

# 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

Vega Romero Lilia María.

[lilia\\_vegaromero@hotmail.com](mailto:lilia_vegaromero@hotmail.com)

*Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga*

**Abstract—** El objetivo principal de este proyecto va enfocado al 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. Una de las principales cualidades del sistema es la facilidad de ubicación sin restricción alguna, la cual es ejecutada por un servomotor controlado por un Servo Driver, al recibir cierta cantidad de pulsos desde el PLC, su operación se la realiza mediante el Touch panel, en el cual se puede ingresar las posiciones y seleccionar la velocidad de funcionamiento.

**Palabras claves—** Posición, Servo Driver, servomotor, Servosistemas, velocidad.

## I. INTRODUCCIÓN

La tecnología se ha desarrollado rápidamente, de tal manera que los procesos utilizados en el área industrial han ido evolucionando, por esto es fundamental tener el conocimiento suficiente para poder entender el funcionamiento de todos los sistemas. Hoy en día, los componentes inteligentes juegan un papel importante en las máquinas modernas y en el diseño de producción. Estos componentes mecatrónicos se construyen a partir de piezas mecánicas, sensores, actuadores, dispositivos electrónicos y software.

Los servomotores más utilizados en la industria actualmente, son los motores de corriente alterna sin escobillas tipo Brushless. Básicamente están formados por un estator segmentado en el cual espacio relleno de cobre es casi el doble que en los motores tradicionales, esto permite desarrollar una mayor potencia con un menor volumen. Una

característica importante de los servomotores de corriente alterna es la ausencia de escobillas, debido a esto presentan velocidades y pares mucho más elevados, bajo mantenimiento en comparación con otras tecnologías de accionamiento [1]. Por otra parte existen menos problemas en cuanto a la interferencia electromagnética (EMI). Una de las características más relevantes es que el par se mantiene casi constante en todos los valores de velocidad, el control se lo realiza mediante un Servo Driver siendo este mucho más sencillo y preciso.

El control se lo realiza mediante la modulación de ancho de pulsos (PWM) [2], los cuales son generados por un controlador de movimiento (PLC) [3], el cual es el cerebro del sistema, la modulación de ancho de pulsos es usada en diferentes aplicaciones, siendo la más común el control de servomotores y los sistemas de comunicación. El sistema de control de un servo [4], se limita a indicar en que posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos [5], tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor.

En el modo de control de posición, el Servo Driver recibe un tren de pulsos digital, p.ej. Pulsos/dirección, desde el controlador de nivel superior (PLC). Para un control preciso de posición del motor, el Servo Driver debe controlar la velocidad y el par del motor. (Los lazos de posición, velocidad y par se cierran en el Servo Driver [6]), por medio de la realimentación que se presenta entre el servo motor y el Servo Driver, esta realimentación se da ya que el servo motor se encuentra provisto de un sensor de posición “encoder incremental” [7], el cual permite al servo driver saber la posición exacta en la cual se halla el servo motor, el controlador (PLC) no cierra ningún lazo, pero permite monitorizar el proceso mediante el HMI.

## II. METODOLOGÍA

Este proyecto se lo realizó con el propósito de que los estudiantes actualicen sus conocimientos acerca del control y funcionamiento de los servosistemas de una manera teórica y práctica ya que estos sistemas son los más aplicados en la industria.

Para el diseño de este módulo se tomo 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 el comprenda el funcionamiento de estos sistemas.

Para el diseño del módulo, primero se realizaron los cálculos respectivos para seleccionar los elementos necesarios para la implementación: reductores de velocidad, rodamientos, chumaceras, etc.

Una vez finalizados los cálculos manuales, con la ayuda del programa SolidWork, se realizó el modelamiento y simulación de esfuerzos de los diferentes elementos que se construyeron. Uno de los principales parámetros que se obtuvo fue el factor de seguridad verificando que se cumplen con los coeficientes establecidos; en la figura 1, se observa el soporte del disco posicionador diseñado en solidWork, mediante el análisis de esfuerzos se obtiene un factor de seguridad igual a 3.92, estando este valor dentro del permitido para estructuras con cargas de incertidumbre moderadas, igual a 3.

