



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

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO  
PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS SOBRE CONTROL DE  
MOVIMIENTO.**

**AUTORES: CARRILLO SÁNCHEZ, ALEJANDRA ESTEFANÍA  
ZURITA TAPIA, SUSAN DAYANARA**

**DIRECTOR: ING: PRUNA PANCHI, EDWIN PATRICIO**

**LATACUNGA**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS SOBRE CONTROL DE MOVIMIENTO”*** fue realizado por las señoritas **Carrillo Sánchez Alejandra Estefanía y Zurita Tapia Susan Dayanara**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 03 de Julio del 2019

Ing. Pruna Panchi, Edwin Patricio

C. C 0502651003



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Carrillo Sánchez, Alejandra Estefanía y Zurita Tapia, Susan Dayanara**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema didáctico para el desarrollo de prácticas sobre control de movimiento** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo veraz.

Latacunga, 03 de Julio del 2019

Carrillo Sánchez, Alejandra Estefanía  
C.C.: 1803397411

Zurita Tapia, Susan Dayanara  
C.C.: 0504345695



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Carrillo Sánchez, Alejandra Estefanía y Zurita Tapia, Susan Dayanara**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el presente trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema didáctico para el desarrollo de prácticas sobre control de movimiento** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 03 de Julio del 2019

Carrillo Sánchez, Alejandra Estefanía  
C.C.: 1803397411

Zurita Tapia, Susan Dayanara  
C.C.: 0504345695

## DEDICATORIA

Todo el esfuerzo y dedicación que he puesto para realizar este trabajo de titulación se lo dedico con mucho amor a DIOS, por permitirme cumplir este objetivo tan importante en mi vida; a mi madre Marlene Sánchez, a mi padre Gonzalo Carrillo y a mi hermana Anita, porque son mi motivación y mi ejemplo a seguir, quienes me han inculcado los valores y enseñanzas para hacer de mí una persona de bien. Porque en los momentos más difíciles de mi carrera universitaria siempre tenía su amor, cariño y palabras de aliento, lo que me daba la seguridad y confianza para continuar.

Alejandra Estefanía Carrillo Sánchez

## DEDICATORIA

La culminación de mi carrera universitaria es un logro muy importante en mi vida, y el cual no podría lograr sin un gran pilar de apoyo como lo es mi familia, por ello con todo mi cariño dedico el presente trabajo de titulación a mi madre que, con el amor, amistad y los consejos que me brinda cada día me dio la fuerza para seguir mis sueños y volverlos una realidad. A mi padre que con mucha paciencia me enseñó sobre la importancia del trabajo y sacrificio por las cosas que amamos y que de verdad importan en la vida. A mi hermano que me ha llenado de alegrías y me ha apoyado en mis días más tristes.

Susan Dayanara Zurita Tapia

## AGRADECIMIENTO

Gracias mi DIOS, el culminar mi carrera universitaria fue una promesa al cielo, y de tu mano lo conseguí, gracias por cuidar de mí en todo momento, y darme la sabiduría y paciencia para hacer esto realidad.

Gracias madre porque estuviste a mi lado, dándome tu amor, comprensión y apoyo incondicional. Gracias padre porque a pesar de la distancia siempre tuve una llamada que me motivaba a seguir adelante. Gracias hermana por todos tus consejos y cariño. Son lo mejor de mi vida, a quienes más amo y todo mi esfuerzo es por ustedes.

Agradezco a mi tutor Ing. Edwin Pruna por todas sus recomendaciones, conocimientos y amistad que me ha compartido en este tiempo.

Gracias Susan Zurita, por tu amistad y por compartir conmigo este reto, que juntas lo hicimos posible.

Alejandra Estefanía Carrillo Sánchez

## AGRADECIMIENTO

Los tiempos de Dios son perfectos, por ello puse mi fe en ti para cumplir mis metas, tú me diste la vida, mi mayor bendición que es mi familia y juntos hemos cumplimos esta meta, por todo esto y más gracias Dios.

Por el amor, la confianza y el sacrificio que realizaron para apoyarme en mis sueños, por estar conmigo en cada risa y en cada lagrima durante este largo camino, por brindarme un gran abrazo, una palabra de aliento cada vez que lo necesite, quiero agradecer profundamente a mis padres Juan y Beatriz y a mi hermano Juan.

Agradezco también a mi director de tesis Ing. Edwin Pruna por el apoyo, la paciencia, amistad y conocimientos que nos ha brindado durante todo este tiempo.

A mi compañera de tesis Alejandra con quien durante todos estos años hemos formado una gran amistad, gracias por todos los momentos que hemos compartido, por el esfuerzo, dedicación, paciencia, por las risas y tristezas. Espero que Dios te guie por el mejor camino y te llene de bendiciones.

Susan Dayanara Zurita Tapia

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CARÁTULA</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	ii
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	iii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>RESUMEN</b> .....	xviii
<b>ABSTRACT</b> .....	xix
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación e Importancia .....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo General .....	2
1.4.2 Objetivos Específicos .....	3
1.5 Variables de la investigación.....	3
1.5.1 Variable Independiente .....	3
1.5.2 Variable Dependiente .....	3
1.6 Hipótesis.....	3

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	Fundamentación Teórica .....	4
2.1.1	Control de movimiento .....	4
2.1.2	Componentes de un sistema de control de movimiento.....	5
2.1.3	PLC.....	8
2.1.4	PLC SIEMENS S7-1200 .....	8
2.1.5	SIMATIC STEP 7 TIA Portal V14 .....	11
2.1.6	Motor paso a paso con PTO .....	21
2.1.7	Driver para motores paso a paso .....	24
2.1.8	Encoder incremental.....	26
2.1.9	Pantalla táctil.....	28

