 y 1804460903, declaro/declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Dimensionamiento e implementación de un prototipo de servomotor de corriente alterna en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara**. Es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 29 de febrero del 2024

Chango Quispe, José Enrique

C.C.: 0503485674

Solís Pico, Jonathan Fernando

C.C.: 1804460903



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Autorización de Publicación

Nosotros **Chango Quispe, José Enrique y Solís Pico, Jonathan Fernando**, con cédulas de ciudadanía n° 0503485674 y 1804460903, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Dimensionamiento e implementación de un prototipo de servomotor de corriente alterna en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara**. En el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 29 de febrero del 2024

Chango Quispe, José Enrique

C.C.: 0503485674

Solís Pico, Jonathan Fernando

C.C.: 1804460903

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi madre Nancy Quispe quien con su apoyo incondicional ha estado a mi lado apoyándome en todo momento, por ser padre y madre a la vez, por la motivación que me ha dado día a día, por sus enseñanzas y lecciones de vida, siendo así mi motivo de inspiración de continuar adelante.

A mi abuelita Rosa Guanoluisa que desde el cielo nos cuida y nos protege, y me ha dado esa fortaleza necesaria de seguir luchado y lograr mi objetivo.

A mis tías María Quispe y Susana Quispe quienes me han cuidado y me inspiran a seguir buscando el camino de éxito y del bien.

A mi hermano Jonathan Quispe quien con sus locuras y cariño ha estado a mi lado compartiendo buenos y malos momentos.

José Chango

Dedicatoria

Dedico este arduo proyecto de titulación a Dios, ante todo por haberme puesto en este camino y darme la fuerza para llegar tan lejos superando las adversidades y por fin cumplir esta meta tan importante en mi vida.

A mi querida madre, Mariana Pico que siempre se sacrificó para darme mis estudios y no me faltó nada, por todo su amor y paciencia que sin ella no hubiera podido culminar este proyecto.

Dedicado a mi querido padre Enrique Solís que a pesar de la gran distancia que nos separa siempre estuvo pendiente de mí apoyándome en todo y siempre estuvo cuando lo necesitaba.

A mis queridas hermanas: Verónica Solís que con su ejemplo de superación y constancia me enseñó que lo imposible siempre es posible, y Cristina Solís quien siempre creyó en mí y nunca me dejó darme por vencido.

Por último y más importante le dedico el presente proyecto y todo mi esfuerzo a mi amada familia, la cual formé en este camino. Mi amada esposa Alicia Barreiro quien siempre estuvo en las buenas y en las malas, su apoyo y amor que me ayudó a llegar tan lejos sin darme cuenta. A mi amadísimo Hijo Eithan Solís. Te lo dedico a ti hijo mío que, en el momento más oscuro de mi vida llegaste y le diste un nuevo propósito a mi vida haciendo de mi un ejemplo para ti y siempre darlo todo por ti.

Fernando Solís

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por la salud, por guiarme, por darme la fortaleza necesaria y mantenerme de pie en la búsqueda de la felicidad.

A mi tutor de tesis Ing. Washington Freire quien nos incentiva y apoyo a que seamos mejores tanto en la vida como en la parte profesional.

Agradezco a mi familia y seres queridos por el apoyo incondicional y sus lecciones de vida.

A mi Any quien ha estado a mi lado en las buenas y malas, dándome apoyo moral y ánimos cuando me sentía derrotado, y me brinda su fortaleza para seguir adelante.

Y a todos mis amigos en especial a mi gran amigo Fernando Solís que han estado a mi lado, metiendo el hombro para salir adelante sin ningún tipo de interés.

José Chango

Agradecimiento

Agradezco a mis padres por su ejemplo, apoyo y amor ahora estoy culminado este proyecto. Sobre todo, a mi madre que a pesar de los errores que cometía siempre me apoyó y ayudó a nunca darme por vencido hasta cumplir mis metas.

A las ocurrencias de mis hermanas que siempre alegran mi vida.

A mi esposa, eternamente agradecido que sea parte fundamental en mi vida por la paciencia y comprensión que me tuvo cuando llegaba luego de un mal día en la universidad, gracias por su amor, y siempre estar a mi lado tomándome de la mano y recorriendo el camino de la vida juntos. A mi hijo que por su amor tan puro y único que aviva la llama de mi corazón y me motiva a levantarme y ser mejor cada día.

A los compañeros de clase y amigos que hice en el trayecto de la carrera, que con sus ocurrencias siempre me alegraron el día e hicieron que cada semestre sea una experiencia única.

Por toda su ayuda dentro y fuera de las aulas, un agradecimiento especial a mi gran amigo y compañero de tesis José Chango, quien, en un sin número ocasiones a lo largo de la carrera siempre estuvo ahí cuando lo necesité con su apoyo y amistad incondicional, que desde los niveles más inferiores siempre tuvimos esa meta de realizar este proyecto juntos y por fin lo concretamos.

A mi tutor de tesis, el ingeniero Washington Freire uno de los mejores docentes de la ESPE y corazón de la carrera de ingeniería Electromecánica, gracias ingeniero por su apoyo y conocimiento a lo largo de toda la carrera.

Y finalmente agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga y a todo su personal por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y con mano dura, pero justa, enseñarme a ser perseverante.

Fernando Solís

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	1
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	14
Índice de tablas	17
Índice de ecuaciones.....	18
Resumen	19
Abstract.....	20
Capítulo I: Problemática.....	21
Planteamiento del problema	21
Macro conceptualización	23
Meso conceptualización.....	24
Micro conceptualización	24
Antecedentes.....	25
Justificación e importancia.....	27

Objetivos	28
<i>Objetivo General</i>	28
<i>Objetivos Específicos</i>	28
Capítulo II: Fundamento teórico de la investigación.....	29
Antecedentes investigativos	29
Marco teórico.....	29
<i>Servomotor</i>	29
<i>Control de velocidad del servomotor</i>	34
<i>Control de posición del servomotor</i>	35
<i>Unidad servo drive</i>	42
<i>Controlador lógico programable (PLC)</i>	44
<i>HMI</i>	48
Fundamentación conceptual	50
<i>Disco óptico de encoder</i>	50
<i>Control vectorial</i>	50
<i>PWM</i>	50
<i>Electrodinamómetro</i>	50
Fundamentación legal	51
Diseño concurrente	52
<i>Diseño detallado</i>	52
Hipótesis y variables	53
<i>Hipótesis</i>	53
<i>Variable independiente</i>	53

<i>Variable dependiente</i>	53
Capítulo III: Diseño del Prototipado	54
Dimensionamiento eléctrico	54
Selección de servomotor	55
Selección del servodrive	56
Diagrama de conexión del servo drive	57
Diagrama eléctrico del módulo servomotor	59
Dimensionamiento mecánico	60
Interfaz hombre-máquina	62
Desarrollo del programa del PLC	66
Interfaz del servo drive	69
Capítulo IV: Construcción e implementación	70
Construcción del módulo.....	70
Conexión y cableado	70
Mecanizados de piezas.....	73
<i>Mecanizado de la polea</i>	73
<i>Verificación</i>	75
<i>Soportes</i>	76
<i>Piezas</i>	77
Mecanizado del módulo.....	77
<i>Ventana de acrílico</i>	78
Verificación del módulo.....	79
Capítulo V: Funcionamiento	80

Pruebas	80
Calibración	82
Ajuste.....	83
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	90
 Conclusiones.....	90
 Recomendaciones	92
Bibliografía	93
Anexos	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes del servomotor	31
Figura 2 Unidad servo drive marca SINEE	32
Figura 3 Servomotor de Corriente Alterna	32
Figura 4 Encoders extraídos de servomotores.	33
Figura 5 Dispositivos necesarios para el control de velocidad y torque.....	35
Figura 6 Diagrama de control del servomotor.	36
Figura 7 Diagrama de tiempo.	38
Figura 8 Sistema de lectura del encoder.....	39
Figura 9 Representación de las señales incrementales A, B y Z.	40
Figura 10 Representación gráfica de las señales incrementales A, B y Z.	41
Figura 11 Representación gráfica del disco óptico de un encoder absoluto.....	42
Figura 12 Principio de operación del servo drive.	43
Figura 13 Controlador Lógico Programable (PLC) marca Delta Serie SS2.	45
Figura 14 Lazo de control (cerrado) de un servomotor.....	46
Figura 15 Ejemplo de comunicación Ethernet.	48
Figura 16 Pantalla táctil HMI marca DELTA.....	49
Figura 17 Módulo Electrodinamómetro.	54
Figura 18 Servo drive de la marca Siemens.	55
Figura 19 Servo drive de la marca WECON.	55
Figura 20 Especificaciones de los tipos de motores.....	56
Figura 21 Disposición de los terminales del circuito principal y el tamaño de los tornillos.....	58
Figura 22 Cableado de alimentación monofásico.	59
Figura 23 Dimensionamiento eléctrico de la conexión del módulo.	60
Figura 24 Módulos didácticos.	61
Figura 25 Gabinete de práctica.	61
Figura 26 Carátula del prototipo implementado.	63

Figura 27 <i>Prácticas disponibles del módulo.....</i>	63
Figura 28 <i>Módulos de control de velocidad.....</i>	64
Figura 29 <i>Control de velocidad posición.</i>	65
Figura 30 <i>Inicio de código del PLC, bit de activación, inversión de giro y velocidad del servomotor.....</i>	66
Figura 31 <i>Control de Posición.</i>	67
Figura 32 <i>Control del cambio de giro para el control de posición.....</i>	68
Figura 33 <i>Control de la velocidad en el parámetro velocidad posición.</i>	68
Figura 34 <i>Servo drive.....</i>	69
Figura 35 <i>Diagrama de posición de terminales y distribución de pines del circuito de control del controlador.....</i>	71
Figura 36 <i>Descripción de la señal de entrada de pulso de posición.</i>	71
Figura 37 <i>Conexión del tipo NPN para 24 V.</i>	72
Figura 38 <i>Conexión para el control de pulsos.....</i>	72
Figura 39 <i>Mecanizado de la polea dentada.</i>	73
Figura 40 <i>Pantalla de control de la CNC con el Código G.....</i>	74
Figura 41 <i>Mecanizado de la polea dentada.</i>	74
Figura 42 <i>Verificación de la polea dentada.....</i>	75
Figura 43 <i>Verificación del diámetro interno de la polea dentada con el eje del servomotor.....</i>	75
Figura 44 <i>Soportes de la polea dentada.</i>	76
Figura 45 <i>Piezas de la polea dentada.....</i>	77
Figura 46 <i>Carcasa del módulo servomotor.</i>	77
Figura 47 <i>Tapa de acrílico.....</i>	78
Figura 48 <i>Verificación del módulo Servomotor.</i>	79
Figura 49 <i>Módulo con recorrido.....</i>	80
Figura 50 <i>Polea dentada y su prisionero.....</i>	81
Figura 51 <i>Acoplamiento mecánico.</i>	81

Figura 52 <i>Mal acoplamiento de la polea dentada y la banda de transmisión.</i>	82
Figura 53 <i>Transmisión inadecuada.</i>	83
Figura 54 <i>Acople el eje con la polea dentada.</i>	83
Figura 55 <i>Polea ajustada paralelamente</i>	84
Figura 56 <i>Acople entre el servomotor y el electrodinamómetro.</i>	85
Figura 57 <i>Conexión para realizar las pruebas.</i>	86
Figura 58 <i>Control de posición</i>	88
Figura 59 <i>Equipos unidos mecánicamente.</i>	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Comparación de las características dependiendo la marca.</i>	57
Tabla 2 <i>Prueba de velocidad.</i>	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Precisión del encoder</i>	41
--	----

Resumen

El presente proyecto tiene por objetivo la implementación de un módulo servomotor para el laboratorio de máquinas eléctricas, con el motivo de mejorar el aprendizaje de los estudiantes al presentarles un motor de alta precisión que se emplea en robots y en procesos de manufactura actuales, donde el control de velocidad y posicionamiento es clave y estas mismas variables los estudiantes podrán manipular mediante una interfaz hombre máquina (HMI) y estudiar la dinámica de este motor. Este módulo fue elaborado con base a las dimensiones del módulo electrodinamómetro de la marca LAB-VOLT que se encuentra en el laboratorio de la universidad para que pueda acoplarse al mismo mediante una banda de distribución, las partes mecánicas fueron elaboradas por medios propios al no encontrarse en el mercado. El control de velocidad y posición fueron realizados mediante un sistema de control de lazo cerrado por medio de un PLC Delta serie SS2, el servo drive y el servomotor. La comunicación que se empleó es la RS 485, esta es ampliamente utilizada en aplicaciones en la adquisición de datos y control. En puesta en práctica el electrodinamómetro se conectó por medio de una banda de distribución al módulo servomotor con el fin de actuar como un freno para este y se observó que la velocidad digitalizada en la HMI se mantuvo constante a pesar del freno que presentaba el electrodinamómetro, de igual forma con la posición, se estableció un valor en grados en la HMI y el servomotor rotó hasta el punto indicado sin problemas sin importar la carga.

Palabras clave: servomotor, electrodinamómetro, control de velocidad, control de posición, controlador lógico programable (PLC).

Abstract

The present project aims to implement a servo motor module for the electrical machines laboratory, in order to improve student learning by presenting them with a high-precision motor that is used in robots and in current manufacturing processes, where speed and positioning control is key. Students will be able to manipulate these same variables through a human-machine interface (HMI) and study the dynamics of this motor. This module was developed based on the dimensions of the LAB-VOLT brand electrodynamicometer module that is located in the university laboratory so that it can be coupled to it by means of a timing belt. The mechanical parts were manufactured in-house as they are not available on the market. Speed and position control were performed using a closed-loop control system consisting of a Delta SS2 series PLC, a servo drive and a servo motor. The communication used is RS 485, which is widely used in data acquisition and control applications. In practice, the electrodynamicometer was connected to the servo motor module by means of a timing belt in order to act as a brake for it. It was observed that the speed digitized in the HMI remained constant despite the brake presented by the electrodynamicometer. Similarly, with the position, a value in degrees was established in the HMI and the servomotor rotated to the indicated point without problems regardless of the load.

Keywords: servo motor, dynamometer, speed control, position control, programmable logic controller (PLC).

Capítulo I

Problemática

Planteamiento del problema

En el contexto de formación y aprendizaje en el campo de la ingeniería electromecánica, el Laboratorio de Máquinas eléctricas se enfrenta actualmente a un déficit significativo en la carencia de un equipo esencial en el área de sistemas de control y máquinas eléctricas, específicamente un prototipo de servomotor de corriente alterna funcional, esto implica que los estudiantes no tienen acceso a una herramienta física para la comprensión de los conceptos teóricos y la aplicación práctica de sistemas de control de motores, como es el control de velocidad y posicionamiento, que son fundamentales en numerosas aplicaciones industriales y en el campo de la automatización.

La ausencia de este prototipo también puede restringir las oportunidades de investigación y desarrollo en el laboratorio. La capacidad de explorar soluciones innovadoras en el campo de los servomotores de corriente alterna se ve limitada debido a la falta de una plataforma de prueba adecuada. Esto no solo afecta la calidad de la educación que se proporciona en el laboratorio, sino también la posibilidad de contribuir al avance de la investigación en esta área, lo cual es crucial para mantenerse a la vanguardia de la tecnología en el campo de la ingeniería.

Es relevante agregar que el paulatino crecimiento en la tecnología y en la demanda de los sistemas de control ha puesto en la mira el desarrollo y avance de las mejoras en los servomotores, estos desempeñan un papel importante debido a que aplicaciones, industrias, robótica, entre otras se manejan con la automatización. La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (2024) reconoce la importancia de formar profesionales con la capacidad de emplear soluciones, conocimientos dentro de las áreas de especialización, en este caso en la aplicación de la práctica en el diseño, dimensionamiento e implementación de sistemas de control de alta calidad.

La implementación de un prototipo de servomotor permite a los estudiantes obtener un mejor conocimiento en el uso de estos dispositivos ya que es indispensable fortalecer los

conocimientos teóricos con prácticas y experimentos, reforzando de esta manera el conocimiento teórico en las dos áreas, así como menciona Noriega (2015):

En la actualidad el uso de servomotores ha alcanzado gran relevancia en diferentes aplicaciones de procesos de manufactura, esto debido a su alto desempeño en precisión de la posición, velocidad y torque. Algunas aplicaciones son: robots manipuladores, sistemas de control numérico, máquinas de corte por láser o chorro de agua, máquinas envolventoras horizontales y verticales, sistemas de etiquetado automático, sistemas de indexado. (p. 4)

En relación a lo anterior se puede agregar que, que los servomotores hacen presencia en varios ámbitos de la manufactura que permiten emplear automatización para generar un buen desempeño. Siendo un campo muy amplio de aplicaciones donde se ven involucrados los servomotores por lo cual se debe tener el conocimiento de previo para el uso, control y mantenimiento adecuado de un servomotor.

De igual forma Pilamala (2015) expone que los servomotores han presentado un crecimiento considerable en la industria ya que estos permiten la automatización, genera utilidad en las maquinas CNC, de la misma forma aporta en las plantas de industrias y la robótica. Es por ello que los servomotores están tomando un gran auge dentro de las industrias debido a la facilidad con la que se desempeñan en las diferentes máquinas controlando posición y velocidad.

Dentro de la carrera de ingeniería electromecánica misma que es una carrera híbrida que fusiona las áreas de eléctrica y mecánica lo cual ayuda a tener una base en las dos ramas, afianzando esos conocimientos con la parte práctica ya que en la actualidad existen muchas empresas, industria y plantaciones donde requiere el control de servomotores, de esta manera el estudiante puede adquirir un conocimiento óptimo y actualizado al tener un prototipo de servomotor en los laboratorios para su respectiva manipulación y desarrollando conocimientos e investigación en esta área.

Por otra parte, el autor Tang (2020) menciona que la aplicación de uso en los servomotores es muy amplia por lo cual es indispensable su estudio tanto en la parte teórica como en la parte práctica donde el prototipo de servomotor entra a ser fundamental para la adquisición del conocimiento práctico en clases.