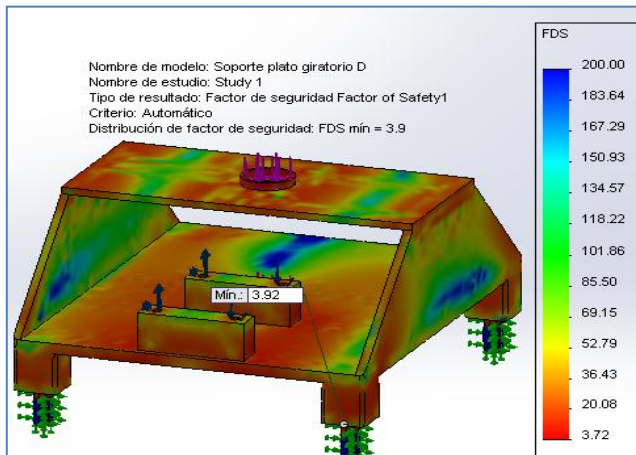


Figura. 1. Análisis del factor de seguridad mediante solidwork.

Concluido el diseño se obtuvo los planos con dimensiones exactas para la construcción mecánica del módulo.

El control del módulo se lo realizó mediante un controlador lógico programable (PLC); también se implementó un HMI con el cual se puede operar ciertos procesos desde una pantalla digital. Para la selección del PLC se analizó las posibles

aplicaciones a realizar, el número de entradas y salidas necesarias y la compatibilidad con el servosistema. Para diseñar la programación se realizó un diagrama de flujo para el programa de control del PLC y para el panel touch.

Finalmente se implementó el módulo en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos, se efectuaron varias pruebas tanto eléctricas como mecánicas para verificar el correcto funcionamiento del mismo, se elaboraron guías de laboratorio y un manual de procedimientos de uso de los equipos; contribuyendo de esta manera al proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes.

## III. CASO DE ESTUDIO

Mediante la aplicación de la metodología descrita anteriormente, en esta sección se procede al desarrollo y explicación de algunos de los parámetros más importantes que se aplicaron para la implementación del módulo de control.

Se construyó un sistema conformado por una banda transportadora y un disco posicionador, mediante el cual se puede controlar la velocidad y posición, para el diseño del mismo se partió del servomotor que se encontraba en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DEL MÓDULO.

#### a. SERVO SISTEMA

El servosistema esta conformado mediante el Servo Driver y un servo motor Brushless AC, estos pertenecen a la marca GSK. Este tipo de servomotores poseen un torque constante desde su velocidad de reposo, hasta su velocidad nominal y pueden generar torques instantáneos de hasta tres veces el nominal. Una de las principales ventajas del servomotor es la posibilidad que ofrece de controlar su velocidad y posicionamiento, incluyendo una respuesta muy rápida a las señales de arranque, paro y variación de velocidad, debido a que lleva incorporado en su eje un encoder, el cual suministra información al Servo Driver mediante la realimentación que se tiene entre estos. La tabla I, presenta las características del servomotor, mientras que en la tabla II se presenta los datos del Servo Driver empleados en el desarrollo del presente trabajo.

TABLA I  
DATOS TÉCNICOS DEL SERVOMOTOR.

SERVO MOTOR	
Modelo	80SJT-M024 C
Tensión	220 V
Corriente	3 A
Torque nominal	2.4 N*m
Velocidad nominal	2000 rpm
Velocidad máx.	2500 rpm
Protección	Acorde IP65
Encoder	Incremental 2500 p/r

TABLA II  
DATOS TÉCNICOS DEL SERVOMOTOR.

SERVO MOTOR	
Modelo	DA98B-05

Input power supply 3~220 V ±10%, 50/60 Hz

b. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Lo más importante para la selección del PLC es que este permita el manejo de códigos G (códigos gráficos programables), además se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Fuente.
- El número de entradas y salidas requeridas
- Tipo de comunicación.
- Compatibilidad.

Se seleccionó un PLC de la marca XINJE, tiene dos puertos de comunicación COM 1 y COM 2; el COM 1 maneja protocolo RS232, mediante el cuál se realiza la conexión PLC – PC que permite la descarga del programa, así como la conexión del mismo con un interfaz HMI, el COM 2 puerto de comunicación RS232/RS485, mediante el cual se pueden conectar en red varios PLC's. En la tabla III, se presentan las características técnicas del PLC empleado.