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

3.1	Diseño y elaboración de la estructura del módulo didáctico.....	31
3.1.1	Diseño del panel frontal .....	33
3.1.2	Diagrama de lazo .....	34
3.2	Diseño de la etapa de control .....	35
3.2.1	Configuración del objeto tecnológico eje de posicionamiento.....	38
3.2.2	Configuración del objeto tecnológico tabla de peticiones .....	46
3.2.3	Programación del bloque principal.....	53
3.2.4	Programación para el control manual.....	57
3.2.5	Programación del bloque para la simulación de un proceso .....	62
3.2.6	Programación del bloque de temporizadores.....	64
3.3	Diseño del HMI .....	65
3.3.1	Pantalla Principal .....	66
3.3.2	Menú de selección de tareas .....	67
3.3.3	Menú de selección de tareas manuales.....	67
3.3.4	Simulación del proceso de embotellado y empaquetado.....	73

**CAPÍTULO IV****ANÁLISIS Y RESULTADOS**

4.1 Respuesta del control de posicionamiento .....	77
4.1.1 Respuesta del control de movimiento ante comandos manuales .....	77
4.1.2 Respuesta del control de movimiento posicionamiento absoluto .....	80
4.1.3 Respuesta del control de movimiento posicionamiento relativo .....	86
4.1.4 Evaluación del proceso simulado.....	92
4.2 Comprobación de la hipótesis.....	94
4.3 Alcances .....	97
4.4 Limitaciones .....	98

**CAPÍTULO V****CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....** 99

5.1 Conclusiones .....	99
5.2 Recomendaciones .....	100

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....** 101**ANEXOS .....** 104

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ejes máximos a controlar según el modelo del PLC .....	10
<b>Tabla 2.</b> Salidas utilizables del generador de impulsos y frecuencias límite .....	10
<b>Tabla 3.</b> Modo de toma de referencia de la instrucción “MC_POWER” .....	17
<b>Tabla 4.</b> Datos técnicos KTP-600 PN Basic Color .....	29
<b>Tabla 5.</b> Animaciones del proceso simulado.....	74
<b>Tabla 6.</b> Evaluación del proceso simulado.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Servilletera de vacío 4 líneas .....	5
<b>Figura 2.</b> Componentes de un sistema de control de movimiento .....	6
<b>Figura 3.</b> Interfaz humano-máquina.....	6
<b>Figura 4.</b> Polea metálica GT2 .....	7
<b>Figura 5.</b> Correa dentada GT2, 101 dientes, 610 mm .....	8
<b>Figura 6.</b> PLC S7-1200 1214C DC/DC/DC.....	9
<b>Figura 7.</b> Interacción de las herramientas con el objeto tecnológico eje de posicionamiento y el accionamiento.....	13
<b>Figura 8.</b> Interacción entre la herramienta de "Configuración" y el objeto tecnológico tabla de peticiones .....	14
<b>Figura 9.</b> Bloque "MC_Power" .....	16
<b>Figura 10.</b> Bloque "MC_Reset" .....	16
<b>Figura 11.</b> Bloque "MC_Home".....	17
<b>Figura 12.</b> Bloque "MC_Halt" .....	18
<b>Figura 13.</b> Bloque "MC_MoveAbsolute" .....	18
<b>Figura 14.</b> Bloque "MC_MoveRelative" .....	18
<b>Figura 15.</b> Bloque "MC_MoveVelocity" .....	19
<b>Figura 16.</b> Bloque "MC_MoveJog" .....	19
<b>Figura 17.</b> Bloque "MC_CommandTable" .....	20
<b>Figura 18.</b> Bloque "MC_ChangeDynamic" .....	20
<b>Figura 19.</b> Bloque "MC_ReadParam" .....	21
<b>Figura 20.</b> Bloque "MC_WriteParam" .....	21
<b>Figura 21.</b> Velocidad de motor a pasos.....	22
<b>Figura 22.</b> Motor paso a paso NEMA 17 .....	22
<b>Figura 23.</b> Señales PTO: (a) Impulso A y Sentido B; (b) Oscilación hacia delante A, oscilación hacia atrás B; (c) A/B desfasada; (d) A/B desfasado-cuádruple.....	24
<b>Figura 24.</b> Driver TB6600 .....	25
<b>Figura 25.</b> Driver TB6560 .....	26

<b>Figura 26.</b> Encoder incremental rotativo TRD-S360BD .....	27
<b>Figura 27.</b> Cableado encoder TRD-S360BD .....	27
<b>Figura 28.</b> Componentes KTP-600 PN Basic Color .....	29
<b>Figura 29.</b> Diagrama pictórico del sistema didáctico .....	31
<b>Figura 30.</b> Diagrama P&ID del sistema didáctico .....	31
<b>Figura 31.</b> Diseño en SolidWorks de la estructura.....	33
<b>Figura 32.</b> Implementación del sistema didáctico.....	33
<b>Figura 33.</b> Diagrama frontal del módulo didáctico .....	34
<b>Figura 34.</b> Diagrama de lazo .....	35
<b>Figura 35.</b> Flujo de la programación de la etapa de control.....	36
<b>Figura 36.</b> Creación de un nuevo proyecto.....	36
<b>Figura 37.</b> Agregar un nuevo dispositivo .....	37
<b>Figura 38.</b> Configuración de la dirección IP del PLC .....	38
<b>Figura 39.</b> Agregar un objeto tecnológico.....	39
<b>Figura 40.</b> Selección de la tecnología de Control de movimiento.....	39
<b>Figura 41.</b> Agregar el objeto tecnológico Eje de posicionamiento para la Banda 1 .....	40
<b>Figura 42.</b> Configuración de la opción “General” del objeto tecnológico para la Banda 1 .....	41
<b>Figura 43.</b> Configuración de la opción “Accionamiento” del objeto tecnológico para la Banda 1 .....	42
<b>Figura 44.</b> Configuración de la opción “Mecánica” de la Banda 1 .....	42
<b>Figura 45.</b> Activación de la limitación de tirones.....	43
<b>Figura 46.</b> Agregar el objeto tecnológico Eje de posicionamiento para la Banda 2 .....	44
<b>Figura 47.</b> Configuración de la opción “General” del objeto tecnológico para la Banda 2 .....	45
<b>Figura 48.</b> Configuración de la opción “Accionamiento” del objeto tecnológico para la Banda 2 .....	46
<b>Figura 49.</b> Agregar el objeto tecnológico “Tabla de peticiones” para la Banda 1 .....	47