De igual forma los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica están enfocados a trabajar en el sector productivo y requiere de profesionales con conocimientos actualizados capaces de manejar e investigar las actuales tecnologías que día a día van evolucionando, considerando que una buena capacitación se realiza mediante la experimentación junto al contacto físico, por lo que a futuro ayuda a tener un mejor conocimiento en la manipulación de los servomotores.

Macro conceptualización

Los procesos automatizados a nivel global que se utilizan hoy en día están compuestos por Robots de alta precisión, la automatización de procesos ayuda a reducir costos de producción, tiempo y mejora la calidad de los productos y esto se logra con la implementación de servomotores por la precisión que tiene, en cuanto posición y velocidad, así como lo expone Padilla et al. (2018) .

Los robots industriales se utilizan para muchas aplicaciones, como manipulación, pintura, ensamblaje, soldadura, etc., donde la eficiencia y el rendimiento del manipulador dependen principalmente de la respuesta dinámica de su propio sistema de accionamiento. La energía motriz necesaria generalmente la solicita el tren motriz del robot, que se compone de tres subsistemas en cada articulación accionada, servomotor, reductor y carga. (p.1)

En la actualidad China se caracteriza por ser una potencia mundial en el área de la tecnología y economía apostado todo en aplicaciones de robots industriales como lo informa Cadena Global de Televisión de China (2023), los robots actualmente se destacan por ser utilizados para las industrias que se encuentran en su etapa de crecimiento como la

industria vehicular, energética, energía fotovoltaica y en las baterías de litio, estos también han venido desarrollando un crecimiento en la investigación científica.

Meso conceptualización

En Latinoamérica los servomotores se han vuelto parte esencial en aplicaciones industriales por las cualidades que presiden a este dispositivo electromecánico, la sofisticación de procesos de manufactura exigen que las máquinas posean versatilidad en los movimientos que se ejecutan para crear un producto, por lo que se utiliza los servomotores como los pilares de la dinámica de las máquinas actuales así lo menciona Carrión (2020) pues los diseños actuales mantienen ejes de movimiento siendo necesario mantener un control de forma individual en la velocidad, posición y torque, en consecuencia a ello los servomotores realizan su trabajo en cada uno de los ejes.

A continuación, se añade la aplicación con servomotores que se emplea en la industria latinoamericana:

- Selladoras de fundas plásticas
- Dosificadores de polvos
- Máquinas CNC
- Guillotinas cortadoras de papel
- Impresoras de papel
- Industria farmacéutica
- Brazos de robot industriales
- Etiquetadoras
- Empacadoras
- En sistemas de radio control
- Robótica

Micro conceptualización

Los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga por medio del autoaprendizaje y tomando en cuenta las necesidades de los estudiantes de grados inferiores, implementaron un proyecto enfocado a servomotores para el laboratorio de accionamientos eléctricos como lo expone Vega (2013) en su artículo.

Con la misión principal de promover el estudio de los servosistemas, mediante el diseño de un módulo didáctico que permite el control de la velocidad y posición en forma lineal y angular, mediante una banda transportadora y un disco posicionador.

Para el diseño de este módulo se tomó en cuenta varios aspectos como por ejemplo; qué máquinas se emplean en los procesos de producción, cómo lograr que los estudiantes puedan entender de una forma clara y precisa el funcionamiento de los servosistemas; realizando un análisis en base a lo propuesto se optó por construir un módulo que permita controlar la posición y velocidad de una forma lineal (cm), mediante una banda transportadora; y de forma angular (grados), construyendo un disco posicionador, de igual forma dejar guías de laboratorio mediante las cuales se comprenda el funcionamiento de estos sistemas. (p.20)

La importancia de que los estudiantes puedan aprender de esta tecnología les abrirá puertas laborales en el futuro por demostrar conocimiento tecnológico de vanguardia para la industria.

Antecedentes

Para fortalecer los conocimientos de los estudiantes la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara se integra como parte de las actividades académicas la realización de trabajos prácticos desarrollados en el laboratorio de máquinas eléctricas de la misma universidad permitiendo a los estudiantes interactuar con los equipos e instrumentos eléctricos como son los motores e instrumentos de medición. Dentro de los equipos que son empleados para prácticas con motores se dispone de varios tipos de motores AC y DC sin embargo hasta el momento no se dispone de ningún módulo de servomotor, este actúa de forma rotativa o lineal lo que permite generar un control certero en la posición angular, aceleración y velocidad del eje, capacidades que un motor normal no tiene.

La adecuación del prototipo de servomotor se realiza con la finalidad de que el estudiante adquiera conocimientos para el manejo de un servomotor debido a que en la actualidad está presente en el área de procesos automatizados utilizado para controlar con precisión la posición, velocidad y aceleración de un sistema mecánico. Está diseñado para recibir señales de control y convertirlas en un movimiento preciso del eje de salida.

En esencia, un servo motor de corriente alterna consta de tres componentes clave: un motor de corriente alterna, un sistema de retroalimentación (como un codificador o un sensor de posición) y un controlador electrónico.

Dentro de la historia de la automatización a nivel mundial se puede entender que cada día avanzan dejando obsoletos a diversos equipos controlados manualmente, por lo que la tecnología tiene una innovación constante en tanto precisión y control.

Dentro del campo laboral de la automatización existe un gran avance para la tecnología y exigencia laboral, dando lugar a un mejor rendimiento de los sistemas de control y proceso donde los servomotores juegan un papel muy importante, donde brindan gran ayuda de control y manejo de diferentes variables que un proceso lo requiere como es la velocidad la posición.

Para Carrión (2020) el servomotor se emplea en varias aplicaciones de la industria en donde se necesite alta precisión en el posicionamiento, velocidad de respuesta alta y control de torque, con la ayuda de estas propiedades se puede mejorar el desempeño de las máquinas y procesos y así aumentar la productividad en las industrias.

Así también Fraile (2021) menciona que los sistemas de control de movimiento son indispensable en la aplicación de varias industrias como: sistemas de transporte, robóticos, mecanizado (CNC), alimentación de materia prima, almacenamiento, etc.

Para controlar el motor que acciona el sistema se pueden emplear tres grandes alternativas: Variadores de Velocidad o Frecuencia, Motores paso a paso y Servomotores. Desde el punto de vista del control, el más flexible, preciso y completo es el Servomotor por lo que, el desarrollo de la Industria, precisa cada vez más de su utilización.

Vega (2013) plantea que la historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que en el mundo el cambio tecnológico se ve muy involucrado por los cambios y acomodos que los seres humanos necesitan lo que va ligado a la economía del mundo. 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.

De igual forma Rivera (2018) hace alusión a que hoy en día la tecnología en el área de la robótica va avanzando, lo cual es de gran importancia en el ámbito social, cultural y educativo, permitiendo a los jóvenes tener la capacidad de investigar, analizar y crear nuevas cosas.

Justificación e importancia

El proyecto a desarrollar permitirá un mejor aprendizaje a los estudiantes mediante la manipulación física de un servomotor de corriente alterna contenido en un módulo didáctico, también permitirá realizar estudios enfocados a en los servomotores; funcionamiento, control y aplicabilidad. Dentro de los objetivos que tiene la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se encuentra la formación integral de profesionales de excelencia con enfoque investigativo, capaces de solucionar problemas en el entorno en el que se desarrollen, por tal motivo el presente proyecto busca dimensionar prototipo de servomotor didáctico para la manipulación del prototipo dentro del Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

El proyecto puede ser utilizado también como medio de aprendizaje para los estudiantes de Ingeniería que se están formando en el área de Control Industrial, Accionamientos Eléctricos y Máquinas Eléctricas en la Universidad. En la actualidad los procesos se llevan a cabo mediante sistemas inteligentes, por tal motivo es indispensable que los estudiantes se familiaricen sobre la operación y funcionamiento de este tipo de sistemas ya que su aplicación en la industria está en auge.

Por medio del dimensionamiento e implementación de un prototipo de servomotor de corriente alterna para el laboratorio de Máquinas Eléctricas, aportando al proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, facilitando en la manipulación de un sistema de alta precisión ayudando en las prácticas de máquinas eléctricas y control industrial, es prudente la aplicación de este tipo de servomotor debido a los parámetros que ya dispone en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad.

Objetivos

Objetivo General

- ✓ Dimensionar e implementar un módulo didáctico para operar un servomotor de corriente alterna en el Laboratorio de Máquinas eléctricas, con el propósito de mejorar la educación experimental de los estudiantes y fomentar la investigación en el área de sistemas de control y máquinas eléctricas.

Objetivos Específicos

- Dimensionar la estructura del módulo didáctico de operación de servomotor de corriente alterna acorde a las estaciones de trabajo de los equipos LabVolt del laboratorio de Máquinas Eléctricas.
- Implementar el prototipo de servomotor en un entorno de laboratorio, incluyendo la configuración de los controladores, la programación de la lógica de control y la interfaz de usuario, permitiendo a los estudiantes interactuar con el sistema y observar su funcionamiento en tiempo real.
- Validar el funcionamiento del módulo de servomotor ya acoplados a los equipos disponibles en el laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Capítulo II

Fundamento teórico de la investigación

Antecedentes investigativos

La implementación de los distintos tipos de servomotores ha permitido que las empresas mejoren su productividad y los estudiantes adquieran los conocimientos necesarios que les permitan aportar en la vida profesional, es así que Vaca (2019) con su investigación en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo han realizado la Implementación de un módulo de servo posición, con la disponibilidad de control de varios motores, con la ayuda de PLCs y HMIs lo que se desarrolló dentro del laboratorio de Automatización, lo que permite la automatización y manipulación, en donde la implementación de este permite el uso y manipulación a gran escala de los estudiantes de forma segura y minimizando riesgos.

De la misma manera se puede decir que en la industria manufacturera los servomotores aportan significativamente a la productividad, es así que Guailacela & Pérez (2021) exponen que la aplicación de los servomotores en la marca INVT en el ámbito industrial cumple con los requerimientos de forma innovadora en el trabajo de grado titulado Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para la Simulación de Aplicaciones con Servomotores, PLC y HMI INVT.

Marco teórico

Servomotor

El servomotor de corriente alterna es una máquina rotatoria de alta precisión es por ello que Palacio (2020) expone que este es un tipo de motor posee un control de posición, en el interior del servomotor existe un encoder que se encarga de censar el lugar en el que se mantiene o se encuentra el eje mediante un sensor óptico.

Los servomotores son utilizados en varias aplicaciones por la precisión que ofrecen al momento de actuar, son implementados en equipos o máquinas, para permitir que tengan el control de posición, dirección y velocidad de una carga, así manifiestan Hernández Orozco et al., (2015) que un servomotor se puede controlar en diversa formas

como es aumentando la corriente controlado así la velocidad, en diversos rangos para diferentes tipos de aplicaciones o trabajo a realizar manteniendo los parámetros de acción requerida. Para realizar los controles se requiere de un dispositivo llamado encoder, que utiliza una comunicación mediante señales electrónicamente codificadas, que ordenan las acciones de velocidad y movimiento a realizar. Los servomotores son dispositivos que se utilizan diversas plantaciones, industrias, fabricas, etc. Son ideales para aplicaciones que requieren una alta precisión de posicionamiento, velocidad y control.

Es relevante menciona que Hernández Orozco et al., (2015) enfatizan que una de las ventajas de los servomotores es que utilizan la energía de manera eficiente. La cantidad de voltaje que se aplica al servomotor es proporcional a la distancia que debe recorrer. Esto significa que, si el eje necesita recorrer una gran distancia, el motor funcionará a máxima velocidad. Si sólo necesita recorrer una distancia corta, el motor funcionará a velocidad lenta. Esta eficiencia energética se traduce en un menor consumo de energía y, por lo tanto, en una reducción de los costes de operación. También contribuye a la protección del medio ambiente.

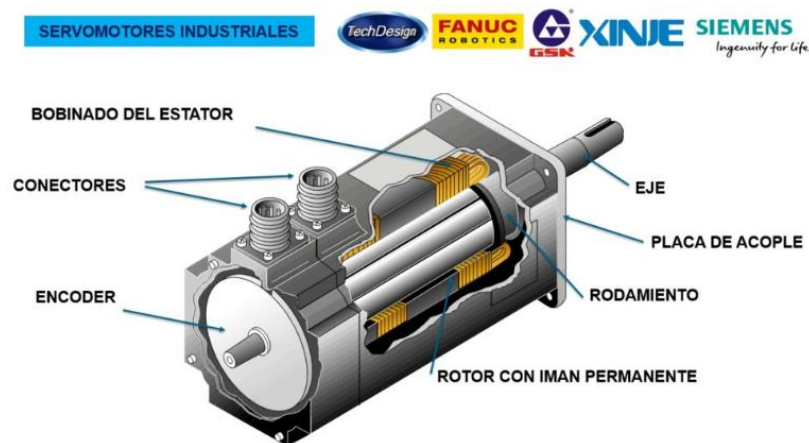
En resumen, los servomotores son dispositivos versátiles y eficientes que ofrecen una serie de ventajas para las empresas industriales por lo cual es de vital importancia que estos sean estudiados y se realicen prácticas con estos dispositivos ya que son esenciales en el campo de la automatización.

Partes de un servomotor

El servomotor a comparación de otros motores eléctricos posee similitudes de diseño, pero también diferencias que los posicionan por encima a los motores convencionales y dentro de un servomotor se entran las siguientes partes:
Rotor con imán permanente, estator, eje, encoder, conectores de encoder y de potencia como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Partes del servomotor



Nota. La figura muestra cada una de las partes del servomotor. Tomado de Freile, (2023).

En la Figura 1 se muestran las partes que conforman el servomotor, como se puede apreciar en comparación con cualquier motor de corriente alterna usado para fuerza, el servomotor está constituido de elementos específicos como la bobina del estator, conectores, encoder, eje, placa de acople, rodamientos y rotor con imán permanente, estos contribuyen para un control preciso, el encoder es fundamental ya que este permite la precisión y el control en la acción del motor, de este se tratará con mayor profundidad más adelante.

Funcionamiento del servomotor

Para poner en funcionamiento un servomotor se necesita un dispositivo de control para enviar señales en forma de pulsos al Servomotor AC de imanes permanentes. Así lo expone Kosow (1993) el ordenador envía una señal al motor, que controla la corriente que fluye a través de una bobina. Esto genera un campo magnético que atrae al imán permanente del rotor. El rotor gira 90 grados, y el ordenador detecta esta posición. El ordenador utiliza esta información para controlar el motor y mantener el rotor en la posición deseada, con esto se obtiene un control parcial o total del bucle cerrado para controlar el desplazamiento rotatorio con precisión.

A continuación, se muestran los elementos para el funcionamiento del servomotor. Es relevante mencionar que un servomotor posee el encoder incorporado internamente y adicionalmente la unidad servo drive.

Figura 2

Unidad servo drive marca SINEE



Nota. El servo drive mostrado en la figura es el que se utilizará para esta aplicación.

Tomado de Shenzhen Sinee Electric Co. Ltd, (2023)

Figura 3

Servomotor de Corriente Alterna



Nota. En la figura se muestra un servomotor de corriente alterna con sus conectores de fuerza y encoder. Tomado de Taizhou Zhouyi Mechanical & Electrical Co. Ltd., (2023)

Figura 4

Encoders extraídos de servomotores.



Nota. En la figura se aprecian diversos encoders para diferentes tipos de servomotores, cabe señalar que el encoder se encuentra en la parte posterior del servomotor en el interior de la carcasa del mismo. Tomado de Hernández Orozco et al., (2015)

Ventajas de los servomotores

Los servomotores aportan significativamente al desarrollo del módulo es por ello que existen varias ventajas, pues así lo ratifica Crisóstomo & Millavil (2018):

- Precisión en el posicionamiento.
- Precisión en el control de la velocidad.
- Control en todo el rango de velocidad.
- Alto torque estático (velocidad = 0).
- Estabilidad en el torque.
- Capacidad de sobrecarga (hasta 4 veces).
- Performance dinámica (rápida aceleración y desaceleración).
- Compacto y liviano. (p. 12)

Estas ventajas muestran la importancia de la aplicación de un servomotor ya que este permite un correcto posicionamiento y velocidad, además de ello permite mantener estabilidad y compacto liviano.

Servomotor de imanes permanentes tipo AC (Corriente Alterna)

Para comprender de mejor manera acerca del servomotor que se emplea en la práctica es necesario conocer el concepto de un motor eléctrico sin escobillas o motor de Corriente Alterna, es apropiado mencionar que un motor eléctrico no emplea escobillas en el proceso de cambio de polaridad en el rotor de esta manera lo expone Hernández Orozco et al., (2015), los motores eléctricos de antes tenían un motor de delgas o dos anillos rozantes esto produce que exista roce, disminución de rendimiento, emisión de calor y ruido, por ende requiere un exceso de mantenimiento en los carbones esto implica la dispersión de partículas de carbón haciendo que el motor se cubra de carbón, esto puede generar accidentes debido a que el carbón puede ocasionar un cortocircuito en el bobinado del motor.

Al mismo tiempo Hernández Orozco et al., (2015) agrega que los motores de corriente alterna son lo más utilizados debido a que el rendimiento y potencia de estos es mayor y su volumen menor a diferencia de los motores de corriente continua con escobilla, una explicación rápida de esto es que antes para modificar la velocidad de un inversor se debía transformar la corriente alterna en continua y una vez más en corriente alterna provocando modificaciones en la frecuencia, de igual forma para frenar el motor se proporcionaba de forma directa la corriente continua, es por ello que el uso de los motores de corriente alterna es mayor.