TABLA III  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PLC

ÍTEM	CARACTERÍSTICA
Modelo	XCM-24T4-C
Voltaje	110/220VAC
Frecuencia	50/60Hz
# de entradas	14
# de salidas	10
Tipo de entradas	Digitales
Tiempo de vida	Sobre 20000 horas
Puertos de comunicación	RS-232, RS-485

c. DISEÑO MECÁNICO

Como se detalló en la metodología el diseño de los elementos mecánicos del sistema se los realizó mediante el programa solidWorks, con el cual a más del análisis de esfuerzos aplicados a los elementos, permite tener un bosquejo del sistema antes de ser construido. Se desarrolló los planos para la construcción de cada elemento. El módulo diseñado consta de una base principal en la cual se ubicará la banda transportadora y el disco posicionador, la figura 2 muestra el sistema diseñado en solidWorks, y en la tabla IV, se detallan sus partes.

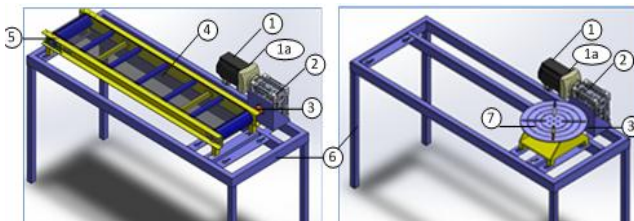


Fig. 2. Módulo didáctico (Banda y Disco)

TABLA IV  
PARTES DEL MÓDULO.

#	DETALLE	DESCRIPCIÓN
1	Servo motor AC	Es el encargado del movimiento

1a	Encoder Incremental	Dispositivo de cuenta para la posición del motor.
2	Motoreductor	Reduce la velocidad de salida del servo motor 50:1
3	Acopleje-reductor	Permite el acople de la estructura de la banda como del disco
4	Estructura, banda transportadora	Permite la simulación de transporte de carga y control de velocidad y posición lineal
5	Mecanismo tensor de la banda	Permite tensar la banda para el acople rodillos-banda.
6	Base	Elemento principal donde ensamblamos todos los componentes del prototipo
7	Estructura, Disco posicionador	Permite el control de la posición en forma angular.

d. PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL.

Para la programación del PLC se utilizó el software XC Series Program Tool, en el desarrollo de este proyecto, se utilizó el lenguaje de programación LADDER, en la figura 3, se observa el entorno del software de programación.

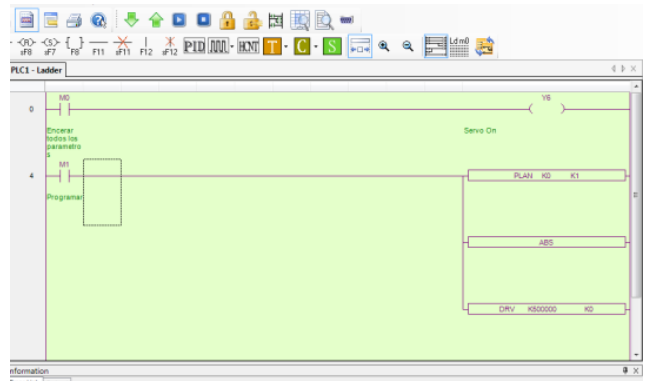


Fig. 3. Entorno principal del software XC Series ProgramTool

El control de velocidad y posición se lo realiza desde el touch panel TH-465, para la programación de este se utilizó el software TouchWin Edit Tool. Para empezar a crear la Interfaz Hombre Máquina se manipulan las opciones de acuerdo a los requerimientos del control, con la utilización de los botones situados en la parte de arriba del área de edición los mismos que ayudan a ingresar las etiquetas e íconos necesarios para la construcción de cada pantalla, en la figura 4, se observa el entorno principal del software TouchWin Edit Tool.

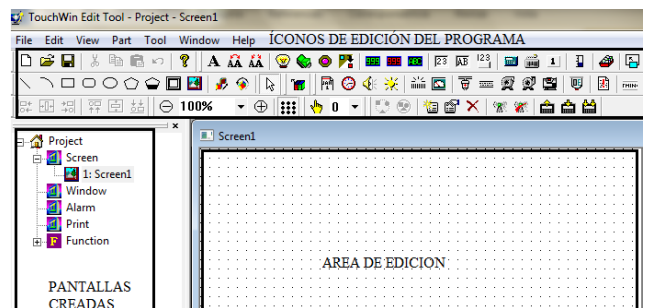


Fig. 4. Entorno principal del software TouchWin Edit Tool.