<b>Figura 50.</b> Configuración de la opción “Tabla de peticiones” para la Banda 1 .....	48
<b>Figura 51.</b> Agregar el objeto tecnológico “Tabla de peticiones” para la Banda 2 .....	49
<b>Figura 52.</b> Configuración de la opción “Tabla de peticiones” para la Banda 2 .....	50
<b>Figura 53.</b> Selección del contador rápido .....	51
<b>Figura 54.</b> Activar el contador rápido .....	51
<b>Figura 55.</b> Entradas de hardware para el HSC .....	52
<b>Figura 56.</b> Dirección de entrada y salida del HSC .....	52
<b>Figura 57.</b> Selección de las instrucciones de control de movimiento .....	53
<b>Figura 58.</b> Encendido y habilitación de los ejes .....	54
<b>Figura 59.</b> Referenciación de los ejes (Banda 1 y Banda 2) .....	54
<b>Figura 60.</b> Segmento para frenado e interrupción de las Bandas 1 y Banda 2 .....	55
<b>Figura 61.</b> Llamada de ejecución de la función Bloque Manual .....	55
<b>Figura 62.</b> Llamada al bloque de función “Bloque_simulacion” .....	56
<b>Figura 63.</b> Ejecución al bloque de función "Temp_simulacion" .....	56
<b>Figura 64.</b> Retorno a la posición de referencia los dos ejes .....	56
<b>Figura 65.</b> Lectura de los encoder 1 y 2 .....	57
<b>Figura 66.</b> Encerar los encoder 1 y 2 .....	58
<b>Figura 67.</b> Instrucciones de movimiento en modo Jog para las bandas 1 y 2 .....	58
<b>Figura 68.</b> Instrucciones de movimiento absoluto para las bandas 1 y 2 .....	59
<b>Figura 69.</b> Instrucciones de movimiento relativo para las bandas 1 y 2 .....	60
<b>Figura 70.</b> Instrucciones de tabla de comandos para las bandas 1 y 2 .....	61
<b>Figura 71.</b> Reseteo de los ejes con el botón de arranque .....	61
<b>Figura 72.</b> Simulación del proceso de dosificado y empaquetado de botellas .....	62
<b>Figura 73.</b> Diagrama de flujo del bloque de función "Bloque_simulacion [FB2]" .....	63
<b>Figura 74.</b> Temporizador de llenado hasta el 50% de la botella .....	64
<b>Figura 75.</b> Temporizador de llenado hasta el 100% de la botella .....	65
<b>Figura 76.</b> Instrucción "Move" para el vaciado de la botella .....	65
<b>Figura 77.</b> Flujo de activación de las imágenes en la interfaz de usuario .....	66
<b>Figura 78.</b> Imagen “Inicio” del HMI .....	66

<b>Figura 79.</b> Imagen “Menú” del HMI .....	67
<b>Figura 80.</b> Imagen “Menu_controlm” del HMI .....	67
<b>Figura 81.</b> Imagen “Jog” del HMI .....	68
<b>Figura 82.</b> Imagen “Posicionamiento” del HMI.....	69
<b>Figura 83.</b> Imagen Selección Bandas del HMI.....	69
<b>Figura 84.</b> Imagen “Tab_comand_B1” .....	70
<b>Figura 85.</b> Imagen “Tab_comand_B2” .....	70
<b>Figura 86.</b> Imagen “Comand_Table_B1” del HMI .....	71
<b>Figura 87.</b> Imagen “Comand_Table_B2” del HMI .....	72
<b>Figura 88.</b> Lista desplegable tipo de movimiento.....	72
<b>Figura 89.</b> Imagen “Proceso” del HMI.....	73
<b>Figura 90.</b> Desplazamientos en modo Jog de la Banda 1 .....	78
<b>Figura 91.</b> Velocidades de los desplazamientos en modo Jog de la Banda 1 .....	78
<b>Figura 92.</b> Desplazamientos en modo Jog de la Banda 2 .....	79
<b>Figura 93.</b> Velocidades de los desplazamientos en modo Jog de la Banda 2 .....	79
<b>Figura 94.</b> Posicionamiento Absoluto de la banda 1 a 54mm/s .....	80
<b>Figura 95.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 54mm/s .....	81
<b>Figura 96.</b> Posicionamiento Absoluto de la banda 1 a 108mm/s .....	81
<b>Figura 97.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 108mm/s .....	82
<b>Figura 98.</b> Posicionamiento Absoluto de la banda 1 a 180mm/s .....	82
<b>Figura 99.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 180mm/s .....	83
<b>Figura 100.</b> Posicionamiento Absoluto de la banda 2 a 54mm/s .....	83
<b>Figura 101.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 54mm/s .....	84
<b>Figura 102.</b> Posicionamiento Absoluto de la banda 2 a 108mm/s .....	84
<b>Figura 103.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 108mm/s .....	85
<b>Figura 104.</b> Posicionamiento Absoluto de la banda 2 a 180mm/s .....	85
<b>Figura 105.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 180mm/s .....	86
<b>Figura 106.</b> Posicionamiento relativo de la banda 1 a 54mm/s .....	87
<b>Figura 107.</b> Velocidad para el posicionamiento relativo de la Banda 1 a 54mm/s.....	87
<b>Figura 108.</b> Posicionamiento relativo de la banda 1 a 108mm/s .....	88