Control de velocidad del servomotor

El control de la velocidad de un servomotor puede resultar sencillo ya que no requiere de equipos externos de difícil manejo, los únicos dispositivos que se requieren son: un PLC y el servo drive, Lamponi (2017) expone que mantener el control de la velocidad del servomotor es una tarea simple porque solo se necesita cambiar la frecuencia de la transferencia de impulsos. Si la frecuencia de generación de impulsos es mayor, la carga alcanzará rápidamente la posición deseada. En cambio, si la frecuencia es menor, la carga tardará más en llegar a la posición.

En la investigación Lamponi (2017) afirma que para obtener un control óptimo de la velocidad del servomotor se desarrolló un software que involucra diversas herramientas para poder controlar los servomotores de una manera bastante sencilla, es decir que de esta manera, solo se necesita un cable de programación para controlar el servomotor, brindándole toda la precisión y velocidad que un servo puede ofrecer.

Figura 5

Dispositivos necesarios para el control de velocidad y torque.



Nota. En la figura se aprecia los elementos necesarios para poder realizar el control de posición y velocidad. Tomado de Lamponi (2017)

Control de posición del servomotor

Para tener un óptimo control de posición en los servomotores de CA es necesario la utilización de un aparato de control es por ello que Lamponi (2017) expone que este control de posición se lo realiza con la ayuda de un controlador específicamente para este caso un PLC (Controlador Lógico Programable), este controlador capta señales de entrada mostrando la posición que se requiera del servomotor, para mantener un control de la corriente del motor se usa un algoritmo de control que genera una señal de salida.

Una manera sencilla de comprender cómo se realiza el control de posicionamiento lo explica Lamponi (2017) mediante un ejemplo, suponiendo que un sistema mecánico avance a cien milímetros (100 mm) por cada vuelta del motor, el gira una vuelta cada mil pulsos obtenidos, es decir, que si se emite mil pulsos en el servo drive desde el controlador superior asimilando un controlador lógico programable el motor realizará un avance de cien milímetros. En el caso de que se aplicará un avance de doscientos milímetros (200 mm), es

necesario colocar dos mil pulsos en el servo drive, lo mismo aplica en el caso de que se requiera un avance de trescientos milímetros (300 mm) se debería colocar tres mil en el servo drive, con esto se hace referencia a que se puede realizar un control de posición del servo drive fácilmente.

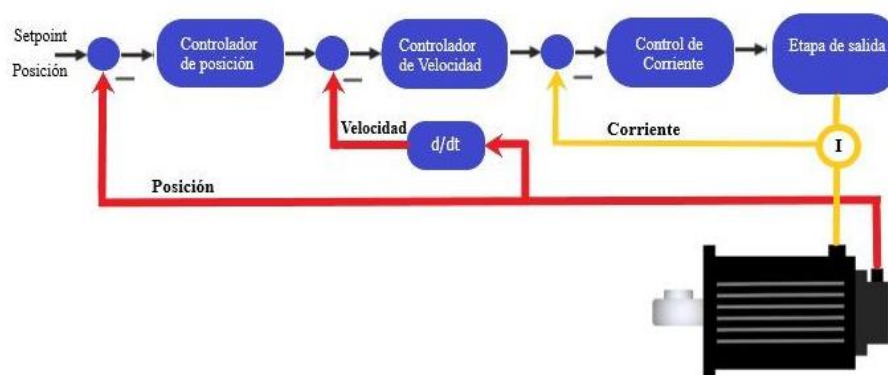
Con este ejemplo se puede observar que el manejo y el control de posicionamiento del servomotor se puede realizar y aplicar de acuerdo a las necesidades que se tenga en el momento de uso y aplicación.

Algoritmos de control

El programa que se diseña y ejecuta en el PLC el algoritmo más popular para el control de variables como la posición son los algoritmos PID así lo detalla Craig (2006) el algoritmo de control más común para el control de posición de un servomotor AC es el control proporcional-integral-derivativo (PID). El algoritmo PID utiliza tres parámetros, ganancia proporcional, ganancia integral y ganancia derivativa, para ajustar la señal de salida del controlador.

Figura 6

Diagrama de control del servomotor.



Nota. En la imagen se aprecia el diagrama de control de posición, velocidad y corriente para el control de torque en lazo cerrado.

Por otra parte Craig (2006) explica que, sobre los tres parámetros ya mencionados anteriormente, la ganancia proporcional permite determinar la cantidad que responde el controlador en cuanto a las desviaciones con respecto a la posición en la que se encuentra el servo y la posición que se desea. En la ganancia integral se obtiene la cantidad de la magnitud como respuesta del controlador al almacenamiento de la desviación en la posición actual del servo y la posición que se necesita. Por último, la ganancia derivativa muestra la cantidad de la respuesta del controlador en la tasa de cambio de la desviación entre la posición actual del servo y la posición esperada, esto se puede observar en el diagrama de control de la Figura 6.

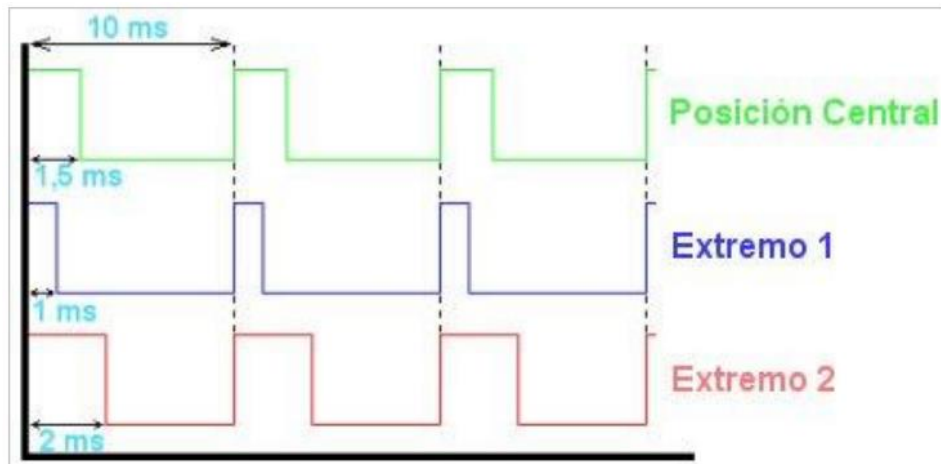
Sensor de posición

El controlador de servomotor utiliza un sensor de posición para determinar la posición actual del servomotor. El sensor de posición más común para los servomotores AC es el encoder. El encoder es un dispositivo que genera una señal eléctrica que representa la posición del rotor del servomotor.

Teniendo en cuenta a López & Morales (2014) indican que el sensor de posición mantiene un control con PWM (Pulse Width Modulation), este funciona creando ondas cuadradas que modifican el tiempo cuando el pulso se encuentra a un nivel elevado permitiendo que mantiene un periodo normal de esta forma se puede configurar la posición del servo de acuerdo a las necesidades. Asimismo, es oportuno mencionar que para que el servo mantenga la posición deseada en un periodo determinado de tiempo se debe colocar de forma continua el pulso apropiado, esto impide que cambie la posición en caso de presentarse alguna fuerza innecesaria, si no se colocan los pulsos el servo se quedará sin fuerza haciendo que ceda su posición de esta manera la fuerza externa podría desplazar su posición.

Figura 7

Diagrama de tiempo.



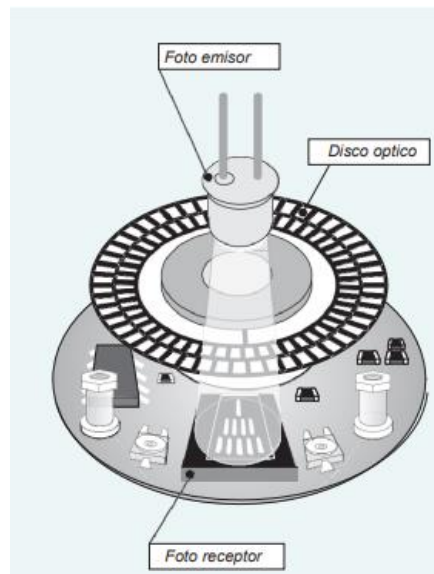
Nota. La figura muestra el diagrama de tiempo para la posición del servomotor. Tomado de López & Morales (2014)

Encoder

El encoder es un dispositivo que conforma el servomotor, se ubica en la parte posterior del mismo y es el encargado de convertir el movimiento angular en señales eléctricas que posteriormente será interpretado por el dispositivo controlador, según expone Sierra (2018) cuando los impulsos generados se encuentran asociados a una cremallera o husillo, se pueden utilizar para controlar el desplazamiento angular o lineal. Las señales eléctricas de rotación se pueden procesar mediante control numérico (CNC), contador lógico programable (PLC), sistemas de control, etc. Las principales aplicaciones de estos sensores son en máquinas herramienta o procesamiento de materiales, robots, sistemas de motores, equipos de medición y control.

Figura 8

Sistema de lectura del encoder.



Nota. En la figura se muestran las partes y el funcionamiento interno del encoder. Tomado de Sierra (2018)

Asimismo Sierra (2018) explica que el sistema de lectura graficado en la Figura 8 se enfoca en la distribución con un reticulado circular, mismo que tiene líneas opacas que va turnándose con espacios transparentes este también se ilumina verticalmente con una fuente de rayos infrarrojos. De esta manera el disco arroja una imagen en la superficie de algunos receptores que están adecuadamente ocultos por otro dispositivo de orientación con el mismo paso que el dispositivo de orientación anterior, llamado colimador. El trabajo del receptor es registrar los cambios de luz que ocurren cuando el disco se mueve y convertirlos en los cambios eléctricos correspondientes.

Entre los tipos de encoder se pueden encontrar en general dos: Incremental y Absoluto los cuales se explican a continuación.

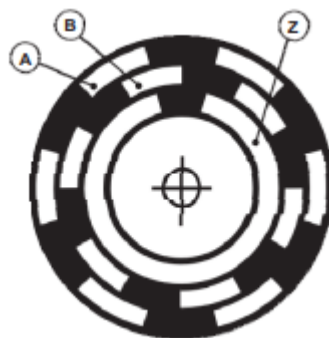
Encoder incremental o relativo:

En cuanto al encoder incremental Sierra (2018) agrega que este por lo general utiliza dos ondas cuadradas con un desfase del 90° entre una y otra, estas normalmente se

denominan "canal A" y "canal B". Al realizar la lectura de solo un canal se puede observar la información de la velocidad de rotación, en cambio si se realiza la lectura del canal B existe la posibilidad de distinguir la velocidad de rotación de acuerdo a la secuencia que produce la señal A y B. Todavía cabe señalar que existe un canal adicional una señal diferente denominada Z o Cero, esta muestra la posición absoluta del eje cero del encoder como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Representación de las señales incrementales A, B y Z.



Nota. En la figura se puede observar el disco óptico con sus respectivos canales. Tomado de Sierra (2018)

Por otra parte Sierra (2018) asegura que existen diferentes factores como el mecánico y el eléctrico que son fundamentales debido a que de estos depende para que un encoder incremental tenga precisión, entre los factores que se consideran está el error que se genera por la lectura electrónica, error de quiebre del retículo, excentricidad de rodamientos y del disco, inexactitud del tipo óptico. El grado eléctrico es usado como la unidad de medida que permite determinar si existe precisión en el encoder, para la rotación mecánica del eje la división es de 360° dando como resultado un ciclo completo en la señal de salida.

Se debe usar la siguiente fórmula para determinar la precisión del encoder, este se denomina grados eléctricos:

Ecuación 1

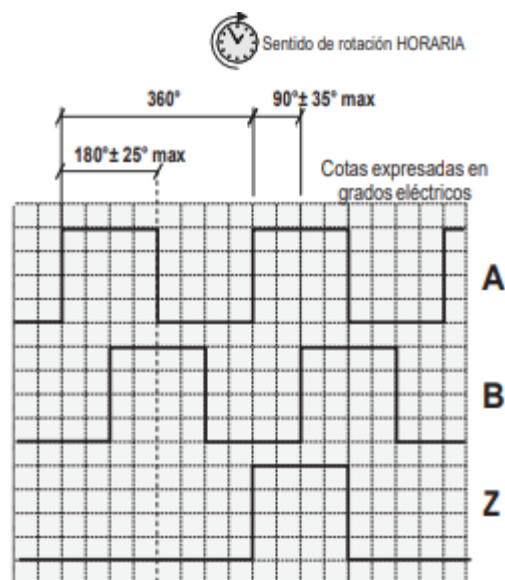
Precisión del encoder.

En la siguiente ecuación se describe el cálculo de la precisión del encoder.

$$360^{\circ} \text{ Elec.} = \frac{360^{\circ} \text{ Mec.}}{N^{\circ} \text{ impulso/giro}}$$

Figura 10

Representación gráfica de las señales incrementales A, B y Z.



Nota. En la figura se compara las señales incrementales con su desfase y la tolerancia de grado eléctrico de error. Tomado de Sierra (2018)

Encoder absoluto

Con respecto al encoder absoluto García (2020) explica que este tiene la misma función que un encoder incremental, la diferencia radica en que cuando se apaga la máquina en conjunto con el encoder se anula la alimentación del encoder, al momento de prender la máquina este envía la codificación absoluta y la más reciente, este encoder se encuentra presente en los encoders de dirección y de altura. En la Figura 11 se muestra un encoder absoluto.

Figura 11

Representación gráfica del disco óptico de un encoder absoluto.



Nota. En la figura se visualiza el disco óptico compuesto de zonas dispuestas radialmente.

Tomado de García (2020)

El encoder absoluto tiene una función en específico pues así lo explica García (2020) el encoder tiene su funcionamiento en la medición la posición angular siendo un método para medir la posición exacta del servomotor, lo que posee un disco graduado que va a ser leído o reflejado por una luz emitido por el fotorreceptor dando un mejor control del servomotor por los anillos que posee dicho disco de igual forma representa el número de bits que se utiliza en el programa que se otorgue en el control del servomotor.

Unidad servo drive

Se puede mencionar que el servo drive es un controlador que ayuda en el proceso de amplificar la señal o disminución de la misma, dentro de la alimentando de esta forma se puede controlar la velocidad y posición. Realiza este control actuando, en último lugar, sobre la corriente que debe ser inyectada a las bobinas del motor en cada instante.

Desde el punto de vista de López & Morales (2014) el funcionamiento del servo drive está enfocado en mantener el control de los servomotores debido a que este usa un conversor que se enfoca en la tensión de entrada, también utiliza un inversor que sirve para la tensión de salida. Una de las características del servo drive es brindar la facilidad al programador para incrementar el rendimiento.

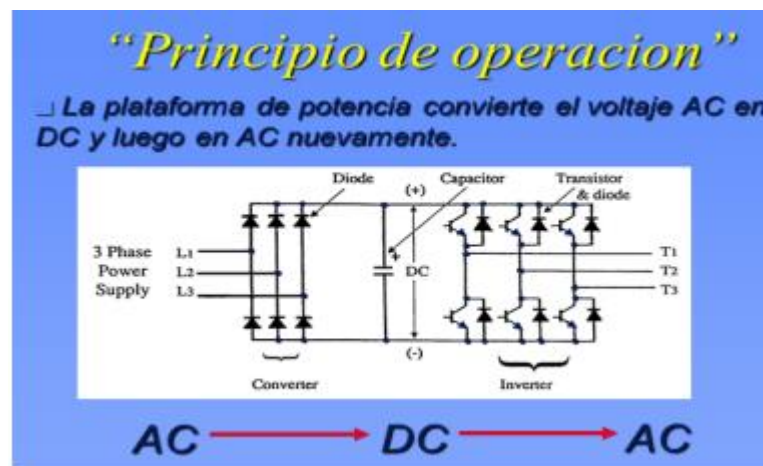
Funcionamiento del servo drive

Dentro de los funcionamientos del servo drive Hernández Orozco et al. (2015) manifiesta que el servo drive funciona enviando trenes de pulsos eléctricos al servomotor para que éste gire a posiciones que el usuario requiera, el servomotor es un dispositivo que calcula a la distancia, la velocidad, la precisión, el torque y el voltaje que debe usar para moverse y tomar la posición deseada. Para realizar el cálculo se debe restar la diferencia entre la posición actual y la del comando la diferencia se denomina error. Por esta razón es importante mencionar que el funcionamiento principal del servo está direccionado a contener el error lo más cercano al cero, esto solo se puede conseguir manteniendo la potencia en el motor interno del servo esto hace que el eje de salida tenga la dirección adecuada que minimice el error.

Siguiendo con el tema Hernández Orozco et al. (2015) expone un caso en el que un servo mantenga un engranaje que no tenga fricción el motor actuará en el eje dándole un movimiento ligero haciendo que el valor del error ya no sea cero, al momento de intentar corregir para que el error sea cero el servo emplea potencia en el motor en sentido opuesto, esto se identifica con la ayuda del CPU.

Figura 12

Principio de operación del servo drive.



Nota. En la figura se presenta el diagrama esencial del servodrive el cual se asemeja al del variador de frecuencia. Tomado de Hernández Orozco et al. (2015)

Asimismo Hernández Orozco et al. (2015) exponen aspectos que se deben considerar en cuanto al funcionamiento del servo drive:

- El servo drive debe ser calibrado para que se pueda asociar cuantitativamente el par motor real con el valor numérico del par motor registrado en la placa, esto permite mantener una calibración típica.
- Se debe considerar las curvas de calibración ya que éstas son diferentes tanto para el diseño como para el tamaño del servo.
- Para los casos reales por lo general existe una fricción en el engranaje está se debe considerar debido a que el par motor en el proceso de medición está en el eje del motor más no en el de salida.
- En el proceso de identificación de la posición del rotor se equipa el servomotor con aparatos como resolver, encoder, etc. Estos rotan en sentido con el eje del servomotor y así comunica la posición al servo drive. Los aparatos se distinguen por su capacidad de retención de la información, posición, conexión, resolución, robustez, etc.

Controlador lógico programable (PLC)

Para comprender de mejor manera Burbano (2022) expresa que un PLC o controlador lógico programable es un instrumento que posee varias funciones como las de almacenar información, emplear indicaciones, realizar cálculos, operaciones lógicas, todo esto para generar un control en el módulo de entrada y salida, se puede emplear de forma analógica o digital en distintas máquinas o procesos Controladores Industriales Inteligentes.