– CONTROL DE LA BANDA TRANSPORTADORA

En las pantallas se insertó botones, textos, marcos, imágenes, pantallas digitales, etc. La pantalla principal de control para la banda transportadora se presenta en la figura 5, esta permite seleccionar la velocidad, a la vez permite la visualización de la posición actual (cm), y el tiempo de pausa entre posiciones, mientras se está ejecutando la aplicación, al momento que se selecciona el botón programar se presenta otra pantalla en la cual se ingresa las distancias de desplazamiento en cm, sean estas de avance o retroceso y el tiempo de espera entre las posiciones. Se regresa a la pantalla programación (figura 5), y se presiona el botón programar, en ese momento se ejecuta la aplicación seleccionada.

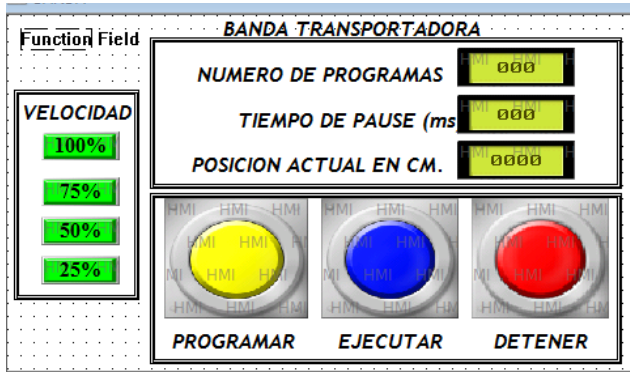


Fig. 5. Pantalla de control de la Banda transportadora.

Se ubicaron sensores uno al inicio y otro al final de la banda transportadora el primero inicia el proceso y el segundo determina la finalización del mismo.

#### – CONTROL DEL DISCO POSICIONADOR

Para el control de disco posicionador la velocidad se la selecciona de idéntica manera que en el control de la banda, mediante las flechas IZQUIERDA-DERECHA, de la pantalla de programación que se presentan en la figura 6, se seleccionan la ubicación en grados y se ingresa el tiempo de pausa entre cada posición.



Fig. 6. Pantalla de control del disco posicionador.

#### e. IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DEL MÓDULO.

La implementación física del módulo de entrenamiento consta de elementos eléctricos y mecánicos como son:

- Servo Driver.
- ServoMotor.
- Controlador lógico programable (PLC).

- Banda transportadora.
- Disco posicionador.
- Protecciones eléctricas.
- Sensores.
- Fuente de 24 VDC.

El sistema tiene una alimentación principal de 220 VAC 3Φ+N+PE, 60 Hz; la fuente de 24 VDC es para la alimentación de los relés y de el touch panel. En la figura 7 se muestran los elementos del armario eléctrico, mientras que en la figura 8, se presenta la apariencia final del módulo terminado e implementado en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos.

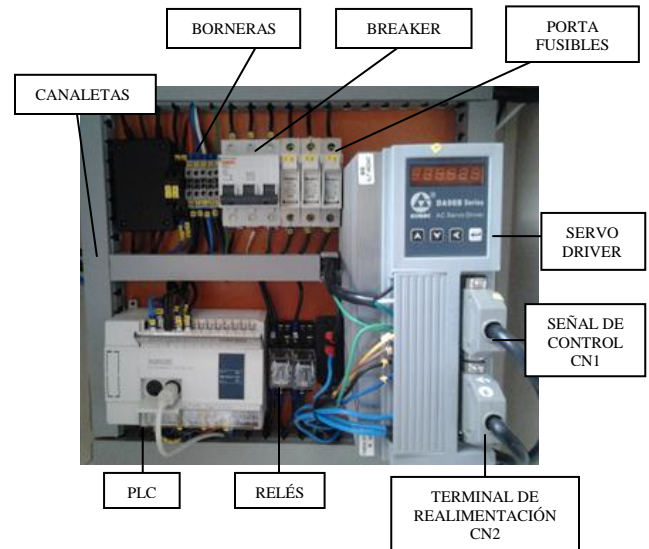


Fig. 7. Armario eléctrico.



Fig. 8. Módulo implementado.

A la derecha se observa la banda transportadora, a la izquierda se muestra el disco posicionador.

## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante el análisis de resultados se determinó la precisión con la que trabaja el equipo. Para lo cual se desarrolló ciertas pruebas de repetibilidad tanto en la banda como en el disco posicionador.