<b>Figura 109.</b> Velocidad para el posicionamiento relativo de la Banda 1 a 108mm/s.....	88
<b>Figura 110.</b> Posicionamiento relativo de la banda 1 a 180mm/s .....	89
<b>Figura 111.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 180mm/s .....	89
<b>Figura 112.</b> Posicionamiento relativo de la banda 2 a 54mm/s .....	90
<b>Figura 113.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 54mm/s .....	90
<b>Figura 114.</b> Posicionamiento relativo de la banda 2 a 108mm/s .....	91
<b>Figura 115.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 108mm/s .....	91
<b>Figura 116.</b> Posicionamiento relativo de la banda 2 a 180mm/s .....	92
<b>Figura 117.</b> Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 180mm/s .....	92
<b>Figura 118.</b> Evaluación cualitativa de la pregunta 1 .....	95
<b>Figura 119.</b> Evaluación cualitativa de la pregunta 2 .....	95
<b>Figura 120.</b> Evaluación cualitativa de la pregunta 3 .....	96
<b>Figura 121.</b> Evaluación cualitativa de la pregunta 4 .....	96
<b>Figura 122.</b> Evaluación cualitativa general del sistema didáctico.....	97

## RESUMEN

Se presenta un sistema didáctico con dos grados de libertad para realizar el control de movimiento de dos motores paso a paso, en base a una pantalla táctil KTP-600, un PLC SIEMENS S7-1200 DC/DC/DC y el lazo de control se cierra con dos encoders incrementales. En la interacción entre el usuario y sistema, se desarrollaron diferentes interfaces para el control de cada tipo de movimiento. Los ejes se pueden manejar de forma independiente con movimientos simples o secuenciales, realizando desplazamientos en modo Jog, posicionamientos absolutos y relativos, adicionalmente, se coordinan los dos ejes en la simulación de un proceso industrial de llenado y empaquetado de botellas. Como resultado de las pruebas realizadas al sistema didáctico se obtiene un error absoluto promedio aceptable menor a 0.2, lo que comprueba que el módulo didáctico trabaja de forma precisa en función al control implementado. Finalmente, se desarrollaron practicas con estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación demostrando que el sistema es una herramienta de enseñanza-aprendizaje eficiente.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONTROL DE MOVIMIENTO**
- **MOTORES PASO A PASO**
- **CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES**
- **SISTEMA DIDÁCTICO**

## ABSTRACT

It presents a didactic system with two degrees of freedom to perform motion control of two step motors, based on a KTP-600 touch screen, a SIEMENS S7-1200 DC / DC / DC PLC and the control loop is closed with two incremental encoders. In the interaction between the user and the system, different interfaces were developed for the control of each type of movement. The axes can be operated independently with simple or sequential movements, by moving in Jog mode, absolute and relative positioning, in addition, the two axes are coordinated in the simulation of an industrial bottle filling and packaging process. As a result of the tests carried out on the didactic system, an acceptable average absolute error of less than 0.2 is obtained, which shows that the didactic module works precisely according to the implemented control. Finally, practices were developed with students of the Electronics and Instrumentation Engineering career demonstrating that the system is an efficient teaching-learning tool.

### KEYWORDS:

- **MOTION CONTROL**
- **STEP MOTOR**
- **PROGRAMMABLES LOGIC CONTROLLERS**
- **DIDACTIC SISTEM**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

Actualmente el control de movimiento tiene muchos campos de aplicación en lo relacionado a la automatización, pruebas de laboratorio, biomédica, sistemas de producción y de empaque; por lo que es necesario que los estudiantes adquieran experiencia práctica en lo relacionado a este tipo de control, ya que las tareas de movimiento generalmente son críticas y a menudo operan maquinaria que sin un sólido conocimiento pueden causar daño a los seres humanos y/o a la infraestructura de la empresa. (Gürocak, 2016)

En el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos no existen estaciones o módulos que permitan realizar prácticas de control de movimiento, donde los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos durante las horas de clase, sin embargo, se cuenta con los principales materiales para la implementación de un módulo de prácticas, como son los sensores, pantallas táctiles y autómatas programables.

### 1.2 Antecedentes

La automatización industrial ha dado pasos gigantescos entorno a su evolución afectando de manera decisiva el mercado y de esta forma se ha convertido en una prioridad para todo proceso industrial. Cada día esta demanda se va incrementando y exigiendo mayores niveles de tecnologías, en búsqueda

del mejoramiento de la rapidez, calidad, la producción industrial, la eficiencia y la seguridad integral de los operarios.

Un ejemplo claro en el desarrollo de la automatización son los sistemas de control de movimiento los cuales se dedican al control de dispositivos o aplicaciones mecánicas, actuando sobre variables específicas como posición, velocidad y frecuencia. Inicia con la llegada de los servomecanismos, los sistemas de posición y de seguimiento de trayectorias, buscando soluciones de precisión, sincronización y rapidez. La teoría del control de movimiento en los últimos años, ha ganado mucha popularidad y se ha convertido en un requisito básico en máquinas de muchos sectores industriales.

### **1.3 Justificación e Importancia**

La implementación del módulo didáctico ayudará a que los estudiantes puedan desarrollar prácticas de control de movimiento, este tipo de conocimiento teórico-practico brinda una amplia ventaja en el ámbito profesional, ya que es ampliamente utilizado en el sector industrial en la provincia y sus alrededores, en empresas como Familia Sancela, Eduplastic, Holcim, Plasticaucho, entre muchas otras; y a su vez aprovechar los autómatas programables, sensores y actuadores disponibles en el laboratorio de Control de Procesos.

Un sistema de control de movimiento disponible en el laboratorio, permite al docente y al estudiante tener una herramienta completa que los beneficia a la hora de realizar sus prácticas sobre control de movimiento y las aplicaciones que con ello se puede diseñar, proporcionando un aporte significativo en el aprendizaje.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar un sistema didáctico para el desarrollo de prácticas sobre control de movimiento

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Investigar acerca de los sistemas didácticos, control de movimiento y diversas aplicaciones industriales.
- Diseñar el sistema de control de movimiento, mediante diagramas P&ID y de lazo.
- Implementar el sistema de control de movimiento utilizando materiales del laboratorio.
- Validar el sistema de control de movimiento con diferentes aplicaciones prácticas.