A su vez Burbano (2022) añade que un controlador lógico programable tiene varios beneficios como los de mantener las interfaces en rangos idóneos tanto en las entradas como en las salidas, se mantiene libre de ruido eléctrico, se resiste al impacto y vibración. Es apropiado agregar que en los PLC resalta la capacidad de operación en el tiempo real, es decir que el tiempo en la ejecución de acciones es menor siempre y cuando sean favorables las condiciones de entrada, también se adapta al proceso que se requiera es muy flexible a la hora de reprogramar las tareas.

Figura 13

Controlador Lógico Programable (PLC) marca Delta Serie SS2.



Nota. En la figura se aprecia el Controlador Lógico Programable (PLC) Delta Serie SS2.

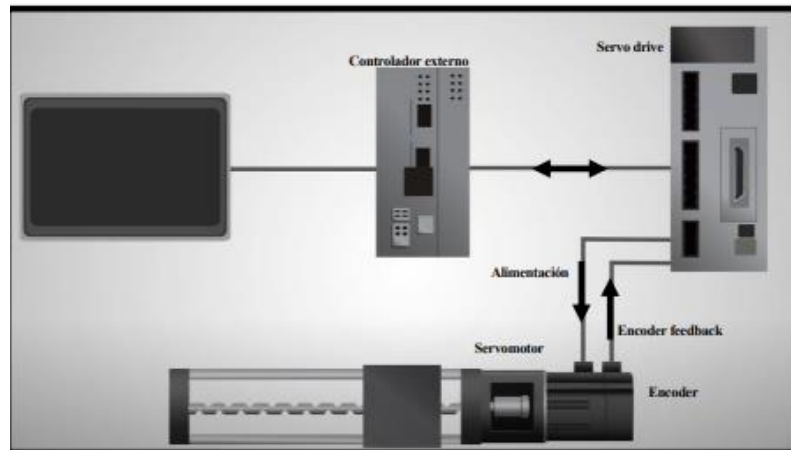
Tomado de NVS (2024)

Un ordenador posee varias ventajas es por ello que Hernández Orozco et al. (2015) enlistan algunas de ellas a continuación:

- **Potencialidad:** Crea acciones para mantener el control en situaciones complejas.
- **Control multivariable:** Puede controlar al mismo tiempo algunos procesos o variables en la misma fase.
- **Flexibilidad:** Permite realizar cambios en las estrategias de control, modificaciones y al momento de sustituir el programa.
- **Precisión:** Puede generar la precisión deseada.
- **Inmunidad:** Las señales digitales permiten que exista ausencia de ruido y distorsión, puede regenerarse siempre y cuando sea necesario.
- **Versatilidad:** La función de control permite el cálculo de otras funciones como informes, emisión de alarmas, estadísticas al mismo tiempo.

Figura 14

Lazo de control (cerrado) de un servomotor.



Nota. En la figura se observa que el PLC recibe y envía señales de control hacia el servodrive y este envía comandos de funcionamiento al servomotor. Tomado de Fraile (2021)

Protocolos de comunicación del Plc

Existen varios protocolos de comunicación que contienen indicaciones o normas que muestran una guía para el traspaso de información, esto permite que se emplee de manera adecuada en las máquinas o programas que se esté usando, a continuación, se explica algunos:

Protocolo RS 485

El protocolo de comunicación RS-485 se utiliza comúnmente en controladores lógicos programables (PLC) para la transmisión de datos entre dispositivos. RS-485, también conocido como TIA-485 o EIA-485, es un estándar de interfaz eléctrica que define las características de los controladores y receptores del protocolo de comunicación.

Capa física: Como explica Harris (2021) la comunicación RS-485 es un estándar de sistema multipunto que utiliza una línea de transmisión de datos de par diferencial balanceado. Permite hasta 32 conductores en un sistema y admite comunicación a

distancias de hasta 1200 metros. Las velocidades en baudios pueden oscilar entre 110 baudios y 115200 baudios.

Inmunidad al ruido: Una de las ventajas del RS-485 es su inmunidad al ruido. Como lo expone Kelly (2020) funciona eficazmente en entornos eléctricamente ruidosos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones industriales donde puede haber interferencias.

Comunicación multinodo: RS-485 permite la comunicación entre múltiples nodos en el mismo bus. Esto significa que se pueden conectar múltiples dispositivos, incluidos PLC, a la red RS-485 e intercambiar datos.

Interfaz serie: RS-485 es un protocolo de comunicación serie, lo que significa que los datos se transmiten a un bit a la vez a través de un solo cable o un par de cables. Se utiliza comúnmente para conectar PLC a diversos dispositivos, como sensores, actuadores e interfaces hombre-máquina (HMI).

Es importante tener en cuenta que RS-485 en sí no define un protocolo de comunicación específico. Sólo especifica las características eléctricas de la interfaz. El protocolo real utilizado para la transmisión de datos, incluido el formato, la velocidad y la estructura del mensaje, puede variar según la aplicación específica y los dispositivos involucrados.

En los sistemas PLC, el protocolo RS-485 suele implementarse junto con otros protocolos, como Modbus RTU o Profibus, para permitir la comunicación entre el PLC y otros dispositivos de la red.

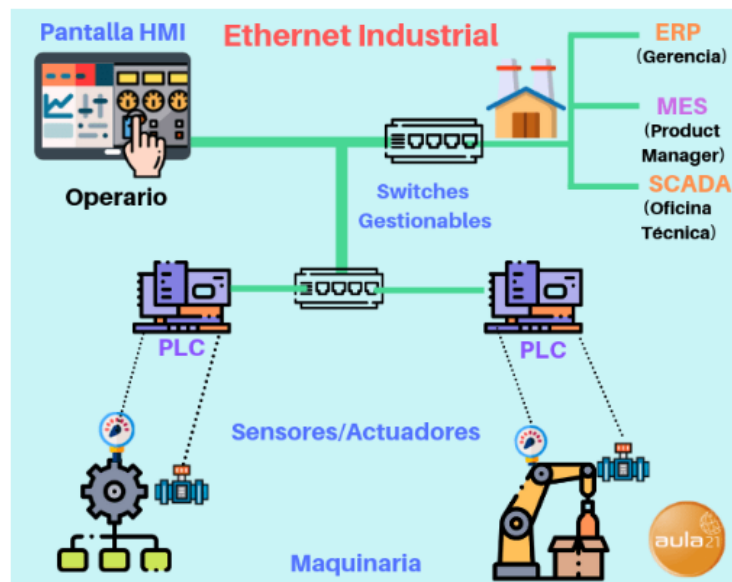
Ethernet

En cuanto al Ethernet Pardo & Toro (2015) agregan que es líder en la automatización ya que aporta en la transferencia de dato, de alta velocidad además de que brinda facilidades al momento de instalar y dar mantenimiento a un bajo precio, esta se ha adaptado a diferentes protocolos como Profibus, Modbus y CIM. La velocidad que maneja el Ethernet es de 10/100/1000 Mbit/s, la transmisión puede ser mediante medios inalámbricos,

electrónicos u ópticos, su alcance máximo es de 1.5Km y 4,3Km con un soporte de 1024 terminales máximo.

Figura 15

Ejemplo de comunicación Ethernet.



Nota. En la figura se observa un diagrama básico para comprensión del protocolo Ethernet industrial. Tomado de Centro de formación técnica para la Industria (2019)

HMI

En un proceso automatizado es importante el control del usuario con la máquina, es por eso que HMI es el intermediario para que ambas partes puedan comunicarse, una interfaz hombre - máquina aporta una optimización de los procesos así lo recalcan Carrión & Romero (2012), las siglas de HMI son la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina, estos pueden ser usados como la ventana en un proceso, así se puede visualizar en la Figura 16.

Figura 16

Pantalla táctil HMI marca DELTA.



Nota. En la figura se ilustra el control y monitoreo de las variables que se lo realiza desde la Pantalla HMI. Tomado de MCS (2018)

Continuando con la explicación Carrión & Romero (2012) exponen que la ventana puede ser colocada en dispositivos como una computadora o paneles de operador, el HMI controla y monitoriza, para entender mejor cómo funciona el HMI, dentro del proceso emite señales estas son dirigidas al HMI con la ayuda de controladores con sistemas de entrada y salida como por ejemplo un Controlador lógico programable (PLC) o Variadores de velocidad de motores (DRIVE), es relevante mencionar que estos controladores deben tener un interfaz de comunicación con el HMI para que funcionen.

Funciones del HMI

El HMI posee varias funciones que Carrión & Romero (2012) enlistan detalladamente a continuación:

- a) **Monitoreo.** - Muestra y obtiene los datos en tiempo real, los datos pueden ser presentados en números, gráficos o textos fáciles de interpretar y leer.
- b) **Supervisión.** - En conjuntos con el monitoreo ayuda a adecuar o cambiar los datos deseados, estos se pueden insertar con la computadora.
- c) **Alarma.** - Recuerda y reporta eventos peculiares dentro de un proceso, las alarmas se presentan de acuerdo a los límites predeterminados.

- d) **Control.** - Permite colocar algoritmos que permiten adaptar valores del proceso de esta manera se puede tener valores dentro de los límites deseados.
- e) **Histórico.** - Ayuda a mantener datos almacenados en archivos durante el proceso en una frecuencia determinada, el almacenamiento aporta a optimizar y corregir el proceso.

Fundamentación conceptual

Disco óptico de encoder

Es un disco graduado con un reticulado radial que está formado por líneas opacas.

Control vectorial

Técnica de control que permite controlar de forma independiente el par y el flujo magnético del motor. Esto se consigue mediante la transformación de las tres corrientes de fase del motor en dos componentes vectoriales, uno que representa el flujo magnético y otro que representa el par.

PWM

La modulación de ancho de pulsos (PWM) es un sistema de control donde se ve y se controla el ciclo de trabajo con un control cerrado para su respectiva retroalimentación con control periódico y cíclico, donde se envía la información a través de medios de comunicación.

Electrodinamómetro

Es un instrumento de medición electromecánico utilizado para medir corrientes y tensiones eléctricas, tanto continuas como alternas. Su funcionamiento se basa en los principios del electromagnetismo, específicamente en la interacción entre dos bobinas conductoras por las que circula corriente sensor less.

Fundamentación legal

En cuanto a la Fundamentación Legal se ha considerado el marco legal de la norma ISO 17025 que se enfoca en que los laboratorios tenga la capacidad para generar resultados confiables y válidos, el Ministerio de Industrias y Productividad (2017) menciona que “los laboratorios deben de contar con el equipamiento necesario para las actividades que se desarrollen en el mismo” por lo que es importante el desarrollo del presente proyecto para complementar los equipos existentes en el laboratorio de máquinas eléctricas, la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE utiliza equipos de la marca LabVolt por lo que las dimensiones del módulo de este proyecto deberá estar acorde con las que existen en el laboratorio, esto se profundiza mejor en el capítulo de diseño.

De la misma manera el Ministerio de Industrias y Productividad (2017) manifiesta que los cumplimientos de parámetros de seguridad en un laboratorio deben ser adecuados, con sus debidas protecciones y técnicas de verificación de los equipos. Es fundamental añadir que el módulo del prototipo de servomotor cuenta con las revisiones del docente encargado del laboratorio que aprobó el diseño, además para su posterior entrega se capacita al docente acerca de la calibración del equipo ya que como lo explica la norma, todos los equipos deben de ser calibrados periódicamente.

Cumplir con la norma ISO 17025 ayuda al laboratorio a garantizar la fiabilidad de sus equipos a los estudiantes ya que se necesita de una inspección periódica para identificar equipos que necesiten de mantenimiento y además el buen manejo para alcanzar los objetivos propuestos.

En cuanto normas de seguridad eléctrica, además de los que cuenta en el laboratorio, para este proyecto se adquirió elementos de protección como interruptor termomagnético y diferencial que aportan seguridad al equipo y al operario, adicional para el cableado de los elementos eléctricos se utilizó el calibre de cable que está normado en la norma NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción) para instalaciones eléctricas según la corriente que pasa por los conductores, para una mejor conducción eléctrica se utiliza

terminales eléctricas que se acoplan a los dispositivos eléctricos electrónicos por medio de tornillería.

Diseño concurrente

Mendoza & López (2017) aluden que un diseño concurrente se centra en la elaboración de productos y diseños al mismo tiempo, este va direccionado a emplear soluciones integrales que sean de carácter aplicable y fundado en actividades colaborativas.

En consecuencia, a lo anterior este proyecto de titulación optó por la metodología de diseño concurrente, se eligió este modelo por el enfoque que le da al diseño, integrando las actividades de diseño, fabricación y pruebas en un proceso continuo. Este diseño garantiza que el módulo se mantenga operativo constantemente.

Diseño detallado

El diseño detallado del prototipo se presenta en el Capítulo III de este trabajo de titulación, en este se muestra el proceso de creación y el diseño empleado para la elaboración del prototipo.

Fabricación

Una vez elaborado el diseño la implementación del prototipo se detalla en el Capítulo IV de este trabajo de titulación, en este se observa el material que se empleó durante el proceso de fabricación, así como los dispositivos implementados.

Pruebas

Las pruebas se encuentran detalladas en el capítulo V de este trabajo de titulación, estas ayudaron a corregir los márgenes de error en las pruebas de corriente, voltaje, posicionamiento y velocidad, además de que ayudó a constatar el óptimo funcionamiento del prototipo.

Implementación

Una vez empleados los cambios y ajustes necesarios se realizó la implementación del prototipo en los módulos pertinentes sin problema, esto se puede observar en el capítulo IV de este trabajo de titulación.

Hipótesis y variables

Hipótesis

La implementación de un prototipo de servomotor de corriente alterna (AC) en el laboratorio de Máquinas Eléctricas permitirá desarrollar prácticas de control de velocidad y posición en máquinas rotativas.

Variable independiente

Implementación de un módulo didáctico de servomotor de corriente alterna (AC).

Variable dependiente

Prácticas de velocidad con el 5% de error.

Control de Posicionamiento con el 5% de error.

Capítulo III

Diseño del Prototipado

Dimensionamiento eléctrico

Para el dimensionamiento eléctrico se tomó en cuenta los datos técnicos del módulo Electrodinamómetro que existe en el laboratorio de máquinas eléctricas como se muestra en la Figura 17, a continuación, detalla las características:

PAR: 0-3 N-m

VELOCIDAD: 250-5000 r/min

Voltaje de alimentación: 120 V AC

Se debe considerar a los motores y generadores que su velocidad máxima es de 1800 r/min en cambio los motores.

Figura 17

Módulo Electrodinamómetro.



Nota. En la imagen se aprecia el módulo electrodinamómetro que se utiliza para pruebas de motores en el laboratorio de máquinas eléctricas.

Selección de servomotor

Para la selección del servomotor se ha de tener en cuenta las características eléctricas, mecánicas y al tipo de plc que se puede utilizar.

Figura 18

Servo drive de la marca Siemens.

SIMOTICS S-1FK2 servomotor							SINAMICS S210 servo converter (1 AC series) Supply voltage 200 ... 240 V 1 AC			MOTION-CONNECT motor connection cable	
Shaft height	Static torque	Maximum torque	Rated speed	Rated power 230 V	Rated torque	Article No.	Rated power 230 V	Frame size	Article No.	Article No.	
	M_0 Nm (lb _r -ft)	M_{max} Nm (lb _r -ft)	n_N rpm	P_N kW (hp)	M_N Nm (lb _r -ft)		P_N kW				
High Dynamic for highly dynamic applications							SINAMICS S210 servo converter			One Cable Connection	
20	0.16 (0.12)	0.56 (0.41)	3000	0.05 (0.07)	0.16 (0.12)	1FK2102-0AG-...-A0	0.1	FSA	0-1	6FX002-8QN04-1	
	0.32 (0.24)	1.11 (0.82)	3000	0.1 (0.13)	0.32 (0.24)		0.1	FSA			
30	0.64 (0.47)	1.95 (1.44)	3000	0.2 (0.27)	0.64 (0.47)	1FK2103-2AG-...-A0	0.2	FSA	0-2	6FX002-8QN04-1	
	1.27 (0.94)	4.05 (2.99)	3000	0.4 (0.54)	1.27 (0.94)		0.4	FSB			
40	1.27 (0.94)	3.75 (2.77)	1500	0.2 (0.27)	1.27 (0.94)	1FK2104-4AF-...-A0	0.2	FSA	0-2	6FX002-8QN08-1	
	1.27 (0.94)	3.85 (2.84)	3000	0.4 (0.54)	1.27 (0.94)		0.4	FSB			
	2.4 (1.77)	7.5 (5.51)	1500	0.375 (0.28)	2.4 (1.77)	1FK2104-5AF-...-A0	0.4	FSB	0-4	6FX002-8QN08-1	
	2.4 (1.77)	7.6 (5.61)	3000	0.75 (1.01)	2.4 (1.77)		0.75	FSC			
3.2	10	1500	0.5	3.2	1FK2104-6AF-...-A0	0.75	FSC	0-8	6FX002-8QN08-1		

Nota. Datos del fabricante de la marca Siemens donde nos muestra las características de servodrive y servomotor. Tomado de SIEMENS (2023)

Figura 19

Servo drive de la marca WECON.

VD1 Servo and Motor Product Line-up

Voltage Class	Servo Drive			Motor				Remarks
	Power (KW)	Model	Drive Type	Frame Size	Model	Rated Speed (rpm)	Rated Torque (N.m)	
220V	0.4	VD1-040SE1G	Type A	60	WD60M-04030S-E1B	3000	1.27	Brake not supported in VD1 Servo
		VD1-040SE1G5		80	WD80M-04030S-E1B	3000	1.27	
		VD1-040SE1G5		60	WD60M-04030S-E1F	3000	1.27	
	0.75	VD1-075SE1G	Type A	80	WD80M-07530S-E1B	3000	2.39	
		VD1-075SE1G5		80	WD80M-07530S-E1F	3000	2.39	
		VD1-075SE1G-20S		80	WD80M-07520S-E1B	2000	3.5	

Nota. Características del servodrive y servomotor de la marca Wecon. Tomado de Wecon Technology Co., Ltd. (2021)

Figura 20

Especificaciones de los tipos de motores.