#### – PRUEBAS REALIZADAS AL DISCO POSICIONADOR.

Para determinar el error de desplazamiento en el disco posicionador se programó un número de diez posiciones, se realizó los respectivos ciclos de funcionamiento y se registró cada uno de los valores obtenidos en la tabla V.



TABLA V  
DATOS DEL DISCO POSICIONADOR.

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

Mediante los datos obtenidos en la tabla V, se determinó la desviación estándar y se obtuvo un error de trabajo del disco de 0,52 grados.

– PRUEBAS REALIZADAS A LA BANDA TRANSPORTADORA.

Se programó un número de diez posiciones ubicadas a lo largo de la banda transportadora, se realizó los ciclos de funcionamiento registrando cada uno de los valores de las posiciones obtenidas en la tabla VI.

TABLA VI  
DATOS DE LA BANDA.

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

Mediante las pruebas realizadas a la banda transportadora se obtuvo un error de desplazamiento de 0,94 cm, cabe recalcar

que este error no se da por problemas de programación, si no por problemas de adhesión de la banda a los rodillos

## V. CONCLUSIONES

- Se diseñó, seleccionó e implementó el sistema eléctrico de control y potencia cumpliendo con todos los parámetros necesarios para el funcionamiento correcto del módulo.
- Se realizó el control de velocidad y posición tanto lineal como angular mediante el control PWM.
- Se diseñó e implementó un HMI para el control, el cual permite seleccionar e ingresar variables como la velocidad el desplazamiento (grados y cm), y el tiempo.
- Las pruebas de repetibilidad fueron determinantes para obtener el error de trabajo del módulo, teniendo un error del 0.52<sup>0</sup> en el disco, y de 0,94 cm en la banda transportadora, debido a problemas de adhesión mecánicos.
- Con la implementación del módulo y la elaboración de las guías de laboratorio para el control de velocidad y posición, se consiguió que los estudiantes adquieran conocimientos acerca del funcionamiento de sistemas modernos como son los servosistemas
- La versatilidad que dan este tipo de servosistemas se traduce en multitud de aplicaciones del tipo: desplazamientos, posicionamientos, transporte, giro, regulaciones de caudal, máquinas herramientas de todo tipo, manipulaciones, maquinaria industrial, etc.

## REFERENCIAS

- [1] M. A. Rahman, "Special section on permanent magnet motor drives," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 43, pp. 245–342, Apr. 1996.
- [2] Jennifer Ospina Álvarez. "Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores" Nacida el 4 de Octubre de 1984 en Medellín (Antioquia). Bachiller académico del colegio María Inmaculada. Año 2002. Profesional no graduada de ingeniería electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana.
- [3] International Journal Of Advance Research In Science And Engineering <http://www.ijarse.com> IJARSE, Vol. No.2, Issue No.3, March, 2013 ISSN-2319-8354(E)
- [4] Nacional instruments "fundamentos del control de movimiento" TRACNOVA S.A. Calle 65 N°1177 - 1900 La Plata Tel.0221 452 7615 - [www.tracnova.com](http://www.tracnova.com)
- [5] National Semiconductor Corporation, July 2010. National, TruTherm, SIMPLE SWITCHER, and are registered trademarks. All other product names are trademark or registered trademarks of their respective holders. All rights reserved.
- [6] Joachim Holtz (M'87FSM'88) "Pulsewidth Modulation-" graduated from the Technical University Braunschweig, Germany, in 1967. He received the Ph.D. degree from the same university in 1969. IEEE TRANSACTIONS ON

INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 39, NO. 5,  
DECEMBER 1992

- [7] BALDOR ELECTRIC COMPANY 5711 South 7th Street  
Fort Smith, Arkansas 72901 (501) 646-4711 Fax (501)  
648-5792

**Vega Romero Lilia María, nació en Salcedo-Cotopaxi.**

Curso sus estudios secundarios en el Colegio “Nacional Experimental Salcedo”, en donde obtuvo el título de Bachiller en Físico Matemáticas.

Sus estudios superiores los realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, en donde obtuvo el título de Ingeniero Electromecánico en Diciembre del 2013 en la ciudad de Latacunga

Correo electrónico [lilia\\_vegaromero@hotmail.com](mailto:lilia_vegaromero@hotmail.com)