## **1.5 Variables de la investigación**

### **1.5.1 Variable Independiente**

Sistema didáctico para el control de movimiento.

### **1.5.2 Variable Dependiente**

Desarrollo de prácticas de control de movimiento para los estudiantes de ingeniería.

## **1.6 Hipótesis**

El diseño e implementación de un sistema didáctico de control de movimiento, permitirá el desarrollo de prácticas a los estudiantes de la carrera de ingeniería en Electrónica e Instrumentación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrolla la fundamentación teórica acerca de control de movimiento, sus componentes, aplicaciones, el software y los diferentes dispositivos empleados para la construcción del sistema didáctico.

#### 2.1 Fundamentación Teórica

##### 2.1.1 Control de movimiento

El control de movimiento interpreta un programa y genera comandos de posición, velocidad, torque para cada eje y su sincronización, a su vez los perfiles de movimiento se actualizan en tiempo real a la par con la conmutación de los motores y cierran los lazos de control. En un sentido general el control de movimiento permite manejar diferentes motores según la aplicación sin tener que interactuar con señales de bajo nivel. Actualmente es muy común encontrar controladores de movimiento que coordinen hasta 8 ejes a la vez, sin embargo, existen ya controladores que manejan hasta 60 ejes.

En control de movimiento, la trayectoria se llama perfil de movimiento. El perfil de movimiento debe llevar a una aceleración suave del eje desde el punto "A" a una velocidad operativa constante. Después de moverse a esta velocidad por un tiempo, el eje debe desacelerarse suavemente para detenerse en el punto "B". El controlador de movimiento genera el perfil de movimiento a intervalos regulares para crear comandos de velocidad y posición para el control de cada motor. (Gürocak, 2016)

Actualmente el control de movimiento se emplea en diferentes industrias como son el área de la robótica, envasado, ensamblaje, textil, papel, procesamiento de alimentos, productos de madera, electrónica, fabricación de semiconductores, pruebas de laboratorio, entre otras. Así un ejemplo más claro es el de una máquina de conversión del papel (Figura 1), la carga es el rollo de papel principal, el cual se desenrolla y rebobina en rollos más pequeños, como toallas de papel en relieve. (Gürocak, 2016)



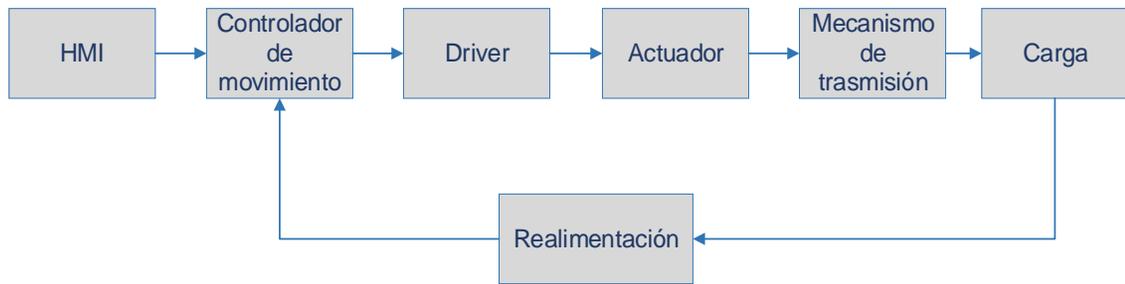
**Figura 1.** Servilletera de vacío 4 líneas

Fuente: (Hinnli CO., LTD., 2019)

### **2.1.2 Componentes de un sistema de control de movimiento**

Un sistema completo de control de movimiento, como el que muestra la Figura 2, consiste en:

- ✓ Interfaz humano-maquina (HMI)
- ✓ Controlador de movimiento
- ✓ Drivers
- ✓ Mecanismos de transmisión
- ✓ Realimentación



**Figura 2.** Componentes de un sistema de control de movimiento

Fuente: (Gürocak, 2016)

- **Interfaz humano-máquina (HMI)**

El HMI (Figura 3) se emplea para comunicarse con el controlador de movimiento y cumple las siguientes funciones: el monitoreo, es decir obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real; supervisión, que da la posibilidad de modificar parámetros de trabajo directamente desde la pantalla; y alarmas, las cuales reconocen y reportan eventos excepcionales que ocurren durante el proceso. (Molina, 2015)



**Figura 3.** Interfaz humano-máquina

Fuente: (Siemens, 2019)

- **Controlador de Movimiento**

El controlador de movimiento es el cerebro del sistema, este genera los perfiles de movimiento para todos los ejes basado en los parámetros definidos por el usuario. Durante el funcionamiento de la máquina, el controlador recibe

retroalimentación del eje de cada motor, realiza una comparación entre la señal enviada y la recibida, si encuentra una diferencia, el controlador genera comandos de corrección que se envían al driver de dicho eje; y de esta forma cierra los bucles de control. (Gürocak, 2016)

- **Driver**

Las señales de comando generadas por el controlador son pequeñas, el driver amplifica estas señales a niveles de voltaje y corriente necesarios para operar el motor, por esta razón se debe seleccionar el driver adecuado para que coincida con el tipo de motor a ser utilizado en el sistema. (Gürocak, 2016)

- **Actuadores**

Un actuador es un dispositivo que provee la energía necesaria para mover la carga. Cuando se diseña una máquina para aplicaciones del control de movimiento, se debe seleccionar cuidadosamente el motor para que exista un correcto funcionamiento. (Gürocak, 2016)

- **Mecanismos de transmisión**

Un mecanismo de transmisión es usado para conectar la carga con el eje del motor y ayuda a cumplir los requisitos de perfil de movimiento generado por el controlador. En este sistema didáctico los mecanismos de transmisión empleados son poleas metálicas (Figura 4) y correas dentadas (Figura 5). (Gürocak, 2016)



**Figura 4.** Polea metálica GT2

Fuente: (SANDOROBOTICS, s.f.)