Servo driver			Servo motor			
Driver model	Supply voltage	Size	Motor model	Motor power	Rated speed	Rated torque
EA350-0R9-1B	Single-phase AC220V	SIZE A	SES04-005-30-2□AY□	50W	3000rpm	0.16Nm
EA350-1R6-1B			SES04-0R1-30-2□AY□	100W	3000rpm	0.32Nm
EA350-2R5-1B			SES06-0R2-30-2□BY□	200W	3000rpm	0.64Nm
EA350-3R5-1B			SES06-0R4-30-2□BY□	400W	3000rpm	1.27Nm
EA350-4R8-2B			SES08-0R7-30-2□BY□	750W	3000rpm	2.38Nm
EA350-6R2-2B	Single-phase or three-phase AC220V	SIZE B	SES08-1R0-30-2□BY□	1000W	3000rpm	3.18Nm
			SER13-1R0-10-2□BY□	1000W	1000rpm	9.55Nm
			SER13-1R0-20-2□BY□	1000W	2000rpm	4.77Nm
			SER13-1R0-30-2□BY□	1000W	3000rpm	3.18Nm
EA350-011-2B	Three-phase AC220V		SER13-1R5-10-2□BY□	1500W	1000rpm	14.32Nm
			SER13-1R5-20-2□BY□	1500W	2000rpm	7.16Nm
			SER13-1R5-30-2□BY□	1500W	3000rpm	4.77Nm

Nota. En la figura se puede observar la selección del servomotor compatible para el electrodinamómetro existente en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armada ESPE extensión Latacunga. Tomado de Shenzhen Sine Electric Co., Ltd & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd, (2022)

Selección del servodrive

Para la selección del servodrive se toman en cuenta los parámetros de cada uno y escogiendo el adecuado dependiendo de las características de los equipos del laboratorio de máquinas eléctricas al cual van a ser acoplados mecánicamente.

Se verificará el cumplimiento ya sea parcial o total para la implementación del módulo didáctico en el cual se considera que los equipos existentes en el laboratorio de Máquinas eléctricas ya tienen una trayectoria de vida y se requiere un equipo que tenga gran torque.

Lo cual va a tener una ponderación de la siguiente manera correspondiendo un porcentaje para cumplir con la expectativa del 100% de tendrá lo siguiente:

1. malo = 20%
2. regular = 50%
3. bueno = 75%
4. excelente = 100%

La calificación será a los siguientes parámetros como es la potencia del motor, el torque, la velocidad y el Voltaje.

Tabla 1

Comparación de las características dependiendo la marca.

Tipo de servo drive	Potencia del motor (W)	Ponderación	Torque (Nm)	Ponderación	Velocidad (rpm)	Ponderación	Voltaje (v)	Ponderación	Porcentaje final
SIEMENS	0.75	4	2.4	3	3000	4	220	4	93.75 %
WECON	0.75	4	2.39	3	3000	4	220	4	93.75 %
SINEE	0.75	4	2.38	4	3000	4	220	4	100%

Nota. Debido a las condiciones que disponen en el laboratorio por la antigüedad de los equipos se va a seleccionar al de menor torque, lo cual ayudará a no forzar a los equipos.

Se selecciona el equipo de la marca SINEE por lo que cumple los parámetros para proceder con la construcción del prototipo.

Se procede a la conexión eléctrica con los siguientes parámetros del Manual técnico para el servo controlador de tipo pulso analógico EA350 de la marca SINEE se seleccionó un servomotor con las características similares a lo mencionado anteriormente como es:

PAR: 2,38 N-m

VELOCIDAD: 3000 r/min

Diagrama de conexión del servo drive

De acuerdo a la aplicación que se le dará al servomotor, el tipo de servomotor y las conexiones del servodrive pueden variar, para la aplicación didáctica se realizarán las conexiones presentadas en la figura 22, y en la figura 21 se puede diferenciar las borneras

que posee cada tipo de servo drive para la conexión al servomotor y al dispositivo de control que ente caso será el PLC Delta Serie SS2.

Figura 21

Disposición de los terminales del circuito principal y el tamaño de los tornillos.

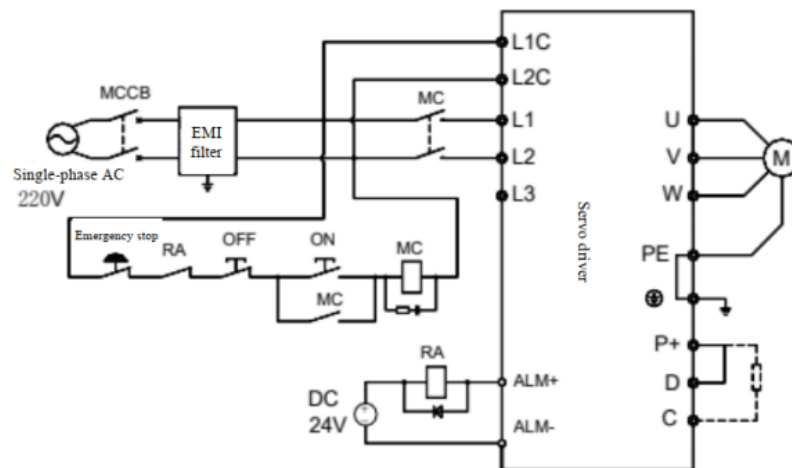
EA350-0R9-1B EA350-1R6-1B EA350-2R5-1B		EA350-4R8-2B EA350-6R2-2B		EA350-011-2B EA350-5R6-3B EA350-8R5-3B EA350-013-3B		EA350-017-3B EA350-022-3B EA350-028-3B		Driver specification	Main circuit terminal	
									Screw size	Locking torque
								EA350-0R9-1B EA350-1R6-1B EA350-2R5-1B	None	-
								EA350-4R8-2B EA350-6R2-2B	None	-
								EA350-011-2B EA350-5R6-3B EA350-8R5-3B EA350-013-3B	M4	2.5N.m
								EA350-017-3B EA350-022-3B EA350-028-3B	M4	2.5N.m
								Driver specification	PE ground terminal	
									Screw size	Locking torque
								EA350-0R9-1B EA350-1R6-1B EA350-2R5-1B	M4	2.5N.m
								EA350-4R8-2B EA350-6R2-2B	M4	2.5N.m
								EA350-011-2B EA350-5R6-3B EA350-8R5-3B EA350-013-3B	M4	2.5N.m
								EA350-017-3B EA350-022-3B EA350-028-3B	M4	2.5N.m

Nota. Los tipos de conectores que se puede apreciar en la figura muestra la forma de conexión al no ser por tornillos su apertura es por medio de una palanca de plástico.

Tomado de Shenzhen Sine Electric Co., Ltd & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd, (2022)

Figura 22

Cableado de alimentación monofásico.



Nota. En la figura se muestra el cableado de alimentación monofásica que se empleará, Tomado de Shenzhen Sine Electric Co., Ltd & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd, (2022)

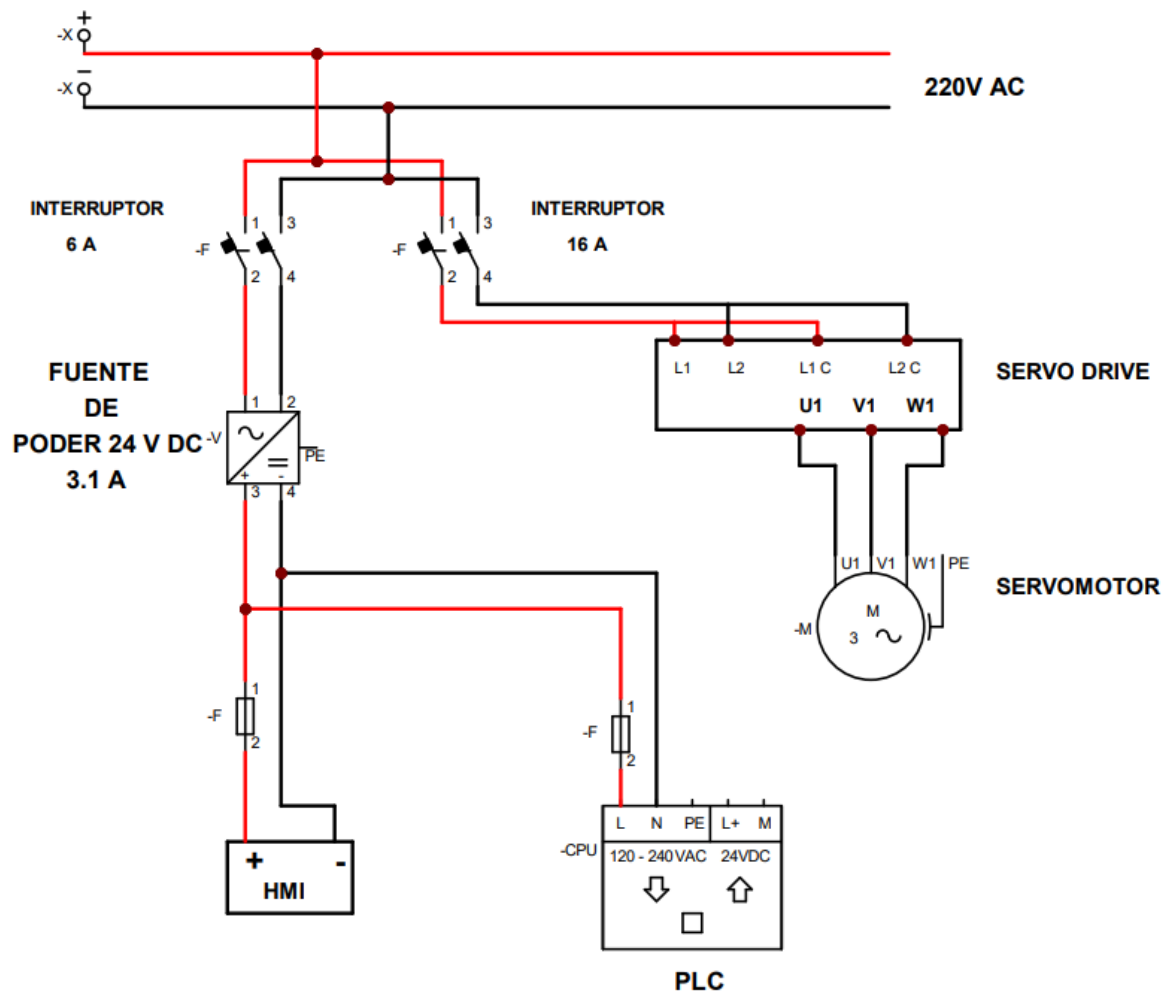
Dentro del dimensionamiento se puede apreciar la conexión de 220V AC a las respectivas protecciones, como estos son interruptores termomagnéticos de 6 amperios protege al servo drive y al servomotor.

Diagrama eléctrico del módulo servomotor

Asimismo, se integra el interruptor termomagnético de 2 Amperios que protege a la fuente de poder de 24V y a las salidas del plc de 3.1A. También posee dos fusibles el primero está direccionado al HMI y al PLC mientras que el segundo protegerá a las salidas del PLC.

Figura 23

Dimensionamiento eléctrico de la conexión del módulo.



Nota. La figura muestra la conexión eléctrica que posee el prototipo elaborado en el programa CADe SIMU.

Dimensionamiento mecánico

Para el dimensionamiento mecánico se ha tomado como referencia la estructura que existen en el laboratorio donde se encuentran varios módulos didácticos para los estudiantes como se aprecia en la Figura 24, en este lugar se almacenará el prototipo y para realizar pruebas de funcionamiento y control el módulo se colocará en el gabinete de prácticas del laboratorio de máquinas eléctricas de la universidad como se aprecia en la Figura 25.

Figura 24

Módulos didácticos.



Nota. La figura muestra los módulos a los que se dimensionó el servomotor.

Figura 25

Gabinete de práctica.



Nota. La figura muestra el gabinete de prácticas para módulos eléctricos del laboratorio de Máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE mismo en el que se colocará el prototipo.

Al tener un lugar específico en el que se ubicará el módulo a construir es obligatorio dimensionarlo conforme respecto a los demás módulos del laboratorio, caso contrario no tendría funcionalidad para el laboratorio.

Una vez obtenidas las dimensiones se adapta la estructura al servomotor, el servo drive, el HMI y los respectivos conectores de alimentación.

Interfaz hombre-máquina

En la interfaz de programación se considera un HMI de 4" el cual ayuda a introducir parámetros y variar la velocidad o la posición en grados de forma manual de acuerdo a las necesidades, con la ayuda del software DELTA IA HMI DOPSoft 4-00-16-30, se puede configurar y modificar las pantallas implementadas, lo que también ayuda a la comunicación con el HMI.

Para su diseño se coloca el logo de la universidad, de la carrera, texto y los botones para movilizarse de una pantalla a otra.

El tipo de comunicación es RS 485 para la comunicación con el PLC y la pantalla, esto ayuda a tener una mejor manipulación y visibilidad que en el servo drive. Para la implementación de los parámetros del HMI se empieza con la parte de la carátula donde se puede apreciar en la figura 26 una estructura simple para un manejo adecuado de los alumnos.

Figura 26

Carátula del prototipo implementado.



Nota. En la figura se aprecia la carátula de la HMI con el tema, autores y el docente a cargo.

La carátula será siempre la pantalla de inicio de la HMI. al desplegar la flecha que se encuentra en la parte inferior derecha se encuentra las opciones de control que se pueden realizar.

Figura 27

Prácticas disponibles del módulo.



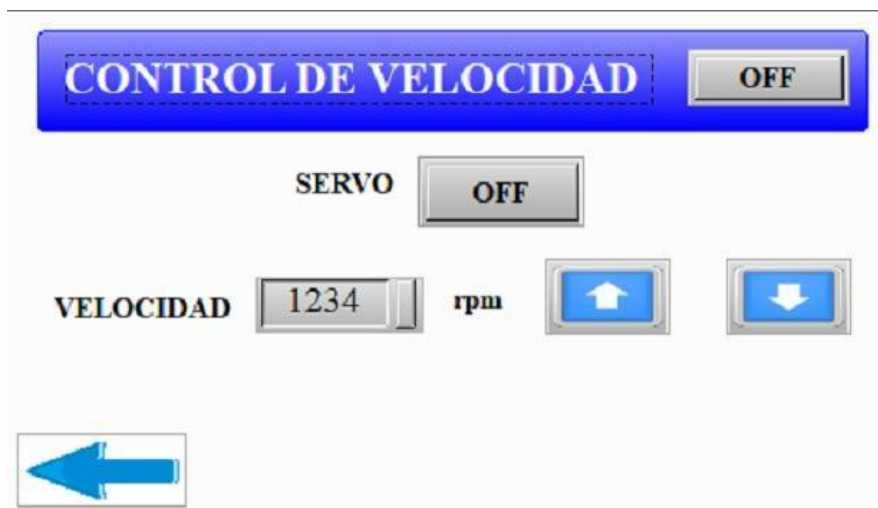
Nota. En la figura se indica la pantalla con los tipos de control que el usuario puede elegir.

En la Figura 27 se puede apreciar una interfaz de los distintos tipos de práctica que se puede emplear con distintas opciones a elegir como es la práctica de velocidad y posición, en la esquina superior derecha se muestra una flecha hacia la izquierda el cual permite regresar a la carátula.

Al seleccionar el control de velocidad se despliega una pantalla que contiene algunas opciones de control que fueron ideadas para que sean lo más fáciles de entender para los estudiantes.

Figura 28

Módulos de control de velocidad.



Nota. En la figura se muestra la pantalla de control de velocidad con diferentes opciones para modificar la velocidad.

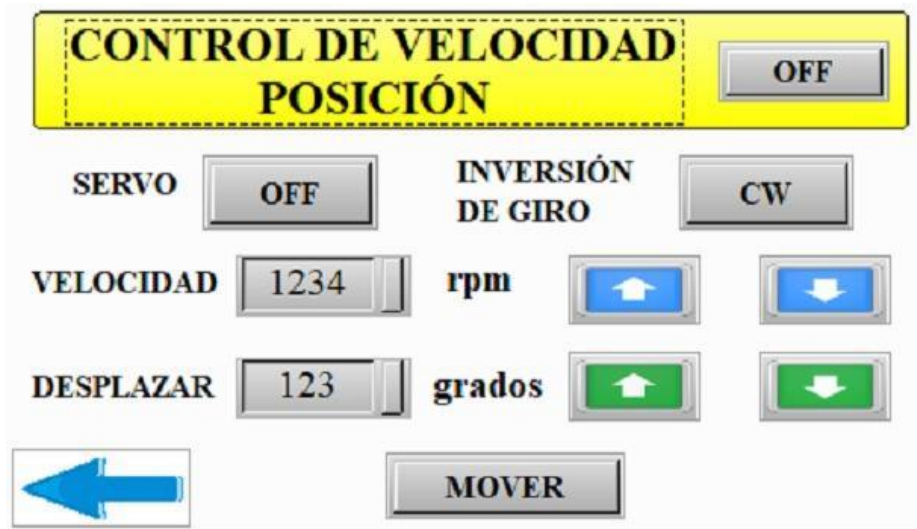
Dentro de la interfaz de control de velocidad Figura 28 se puede apreciar los diferentes tipos de botones donde existen dos botones off el cual cada uno dispone de su función específica para poder ser operado el servomotor, el botón off del control de velocidad permite seleccionar la práctica control de velocidad, el siguiente botón off es el bit de activación del servomotor que permite que esté listo para su funcionamiento y empieza a operar.

En el apartado velocidad permite visualizar las revoluciones del motor al igual que permite ingresar la velocidad por teclado, las dos flechas que se visualiza en la parte permiten controlar aumentando o disminuyendo la velocidad respectivamente.

Y por último la flecha de la izquierda que permite regresar a la pantalla donde se puede seleccionar la siguiente práctica que es el control de posición.

Figura 29

Control de velocidad posición.



Nota. La figura expuesta muestra la pantalla de control de posicionamiento que además integra la velocidad del desplazamiento.

Para el control de velocidad posición la interfaz permite controlar la velocidad a la cual se quiere que gire y los grados de rotación, de la misma forma dispone de dos botones off, como se explicó anteriormente para el caso del control de velocidad es para poder seleccionar la práctica y activar el bit de arranque.

En esta práctica se dispone de un botón con el nombre (CW) el cual permite que el motor cambie de dirección.

En el parámetro de velocidad se puede cambiar manualmente por teclado y con los botones que permite subir o disminuir la velocidad.

El parámetro desplazamiento ayuda a ingresar en números el valor de los grados que ayuda que gire el servomotor, todo valor debe ser entero.

Por último, el botón de MOVER permite mover o activar el giro del servomotor.

Para el regreso a la interfaz de las prácticas se dispone del botón en forma de flecha hacia la izquierda que se encuentra en la parte inferior izquierda.

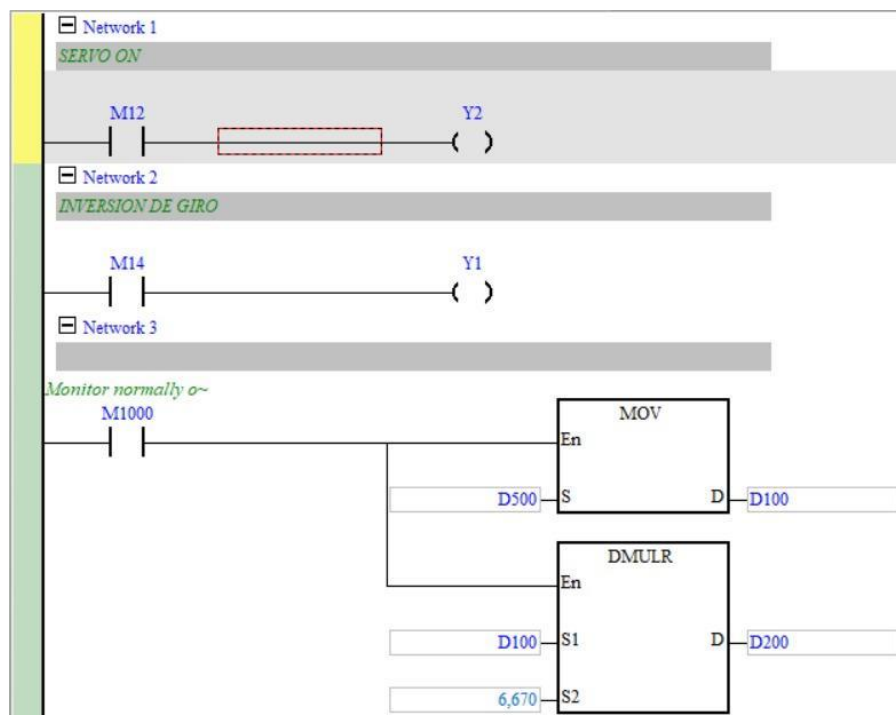
Es necesario considerar que la velocidad sea baja para que se pueda observar el cambio de grados que realiza el servomotor.

Desarrollo del programa del PLC

El control del servomotor se lo realiza en dos etapas, primero se envía las órdenes al servodrive y posteriormente este envía el tren de pulsos al servomotor, para poder realizar el control del motor es necesario contar con un PLC y realizar un código de programa en lenguaje Ladder, en la figura 30 se puede observar el código de programación para encender el motor, la inversión de giro y el tren de pulsos para variar la velocidad.

Figura 30

Inicio de código del PLC, bit de activación, inversión de giro y velocidad del servomotor.



Nota. En la figura mostrada se aprecia las líneas de programación en lenguaje Ladder.

La vía de comunicación entre el PLC y el servodrive es unidireccional donde las entradas del servodrive se conectan hacia las salidas del PLC.

La interpretación de las líneas de código de programación son las siguientes:

La variable M12 ayuda a guardar en la memoria del PLC el bit de activación que permite al servomotor entrar en modo operativo.

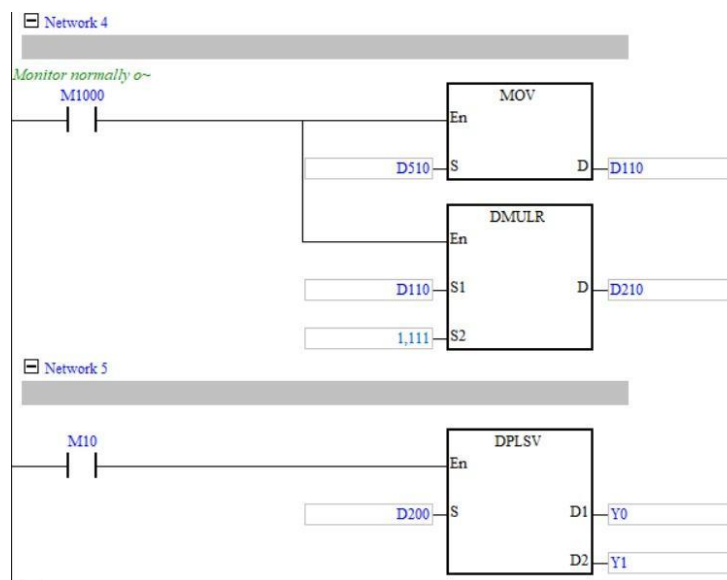
La variable M14 permite guardar en la memoria del PLC la orden de cambio de giro.

En la memoria M1000 existen dos parámetros, MOV permite mover el comando de velocidad al parámetro D100.

El parámetro DMULR ayuda haciendo un arreglo para limitar la velocidad máxima del servomotor que es de 3000 rpm, por lo se usan pulsos para el control de velocidad en este caso es 20000 pps que equivale a la velocidad máxima del servomotor, y lo guarda en el parámetro D200.

Figura 31

Control de Posición.

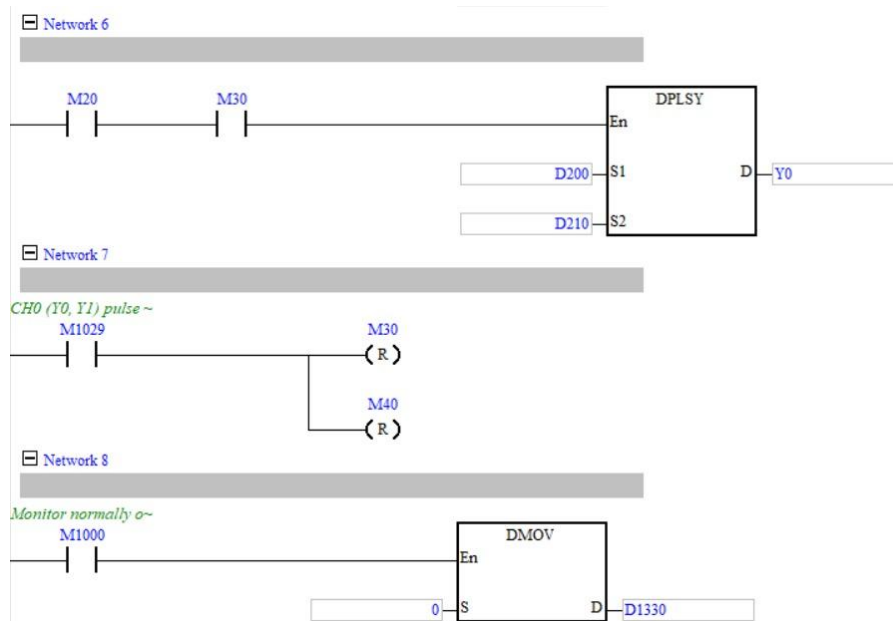


Nota. La figura muestra las líneas de programación para el control de posición.

Para el control de posición se realiza el ajuste utilizando 400 pps (pulsos por segundo) que equivale a 360°, lo que le hacen un ajuste para que sea el control preciso.

Figura 32

Control del cambio de giro para el control de posición.

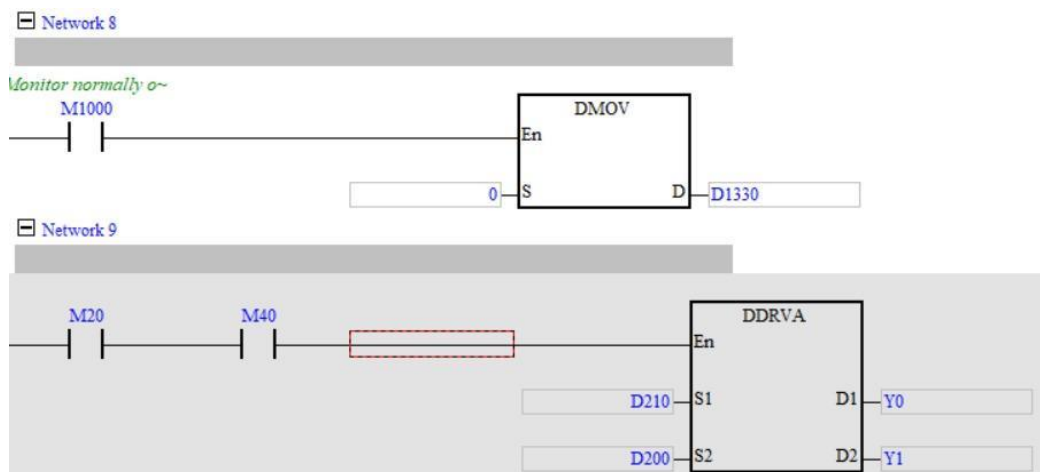


Nota. En la figura se visualiza la programación utilizada para realizar el cambio de giro del servomotor.

Dentro de la pantalla de control de posición se puede apreciar el cambio de giro lo que en la programación está siendo guardado en la memoria M20 y M30 en la salida del PLC Y0.

Figura 33

Control de la velocidad en el parámetro velocidad posición.



Nota. En la figura se muestra las instrucciones de mover la variable y la instrucción para colocar el número de pulsos para mover al servomotor.

Los parámetros como es la velocidad en la práctica de velocidad posición van referidos a la memoria D210 y D200 con sus respectivas salidas del PLC Y0 y Y1.

Interfaz del servo drive

El servodrive cuenta con una interfaz compuesta de una pantalla análoga que muestra parámetros como velocidad, posición y comandos de activación, esto mediante una botonera ubicada por debajo de la pantalla como se muestra en la figura 34.

Figura 34

Servo drive.



Nota. En la figura se visualiza la pantalla de parámetros del Servo Drive.

El servo drive al ser como un CPU que ayuda al control del servomotor ayuda a visualizar en su pantalla lo que son los parámetros de velocidad, corriente, voltaje, etc. Se puede encontrar en la página 79 los parámetros de monitoreo del servo drive.

Capítulo IV

Construcción e implementación

Construcción del módulo

El prototipo de servomotor se lo realizó mediante un proceso sistemático que consta de la primera etapa que es planificación en la cual se realizó una investigación de talleres de metalmecánica que pudieran mecanizar la carcasa del módulo, posteriormente se buscó diferentes proveedores que poseen en su mercado los componentes eléctrico y electrónico del módulo. Una vez obtenido todos los elementos que componen al módulo servomotor se da a lugar la siguiente etapa la cual es el diseño, aquí se realizan las mediciones pertinentes para obtener las medidas que tendrá la armadura, la cual debe de acoplarse con las ranuras del gabinete de módulos del laboratorio de máquinas eléctricas. Para el proyecto fue necesario basarse en las dimensiones del módulo electrodinamómetro por lo que luego de las mediciones se realizó el mecanizado de la armadura. Simultáneamente se inició con la etapa de desarrollo del programa del PLC al servo drive con el fin de cumplir con el objetivo de controlar la velocidad y la posición del servomotor, a continuación, se realizó un dimensionamiento eléctrico para calibre de conductor y las protecciones eléctricas.

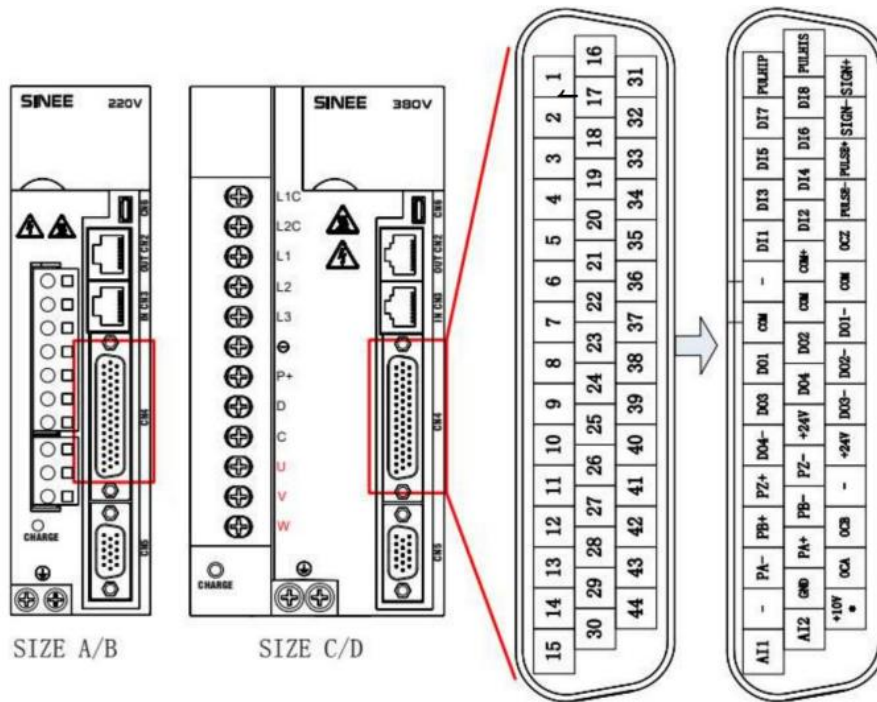
Una vez listo el armazón se continuó con el ensamble de piezas y componentes para dar a lugar al módulo servomotor con su respectivo acople mecánico, sin duda alguna fue todo un desafío ya que se integran áreas de mecánica y electricidad las cuales obligatoriamente se deben de dominar ya que caso contrario se debe repetir el proceso hasta obtener el resultado deseado.

Conexión y cableado

Para el cableado que se necesita se tomó en consideración la opción de pulso dirección que dispone el servo drive donde se escoge los pines que se va a usar considerando una fuente externa de 24V en el cual el servomotor debe ser accionado por un bit de activación y es fundamental saber los pulsos necesarios para poder controlar velocidad y posición dentro del programa.

Figura 35

Diagrama de posición de terminales y distribución de pines del circuito de control del controlador.



Nota. La imagen muestra la distribución de los pines para la comunicación con el PLC donde va a ir la alimentación a 24V y los respectivos parámetros que dispone el servo drive como son pulso y dirección y el bit de activación. Tomado de Shenzhen Sine Electric Co., Ltd & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd, (2022)

Figura 36

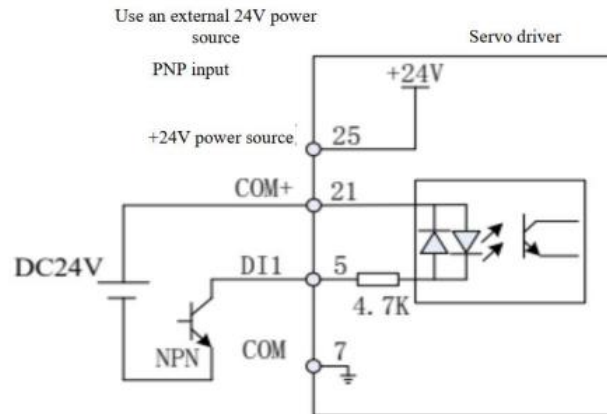
Descripción de la señal de entrada de pulso de posición.

Signal name	Pin number	Function
PULSE+	33	Input mode of pulse command: Differential input Input of open collector
PULSE-	34	
SIGN+	31	
SIGN-	32	
PULHIP	1	External power input interface of command pulse
PULHIS	16	
+24V	25/40	24V power positive end
COM	36	24V power ground

Nota. Los números de pines van a ir conectados a las entradas del PLC para controlar pulso posición del servo motor. Tomado de Shenzhen Sine Electric Co., Ltd & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd, (2022)

Figura 37

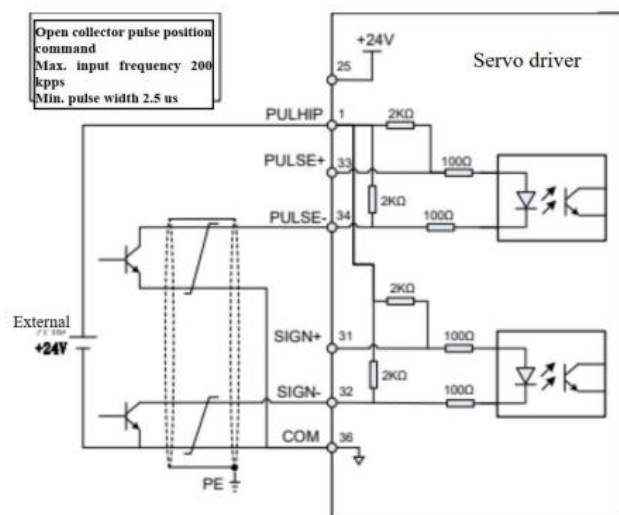
Conexión del tipo NPN para 24 V.



Nota. El tipo de conexión se basa con una fuente externa de 24V para poner en marcha el servomotor con los pines 21 al positivo y el pin 5 al negativo. Tomado de Shenzhen Sine Electric Co., Ltd & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd, (2022)

Figura 38

Conexión para el control de pulsos.