**Figura 5.** Correa dentada GT2, 101 dientes, 610 mm

Fuente: (SANDOROBOTICS, s.f.)

- **Realimentación**

Los dispositivos de realimentación son utilizados para medir la posición y/o la velocidad de la carga. Los más comunes son los tacómetros y encoders, a su vez los encoders pueden ser incrementales o absolutos. La selección del dispositivo de realimentación depende de la precisión deseada, el costo y de las condiciones ambientales en las que vaya a funcionar la máquina. (Gürocak, 2016)

### **2.1.3 PLC**

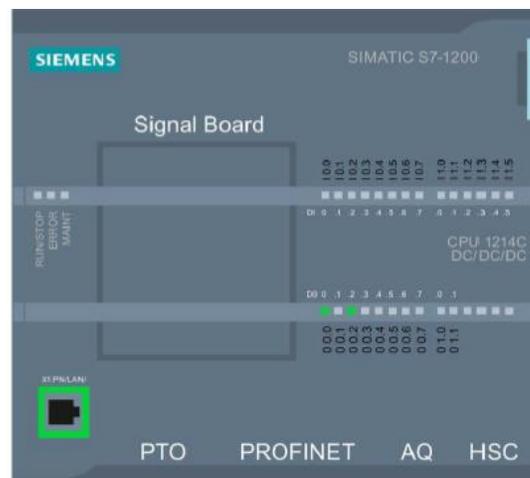
Un PLC conocido por sus siglas en inglés como Controlador Lógico Programable, es un dispositivo electrónico capaz de realizar tareas de control de forma automática en tiempo real. Es el cerebro que activa diferentes maquinas en procesos que pueden ser peligrosos para el ser humano y que necesitan de gran precisión y rapidez de reacción. Cabe recalcar que su programación y manejo puede ser realizada por personal con conocimientos de electricidad o electrónica. (Vallejo, 2019)

### **2.1.4 PLC SIEMENS S7-1200**

El autómeta de la marca SIEMENS S7-1200 ofrece una amplia variedad de prestaciones para el desarrollo de soluciones rápidas y sencillas, entre sus principales características se destacan las siguientes:

- Capacidad de procesamiento de 64bits
- Integrada la comunicación Ethernet/Profinet
- Entradas analógicas incorporadas
- Se puede programar mediante el software STEP 7 Basic V13

Este autómata (Figura 6) cuenta con cinco tipos diferentes de CPU: 1211C, 1212C, 1214C, 1215C y 1217C, los cuales pueden expandirse en función de las necesidades o requerimientos del usuario. (SIEMENS, 2009)



**Figura 6.** PLC S7-1200 1214C DC/DC/DC

Fuente: (SIEMENS, 2016)

Es importante resaltar que los autómatas SIEMENS S7-1200 pueden controlar hasta cuatro ejes mediante salidas de pulsos, estas salidas deben ser transistorizadas en corriente continua, por lo general se usa los modelos DC/DC/DC y otra opción es mediante el uso de una Signal Board. Hay que considerar que si se usan las salidas en modo de pulsos bifásicos (pulso más dirección) o monofásicos, pues en el primer caso se necesitaran dos salidas de pulsos por eje. A continuación, en la Tabla 1. se indican el número máximo de ejes a controlar en función del modelo del PLC. (Automatización Industrial, 2018)

**Tabla 1. Ejes máximos a controlar según el modelo del PLC**

Tipo de CPU		E/S incorporadas/ Ninguna SB instalada		Con una SB (2 salidas DC)		Con una SB (4 salidas DC)	
		Con sentido	Sin sentido	Con sentido	Sin sentido	Con sentido	Sin sentido
CPU 1214C	DC/DC/DC	4	4	4	4	4	4
	AC/DC/RELE	0	0	1	2	2	4
	DC/DC/RELE	0	0	1	2	2	4
CPU 1215C	DC/DC/DC	4	4	4	4	4	4
	AC/DC/RELE	0	0	1	2	2	4
	DC/DC/RELE	0	0	1	2	2	4
CPU 1217C	DC/DC/DC	4	4	4	4	4	4

Fuente: (Automatización Industrial, 2018)

En función de la CPU o de la Signal Board se pueden utilizar las salidas del generador de impulsos con las frecuencias límites que se muestran en la *Tabla 2*. (SIEMENS, 2016)

**Tabla 2. Salidas utilizables del generador de impulsos y frecuencias límite**

Integrado	Q0.0	Q0.1	Q0.2	Q0.3	Q0.4	Q0.5	Q0.6	Q0.7	Q1.0	Q1.1
CPU 1214 (DC/DC/DC)	100 kHz	100 kHz	100 kHz	100 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz
CPU 1215 (DC/DC/DC)	100 kHz	100 kHz	100 kHz	100 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz	20 kHz
CPU 1217 (DC/DC/DC)	1 MHz	1 MHz	1 MHz	1 MHz	100 kHz	100 kHz	100 kHz	100 kHz	100 kHz	100 kHz

CONTINÚA 

Signal Board		Qx.0	Qx.1	Qx.2	Qx.3	-	-	-	-	-	-
Signal Board											
DI2/DQ2	x	20 kHz	20 kHz	-	-	-	-	-	-	-	-
DC24V											
20 KHz											
Signal Board											
DI2/DQ2	x	200 kHz	200 kHz	-	-	-	-	-	-	-	-
DC24V											
200 KHz											
Signal Board											
DQ4	x	<b>200 kHz</b>	<b>200 kHz</b>	<b>200 kHz</b>	<b>200 kHz</b>	-	-	-	-	-	-
DC24V											
200 KHz											
Signal Board											
DI2/DQ2	x	200 kHz	200 kHz	-	-	-	-	-	-	-	-
DC5V											
200 KHz											
Signal Board											
DQ4	x	200 kHz	200 kHz	200 kHz	200 kHz	-	-	-	-	-	-
DC5V											
200 KHz											

Fuente: (SIEMENS, 2016)

### 2.1.5 SIMATIC STEP 7 TIA Portal V14

Es un software de ingeniería orientado a tareas de programación de PLC y también para la configuración de Simatic HMI Basic Panel, es intuitivo y ayuda

en la configuración de hardware y redes, logrando una integración muy completa entre el controlador y el HMI. (SIEMENS, 2009)

Para implementar un sistema de control de movimiento con la CPU S7-1200 hay que realizar la configuración de los objetos tecnológicos siguientes (SIEMENS, 2016):

- Eje de posicionamiento
- Tabla de peticiones.