Nota. Diagrama del servo drive para que su funcionalidad sea con pulsos. Tomado de Shenzhen Sine Electric Co., Ltd & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd, (2022)

Mecanizados de piezas

Para que el módulo servomotor se pueda acoplar con el electrodinamómetro, es necesario emplear un acoplamiento mecánico el cual consiste en una polea dentada y una banda de distribución esto con el fin de distribuir la energía rotacional del servomotor al electrodinamómetro que actúa como un freno.

Figura 39

Mecanizado de la polea dentada.



Nota. Se observa en la figura una rueda lisa que posteriormente se realizará un proceso de mecanizado de ranurado que dará a lugar a los dientes que embona en la banda de distribución.

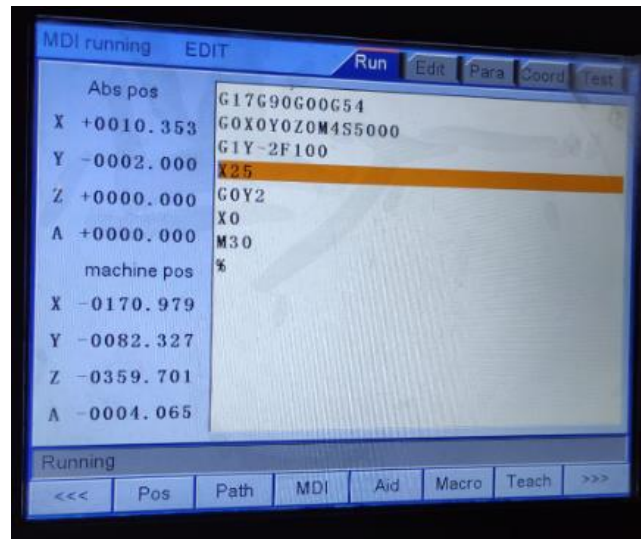
La primera pieza en mecanizar fue el disco de diámetro total de la polea como se observa en la Figura 39, ya que este será el diámetro mayor de la polea para poder comenzar con el mecanizado de dientes.

Mecanizado de la polea

Con las dimensiones de la polea como el diámetro y número de dientes, el tipo de fresa y la velocidad del husillo, se genera un código numérico que será interpretado por la máquina de corte CNC y mecanizado la polea dentada.

Figura 40

Pantalla de control de la CNC con el Código G.



Nota. En la figura se visualiza el código G cargado en la máquina CNC

Figura 41

Mecanizado de la polea dentada.



Nota. En la figura se observa el proceso de mecanizado que lleva a cabo la CNC.

Para realizar los cortes que darán a lugar los dientes de la polea se realizó con la ayuda de una CNC como se observa en la Figura 41. Es necesario conocer el número de

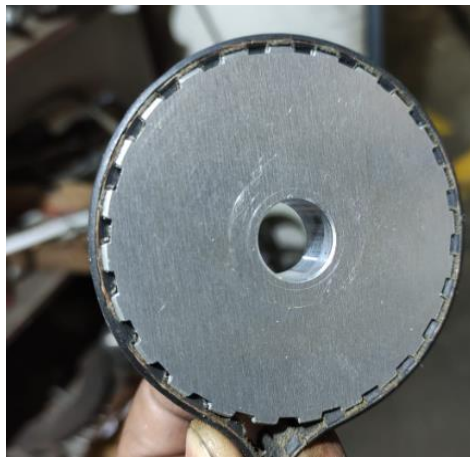
dientes y la profundidad adecuada, para esto se realizó un conteo de la polea dentada existente en el electrodinamómetro que se está realizando el acople, se empleó en la CNC el código G mostrado en la Figura 40.

Con todos los parámetros establecidos, se realiza el proceso de mecanizado como se muestra en la Figura 41 donde por medio de ranuras se crea la polea dentada

Verificación

Figura 42

Verificación de la polea dentada.



Nota. Se visualiza que la polea se acopla correctamente a la banda de distribución.

Figura 43

Verificación del diámetro interno de la polea dentada con el eje del servomotor.



Nota. En la figura se aprecia que la polea se inserta milimétricamente con el eje del servomotor, demostrando que el diámetro del agujero respecto al eje varía menos de un milímetro.

Al término de la mecanización se realiza las pruebas para cerciorarse que la banda calce correctamente en la polea y con el eje del servomotor, como se muestra en la Figura 42 y en la Figura 43, donde se demostró que la polea mecanizada embona correctamente en la banda y en el eje.

Soportes

Figura 44

Soportes de la polea dentada.



Nota. En la figura se aprecian dos discos de aluminio que serán los soportes de la banda con respecto a la polea.

Para continuar, se cortan 2 discos de una lámina de aluminio como se muestra en la Figura 44, en donde, el espesor es de 2 cm y el diámetro de 12 cm, estos serán los encargados de fijar la banda con la polea por los laterales.

Es relevante mencionar la precisión al momento de realizar las perforaciones ya que es necesario que los agujeros sean concéntricos al eje del servomotor, en caso de que una

perforación esté mal centrada se tendrá que repetir todo el mecanizado de la pieza que no calce.

Piezas

Figura 45

Piezas de la polea dentada.



Nota. Se muestra en la figura las partes que componen la polea, todas las piezas son a base de aluminio

En la Figura 45 se muestran las piezas mecanizadas que componen la polea para el servomotor, estas son: 2 discos de fijación y la polea dentada.

Mecanizado del módulo

Con el fin de cumplir la meta de funcionalidad se construye el módulo con base a las medidas de la carcasa del electrodinamómetro, para que pueda insertarse correctamente en los casilleros del gabinete del laboratorio.

Figura 46

Carcasa del módulo servomotor.



Nota. En la figura se indica la carcasa mecanizada, armada de acero de 2 mm.

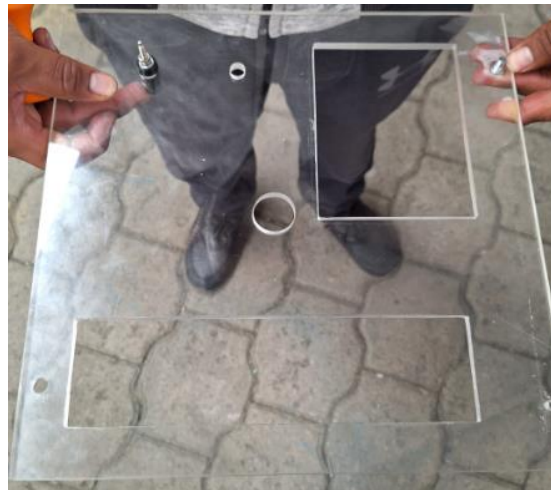
En la Figura 46 se visualiza la carcasa del módulo la cual posee las mismas dimensiones del electrodinamómetro y como diseño propio se colocó una lámina en la parte posterior para poder colocar un riel para los componentes eléctricos

Ventana de acrílico

Es importante visualizar el interior de una máquina para poder comprender su funcionamiento, es por eso que se realiza una ventana de acrílico que facilita al estudiante visualizar las partes internas del módulo de forma frontal y además actúa como una protección para el usuario.

Figura 47

Ventana de acrílico.



Nota. En la figura se muestra una lámina de acrílico cortada con láser.

La parte frontal está constituida por un marco metálico en el cual reposa una ventana de acrílico abatible como se expone en la Figura 47, para poder observar las partes internas del módulo, esta etapa consta de dos cortes rectangulares para la pantalla HMI y el servodrive, y perforaciones para el eje del servomotor, plugs para la entrada de voltaje y componentes de sujeción.

Verificación del módulo

Al terminar la elaboración del armazón del módulo, se montan las piezas y se inspecciona que todos los componentes se encuentren bien ubicados y en el caso de encontrar una falla se realiza la etapa de corrección ya sea de los cortes para el HMI y el servo drive o la posición del servomotor para que pueda estar paralelo al electrodinamómetro como se muestra en la Figura 48 donde se prueba conectando ambos módulos mediante la banda de distribución.

Figura 48

Verificación del módulo Servomotor.



Nota. En la figura se muestra el acoplamiento mecánico de ambos módulos.

Elaborar una máquina que se acopla mecánicamente con otra es todo un desafío ya que las partes que se necesitan no están disponibles en el mercado, por lo que es una necesidad crearlas desde cero y en ocasiones pequeños errores de diseño se vuelven graves problemas al momento de comprobar la funcionalidad con la máquina acoplada, sin embargo, mediante el ingenio y el método prueba y error se lograron superar estos retos y completar la meta que es la construcción del módulo servomotor.

Capítulo V

Funcionamiento

Pruebas

Para las pruebas del prototipo se debe hacer los arreglos pertinentes para que queden alineados tanto el servomotor como el electrodinamómetro y de esta forma evitar problemas por las altas velocidades que manejan estos equipos. Asimismo, se debe ajustar de manera óptima la banda de cada equipo para realizar las pruebas de velocidad y posición.

Figura 49

Módulo con recorrido.



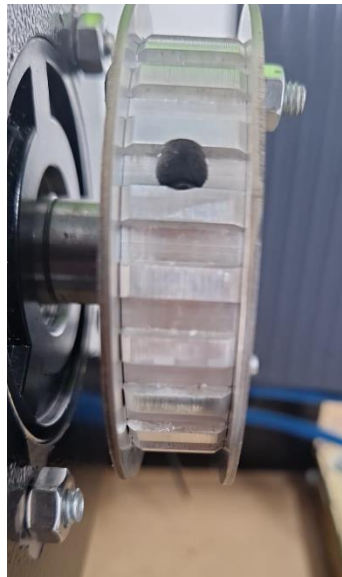
Nota. En la figura se aprecia los tornillos de fijación de la base del servomotor la cual puede variar su profundidad.

Para la aplicación de las pruebas se toma en consideración la posición de cada módulo debido a que dispone de orificios para poder mover y calibrar lateralmente como se aprecia en la Figura 49, de esta manera se puede unir cada uno de los módulos.

De la misma forma la polea dentada dispone de prisioneros para su respectivo ajuste y manipulación de la posición, el cual se puede mover a lo largo del eje del servomotor lo que permite ajustar a la polea dentada del electrodinamómetro como se ve en la Figura 51.

Figura 50

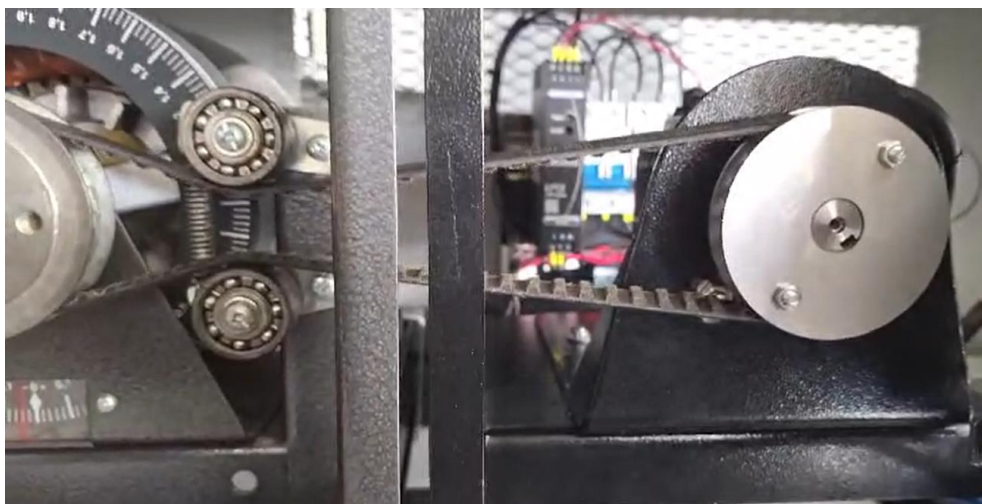
Polea dentada y su prisionero.



Nota. La figura mostrada muestra un taladrado en donde irá un prisionero que se encarga de la fijación con el eje.

Figura 51

Acoplamiento mecánico.



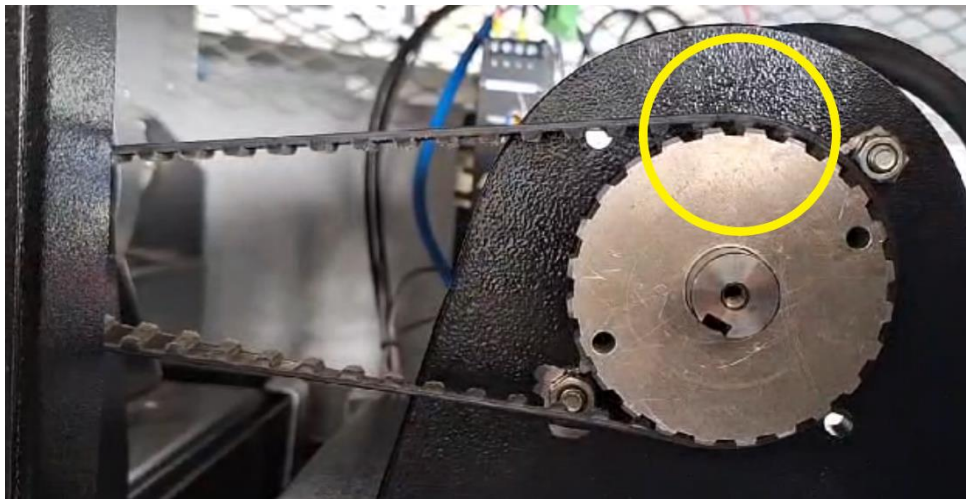
Nota. En la figura se aprecia como se encuentran acoplados los módulos

Una vez que se coloca la polea dentada y la banda se puede apreciar como quedan unidas por medio de la banda de transmisión ajustándose con los soportes de fijación para las respectivas pruebas de velocidad y posición.

Calibración

Figura 52

Mal acoplamiento de la polea dentada y la banda de transmisión.



Nota. En la figura se visualiza una falla en la polea al no calzar las ranuras de la banda con la polea.

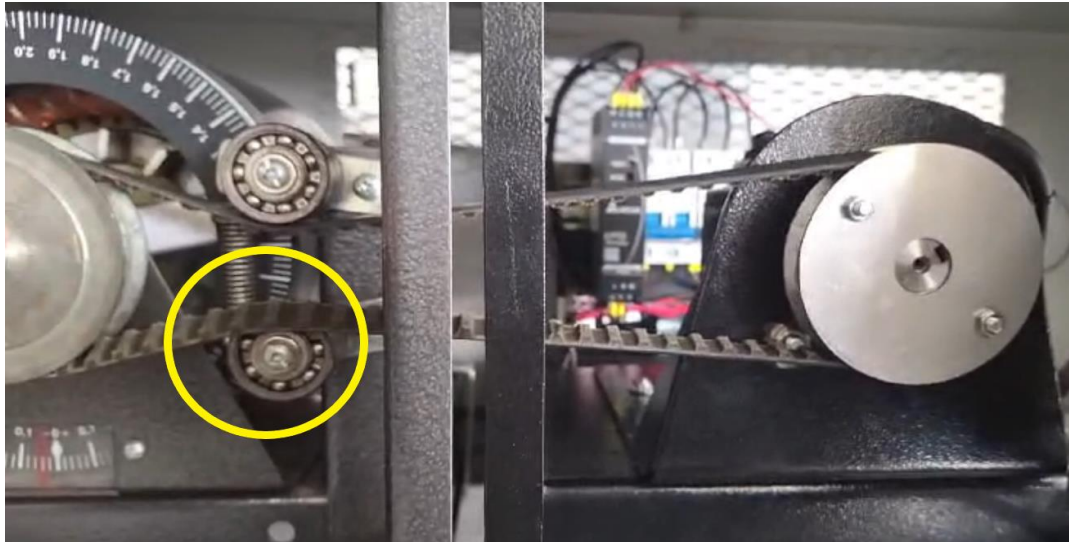
Durante el transcurso de la aplicación de las pruebas se presentaron algunos inconvenientes como son:

Se detectó un inconveniente en el diámetro interno de la polea dentada lo que provocó que la banda se salga de los dientes de la polea, debido a que los prisioneros le movían milimétricamente y se salía de su curso como se muestra en la Figura 52.

El desfase milimétrico del eje con el diámetro interno de la polea dentada hizo que la banda de transmisión sufriera un desfase en los dientes y como resultado se descuadra todo el movimiento.

Figura 53

Transmisión inadecuada.



Nota. Se puede observar la consecuencia del desperfecto de la polea.

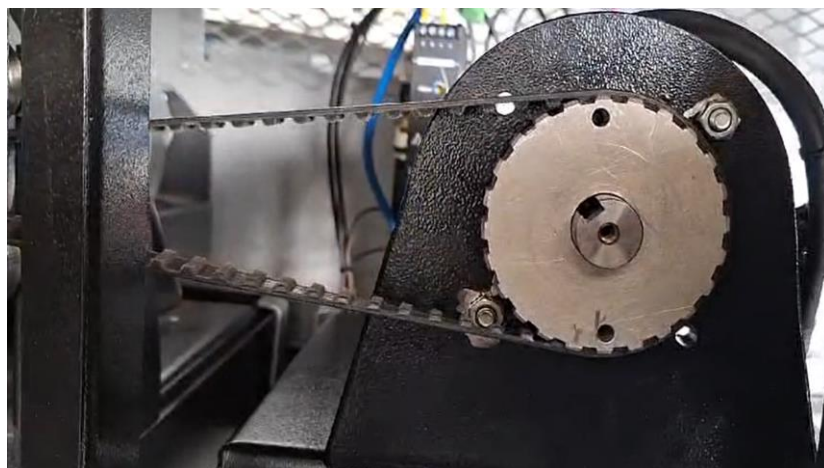
También se tuvo inconvenientes en la calibración de las dos poleas dentadas tanto con el electrodinamómetro como el prototipo de servomotor lo que ocasionó que la banda se saliera de su curso como se aprecia en la Figura 53.

Al no estar calibrada adecuadamente la banda de forma paralela se genera el desborde de su carril saliéndose de los soportes de fijación.

Ajuste

Figura 54

Acople el eje con la polea dentada.



Nota. La figura muestra el correcto acople de la banda con la polea dentada.

Dentro de los ajustes para la polea dentada se consideró mecanizar nuevamente la polea esta vez con el diámetro interno acorde al diámetro del eje del servomotor para que no tenga los espacios inapropiados cuando se ajuste con los prisioneros como se muestra en la Figura 54.

Figura 55

Polea ajustada paralelamente.



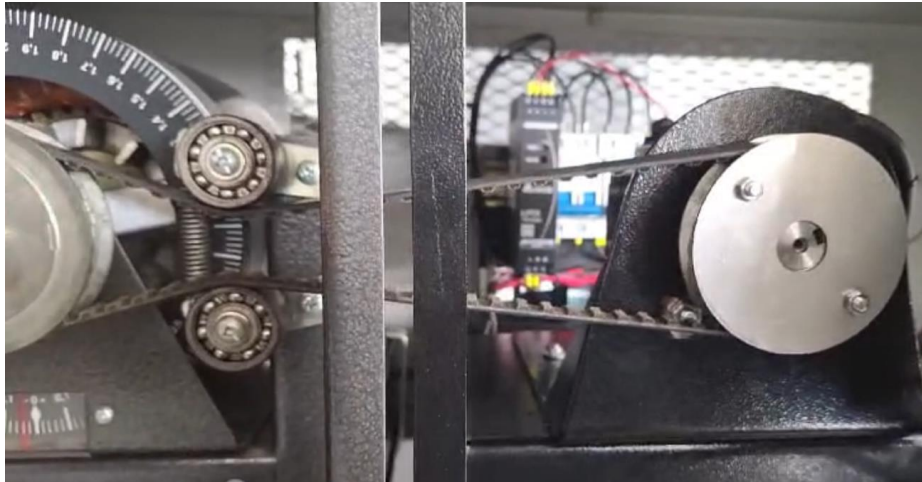
Nota. La figura muestra la alineación en la que deben estar las poleas.

Los prisioneros juegan un papel muy importante, ajustando la polea dentada al eje del servomotor lo que permite un ajuste para que se pueda realizar las pruebas necesarias y el funcionamiento adecuado del sistema.

Se solventó la salida de la banda de su curso moviendo la polea dentada de forma que queden paralelas y de esta manera la banda ya no se sale de su curso como se muestra en la Figura 55.

Figura 56

Acople entre el servomotor y el electrodinamómetro.



Nota. En la imagen presentada se observa la forma correcta en la que la banda tiene que estar.

Una vez fijada paralelamente se puede apreciar que existe unión equilibrada de los dos dispositivos, acoplados mecánicamente a través de la banda de distribución.

Finalmente, con los cambios, ajustes y adecuaciones necesarias se logró una transmisión óptima esto permitió comprobar los parámetros de velocidad y posición en el laboratorio de máquinas eléctricas como se aprecia en la Figura 56.

Una vez realizados los ajustes correspondientes se logró fijar los dos equipos lo cual ayuda a tener un grado de confianza alto para realizar las prácticas de velocidad y posición adecuadas.

Procediendo con las pruebas de velocidad y posición que está programado el dispositivo.

En la prueba de velocidad se preparan los equipos para la respectiva prueba uniendo con la banda los dos dispositivos procede a energizar el módulo.

Figura 57

Conexión para realizar las pruebas.



Nota. En la figura permite ver la conexión de alimentación hacia el servodrive desde la fuente del módulo de pruebas ayudando a la alimentación del módulo.

Como se aprecia en la Figura 57 la transmisión que tiene el equipo es estable y se puede hacer la práctica de velocidad donde se va variando por medio del HMI la velocidad del servomotor.

Tabla 2*Prueba de velocidad.*

Velocidad en el HMI	Rango de error 1 en la pantalla del Servodrive	Rango de error 2 en la pantalla del Servodrive	Porcentaje de error
100	104	96	+ - 4%
500	505	494	+ - 5%
1000	1003	998	+ - 3%
1500	1503	1496	+ - 4%

Nota. De los datos se puede apreciar una pequeña cantidad con lo que el escalonamiento tiene un porcentaje aceptable para su utilización.

Dentro de la prueba de posición donde se puede variar de 0 a 360 grados, se puede aumentar o disminuir la velocidad con la que se va a mover el servomotor, por preferencia debe ser una velocidad baja para que se pueda observar la rotación, dentro del programa se encuentra la inversión de giro y el botón con el nombre MOVER para poder accionar el módulo.

Figura 58

Control de posición.

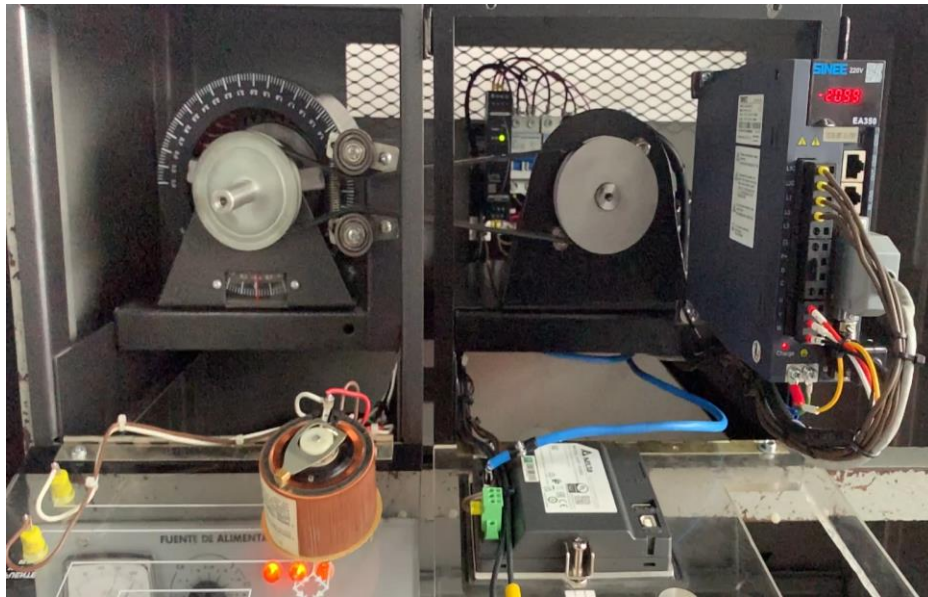


Nota. La prueba de velocidad viene dada por los parámetros considerando el siguiente ejemplo velocidad, grados y dirección.

Se puede manifestar que en la prueba de posición es óptimo por los grados que recorre dependiendo de los valores positivos, su movimiento es accionado por el botón MOVER para establecer la acción al cambio.

Figura 59

Equipos unidos mecánicamente.



Nota. El acople a altas velocidades es estable, pero se registra una pequeña vibración en el equipo a altas velocidades.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se logró la implementación y construcción del prototipo de servomotor de corriente alterna de 220V a una frecuencia de 50 a 60 Hz con una potencia de 0.75 Kw a una máxima 3000 rpm y un torque de 2.38 Nm, dimensionado para los equipos que va a ser acoplados con una velocidades máximas de 1800 rpm para motores y generadores, siendo manipulado en el laboratorio de máquinas eléctricas, así como en las prácticas de velocidad y posición, brindando a los alumnos una educación experimental y actualizada de la mano de la innovación tecnológica existente hoy en día.

La verificación del módulo tanto en la programación como en el acople mecánico del electrodinamómetro con el prototipo de servomotor fue dimensionada de manera acorde a las estaciones de trabajo de los equipos LabVolt del laboratorio de Máquinas Eléctricas, en la que se considera exclusivo por su dimensionamiento, tipo de polea dentada y tipo de banda de transmisión, mejorando considerablemente con un equipo que dispone de características avanzadas en tecnología lo que demuestra su eficiencia y utilidad para las prácticas educativas, representando así un avance significativo en el área de la investigación y la educación.

La implementación práctica brinda a los estudiantes la oportunidad de manipular, medir variables y aplicar los conocimientos adquiridos en las aulas en un entorno real que les permite manipular físicamente los equipos, controlando, visualizando los tipos de protecciones que dispone como es un breaker de 2 amperios para la parte de control y un breaker de 6 amperios para la parte de potencia, de igual forma se utilizó 2 fusibles el primero protege al HMI y al PLC y el segundo a las salidas físicas del PLC, protegiendo de esta manera al módulo, fortaleciendo así las áreas relacionadas con el sistema de control y máquinas eléctricas.

Con este módulo didáctico de servomotor los estudiantes podrán aprender con más detalle acerca de estas máquinas eléctricas que son indispensables en la tecnología

moderna, el cual se puede usar como tacómetro en la medición de velocidad con otros dispositivos que se encuentran en el laboratorio, al igual que una maquina primaria para los generadores que necesitan velocidad constante.

Recomendaciones

Se recomienda la capacitación de los alumnos en la nueva tecnología y firmware que cambian día a día y continúen con la investigación dentro del área de servomotores ya que tiene diversos usos y aplicaciones en la industria y se especialicen en el control y correcto uso de los prototipos que se encuentran en el laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Se recomienda ampliar el estudio del servomotor en el área de control y automatización por lo que en el campo laboral se ve este tipo de controladores inteligente y de gran precisión.

Se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo para todos los módulos que se encuentren en el laboratorio de máquinas eléctricas donde incluya la calibración y revisión periódica de los módulos para garantizar así su vida útil a largo tiempo.

Si se diera el caso en el que la banda se sale de los soportes, se recomienda verificar que las poleas de ambos módulos se encuentren correctamente alineadas. Se recomienda tener cuidado con el cambio brusco de la velocidad que se ingresa por teclado, es preferible manipular con los botones donde se puede subir o bajar la velocidad gradualmente.

Bibliografía

- Burbano, S. (2022). *CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE BAJO SOFTWARE Y HARDWARE LIBRE* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE].
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12632/2/PG%201133%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Cadena Global de Televisión de China. (2023). *Crece de forma sostenida industria china de robots en primer semestre de 2023* [Noticia]. <https://espanol.cgtn.com/news/2023-08-04/1687282339107848193/index.html>
- Carrión, D. (2020). *APLICACIONES DEL SERVOMOTOR EN LAS INDUSTRIAS* (p. 4).
http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/12/David-Paulino-Carrion_compressed-3.pdf
- Carrión, M., & Romero, C. (2012). *DESARROLLO DE SOFTWARE HMI SCADA E IMPLEMENTACIÓN SOBRE UN MÓDULO DIDÁCTICO AUTÓNOMO PARA VENTAS DE LA EMPRESA ECUAINSETEC CÍA. LTDA.* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3546/6/UPS%20%20ST000805.pdf>
- Centro de formación técnica para la Industria. (2019). *Qué es el protocolo Ethernet Industrial* [Educación]. *aula 21*. <https://www.cursosaula21.com/que-es-ethernet-industrial/>
- Craig, J. (2006). *ROBÓTICA TERCERA EDICIÓN.pdf* (3.ª ed.). Pearson.
<https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/ROB%20C3%93TICA%20TERCERA%20EDICION%20C3%93N.pdf>
- Crisóstomo, J., & Millavil, N. (2018). *GUÍA PARA LA DOCENCIA DE SERVOMOTORES SEW* [UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA].
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42482/3560901544252UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fraille, J. (2021). *Introducción al control remoto de servomotores industriales* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/127920/TFM-2130-FRAILE%20GARCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Freile, A. (2023). Curso Servomotores desde Cero. *TechDesign - Automatización, PLCs CAD CAM CNC servomotores robots Cursos*. <http://techdesign.com.ec/techw/curso-servomotores-desde-cero/>
- García, J. (2020). *Encoders Absolutos e Incrementales*. BOX DEL TECNICO.
<https://postventa.webcindario.com/pdf/encoder.pdf>
- Guailacela, A., & Pérez, D. (2021). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para la simulación de aplicaciones con servomotor, PLC Y HMI INVT* [Universidad Técnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21819/4/UPS-GT003608.pdf>
- Harris, M. (2021, mayo 5). *Serial Communications Protocols - Part Four: RS-485 and Baud Rates*. Altium. <https://resources.altium.com/p/serial-communications-protocols-rs-485>
- Hernández Orozco, J. F., Duque Betancur, J. A., & Ramírez Vargas, J. C. (2015). *MÓDULO DE SERVOMOTOR, PLC POR PULSOS* [INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO].
https://abcd.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/231/1/Rep_IUPB_Ing_Ele_Servomotor.pdf
- Kelly, J. (2020, agosto 14). *RS-485 Serial Interface Explained*. CUI Devices.
<https://www.cuidevices.com/blog/rs-485-serial-interface-explained>
- Kosow, I. (1993). *Máquina eléctricas y transformadores* (2.^a ed., Vol. 2). PRENTICE - HALL HISPANOAMERICANA.
https://www.academia.edu/34673617/M%C3%A1quinas_el%C3%A9ctricas_y_transformadores_Irving_L_Kosow_2Ed_pdf
- Lamponi, A. (2017). *Elementos finales de control* (Vol. 4). AADECa.
https://www.editores.com.ar/sites/default/files/AADECA_Revista_4-Marzo-abril2017.pdf
- López, J., & Morales, J. (2014). *MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD DE SERVOMOTORES MEDIANTE PLC CON INTERFAZ SCADA* [Universidad de Córdoba].

<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13477/TFM%20Jos%C3%A9%20Antonio%20Morales%20Ceballos%20y%20Javier%20L%C3%B3pez%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MCS. (2018). *Delta HMI_DOP_W*. https://megaenlinea.com/product/delta-hmi_dop_w/

Mendoza, D., & López, A. (2017). *Medición del nivel de uso efectivo del Diseño Concurrente para el diseño de productos en la industria de las PYMES metalmecánicas de Bogotá*. <https://www.revistaespacios.com/a17v38n22/a17v38n21p05.pdf>

Ministerio de Industrias y Productividad. (2017). *Norma ISO/IEC 17025:2017*.

https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/CURSO-NORMA-ISO-17025_2017.2.pdf

Noriega, M. (2015). *DISEÑO DE ALGORITMOS PARA LA SINCRONIZACIÓN DE SERVOSISTEMAS CON APLICACIÓN EN PROCESOS DE MANUFACTURA*.

<https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/51/1/NoriegaGuerreroMarioA%20MMANAV%202015.pdf>

NVS. (2024). *Controlador Lógico Programable-DVP SERIE SS2. Controlador Lógico Programable-DVP SERIE SS2*. <https://nvsautomatizacion.com/producto/plc-dvp-serie-ss2/>

Padilla, E., Rodriguez, A., Reséndiz, J., & Cruz, C. (2018). *Concurrent Optimization for Selection and Control of AC Servomotors on the Powertrain of Industrial Robots*. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8365889>

Palacio, J. (2020). *Diseño e implementación de un dispositivo para la automatización del disparo de armas de fuego de fabricación artesanal mediante control inalámbrico* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA].

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/c2b79334-4f03-4768-924e-2fd664f93368/content>

Pardo, G., & Toro, H. (2015). *PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL*.

<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1874/Informe%20de%20seminario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Pilamala, M. (2015). *SERVOMOTORES MITSUBISHI (KE43KW1-S100) PARA DETERMINAR POSICIONAMIENTO Y MOVIMIENTOS PROGRAMADOS EN UN ROBOT CARTESIANO DE TRES EJES EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.*
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10363/1/Tesis%20I.M.%20265%20-%20Pilamala%20Bonilla%20Marco%20Pa%C3%BAI.pdf>
- Rivera, L. (2018). *MÓDULO DE PRUEBA CON SERVOMOTORES, MOTORES PASO A PASO, MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA UTILIZANDO TARJETA RASPBERRY PI PARA MEJORAR EL DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS DE ROBÓTICA.* <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1486/1/UNESUM-ECU-REDES-2017-18.pdf>
- Shenzhen Sine Electric Co., Ltd, & Wuhan Sine Electric Technology Co., Ltd. (2022). *Technical Manual EA350 Analog Pulse Type Servo Driver.*
<https://www.sineedrive.com/upload/pdf/202307/EA350%20User%20Manual.pdf>
- Shenzhen Sine Electric Co. Ltd. (2023). *EA350—High Performance.* SINEE.
<https://www.sineedrive.com/servo-system/analog-pulse-servo-driver>
- SIEMENS. (2023). *MOTION CONTROL DRIVES SINAMICS S210 Servo Drive System.*
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:a6df5ad7-af91-486e-bac5-7f355d0b1e07/catalog-d32-sinamics-s210-servo-drive-system.pdf>
- Sierra, J. (2018). *ENCODER INCREMENTAL.* Guemisa.
<https://www.guemisa.com/sicod/docus/ENCODER-TEC.pdf>
- Taizhou Zhouyi Mechanical&Electrical Co. Ltd. (2023). *Servomotor de corriente alterna serie 180. IBMEM3.* <http://www.motor-gearboxs.com/1-4-7-180-series-ac-servo-motor.html>
- Tang, Y. (2020). *Control de posición con compensación dinámica y implementación de su instalación eléctrica.* https://oa.upm.es/63461/1/TFM_YARU_TANG.pdf
- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (2024). *Misión y Visión.* POSGRADOS.
<https://ugp.espe.edu.ec/mision-y-vision/>
- Vaca, Á. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SERVO POSICIONAMIENTO,*

CON CONTROLADORES DE MOTORES, CON PLC Y HMI PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA". [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO].

<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/13614/1/25T00370.pdf>

Vega, L. (2013). *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.*

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7216/1/T-ESPEL-EMI-0246.pdf>

Wecon Technology Co., Ltd. (2021). *WECON Servo Catalog*. [https://ftp.we-](https://ftp.wecon.com.cn/Download/Catalog/WECON%20Servo%20Catalog%202021.pdf)

[con.com.cn/Download/Catalog/WECON%20Servo%20Catalog%202021.pdf](https://ftp.wecon.com.cn/Download/Catalog/WECON%20Servo%20Catalog%202021.pdf)

Anexos