A continuación, se especifica cada objeto tecnológico, indicando sus características más relevantes.

- **Objeto tecnológico Eje de posicionamiento**

El objeto tecnológico eje de posicionamiento (TO\_PositioningAxis) representa al accionamiento físico en el controlador, las instrucciones de control de movimiento ayudan a realizar peticiones de posicionamiento al accionamiento por medio del programa de usuario. (SIEMENS, 2016)

El software TIA Portal posee tres herramientas para el objeto tecnológico eje de posicionamiento que son “Configuración”, “Puesta en servicio” y “Diagnostico”. En la Figura 7 se indica la interacción de las herramientas con el objeto tecnológico y el accionamiento. (SIEMENS, 2016)



**Figura 7.** Interacción de las herramientas con el objeto tecnológico eje de posicionamiento y el accionamiento.

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- 1) Configuración: para la lectura y escritura de los datos de configuración del objeto tecnológico como selección del PTO y salida analógica a utilizarse, propiedades de la mecánica, propiedades de los límites de posición, propiedades de la dinámica, del referenciado y parámetros de lazo de regulación. (SIEMENS, 2016)
- 2) Puesta en servicio: permite realizar una prueba de funcionamiento del eje sin tener la necesidad de crear un programa de usuario, este panel de comando cuenta con los siguientes comandos: habilitación y bloqueo del eje, desplazamiento del eje en modo Jog, posicionamiento absoluto y relativo del eje, referenciado del eje y aviso de errores. Además, este panel de mando muestra el estado actual del eje. (SIEMENS, 2016)

- 3) Diagnóstico: mediante este se puede realizar una lectura de las informaciones actuales de errores y del estado del objeto tecnológico. (SIEMENS, 2016)

- **Objeto tecnológico Tabla de peticiones**

El objeto tecnológico tabla de peticiones (TO\_CommandTable) permite la creación perfiles de movimiento mediante una tabla en un cuadro de dialogo para su configuración con ayuda de las instrucciones de control de movimiento, los perfiles resultantes son utilizados con el objeto tecnológico eje de posicionamiento en un accionamiento físico. La tabla de peticiones se puede procesar por completo o parcialmente. (SIEMENS, 2016)

El software TIA Portal posee la herramienta "Configuración" para el objeto tecnológico tabla de peticiones. En la Figura 8 se indica la interacción de dicha herramienta con el objeto tecnológico. (SIEMENS, 2016)



**Figura 8.** Interacción entre la herramienta de "Configuración" y el objeto tecnológico tabla de peticiones

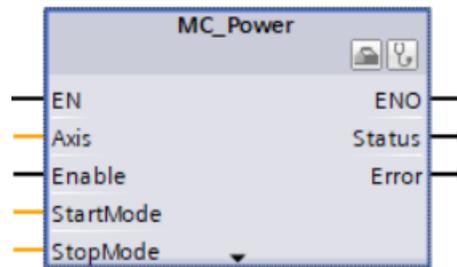
Fuente: (SIEMENS, 2016)

- 1) Configuración: permite establecer las propiedades del objeto tecnológico como crear una o varias secuencias de movimiento configurando instrucciones individuales, y también dispone una representación gráfica que comprueba la secuencia de movimientos basándose en el eje ya configurado o un eje de ejemplo configurable. (SIEMENS, 2016)

STEP 7 tiene las siguientes instrucciones de control de movimiento las cuales tienen una estructura muy similar entre ellas con varias salidas, entradas y parámetros para que cada instrucción actúe sobre el eje correspondiente, y a continuación se especifican cada una de ellas (SIEMENS, 2016):

- "MC\_Power"
  - "MC\_Reset"
  - "MC\_Home"
  - "MC\_Halt"
  - "MC\_MoveAbsolute"
  - "MC\_MoveRelative"
  - "MC\_MoveVelocity"
  - "MC\_MoveJog"
  - "MC\_CommandTable"
  - "MC\_ChangeDynamic"
  - "MC\_WriteParam"
- 
- **Instrucción "MC\_Power"**

La instrucción "MC\_Power" habilita o deshabilita un eje, cuando se encuentra deshabilitado el eje cancela todas las instrucciones. Este bloque se muestra en la Figura 9. (SIEMENS, 2016)



**Figura 9.** Bloque “MC\_Power”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_Reset”**

El bloque “MC\_Reset”, en la Figura 10. *Bloque “MC\_Reset*, reporta diferentes errores de funcionamiento con paradas del eje, puede ser configurado para ejecutarse en diferentes condiciones del proceso, también reinicia un objeto tecnológico. (SIEMENS, 2016)

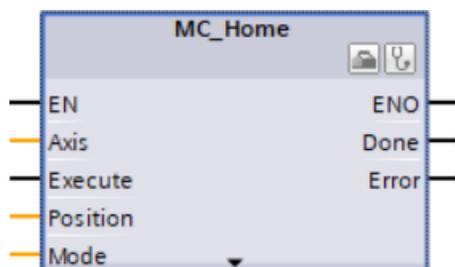


**Figura 10.** Bloque “MC\_Reset”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_Home”**

Esta instrucción (Figura 11**Figura 11**) permite configurar el punto de referencia del eje, este bloque es necesario para el posicionamiento absoluto del eje. El parámetro “Mode” indica el modo de toma de la referencia y tiene las configuraciones que se muestran en la Tabla 3 (SIEMENS, 2016)



**Figura 11.** Bloque “MC\_Home”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

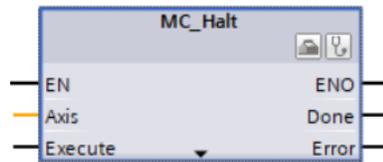
**Tabla 3.** Modo de toma de referencia de la instrucción “MC\_POWER”

Modo de Toma de Referencia	Descripción
0	Toma el dato del parámetro “Position” como el nuevo valor de referencia.
1	Toma el dato del parámetro “Position” y se suma con la posición actual del eje y el resultado es el nuevo valor de referencia.
2	En función a la configuración del eje y posterior al referenciado se utiliza el valor del parámetro “Position” como la nueva posición del eje.
3	Se realiza la aproximación al punto de referencia en función de la configuración del eje y posterior al referenciado se utiliza el valor del parámetro “Position” como la nueva posición del eje.

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_Halt”**

La instrucción “MC\_Halt” (Figura 12) cancela las operaciones de movimiento y frena el eje con la deceleración configurada hasta parar completamente. (SIEMENS, 2016)

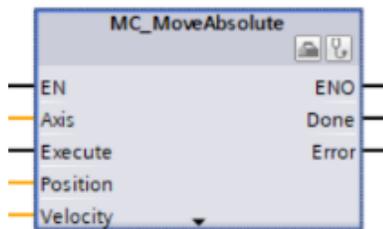


**Figura 12.** Bloque “MC\_Halt”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_MoveAbsolute”**

La instrucción “MC\_MoveAbsolute” (Figura 13) inicia el movimiento del eje con respecto a una posición absoluta. (SIEMENS, 2016)

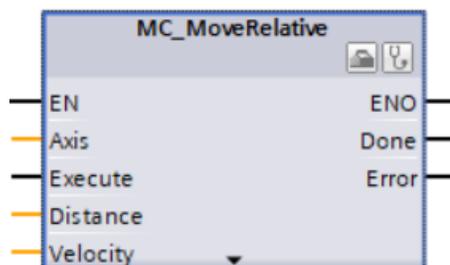


**Figura 13.** Bloque “MC\_MoveAbsolute”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_MoveRelative”**

El bloque “MC\_MoveRelative” (Figura 14) inicia el movimiento para el posicionamiento relativo del eje con respecto a una posición inicial. (SIEMENS, 2016)

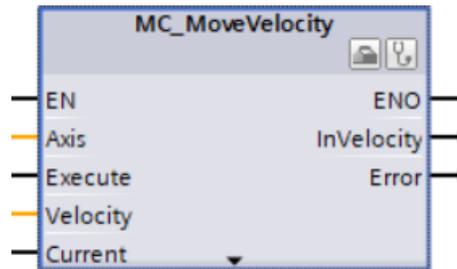


**Figura 14.** Bloque “MC\_MoveRelative”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_MoveVelocity”**

Esta instrucción “MC\_MoveVelocity” (Figura 15) mueve el eje de una forma constante de acuerdo a una velocidad especificada. (SIEMENS, 2016)

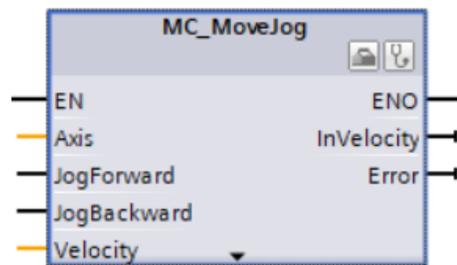


**Figura 15.** Bloque “MC\_MoveVelocity”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_MoveJog”**

El bloque “MC\_MoveJog” (Figura 16) mueve el eje de forma constante a una velocidad establecida por el usuario en modo Jog, esta instrucción se utiliza con fines de realizar pruebas o puesta en marcha del eje. (SIEMENS, 2016)



**Figura 16.** Bloque “MC\_MoveJog”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_CommandTable”**

Esta instrucción (Figura 17) agrupa algunas peticiones para el control del eje en una secuencia de movimientos. (SIEMENS, 2016)

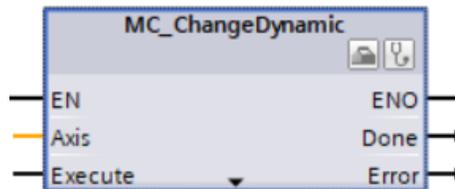


**Figura 17.** Bloque “MC\_CommandTable”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_ChangeDynamic”**

El bloque “MC\_ChangeDynamic” (Figura 18) modifica ajustes dinámicos del eje como por ejemplo el tiempo de aceleración, el tiempo de deceleración, el tiempo de deceleración de parada de emergencia y el tiempo de redondeo. (SIEMENS, 2016)

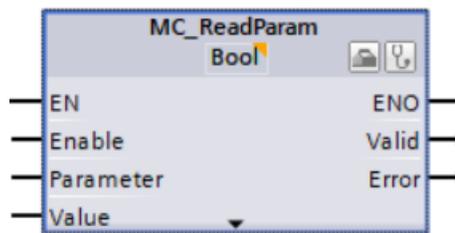


**Figura 18.** Bloque “MC\_ChangeDynamic”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_ReadParam”**

Esta instrucción “MC\_ReadParam” (Figura 19) permite realizar la lectura de los datos del movimiento de un eje, así como también emite avisos de estado del mismo. (SIEMENS, 2016)

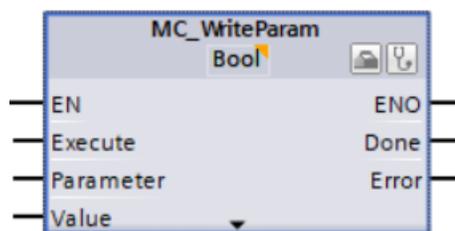


**Figura 19.** Bloque “MC\_ReadParam”

Fuente: (SIEMENS, 2016)

- **Instrucción “MC\_WriteParam”**

El bloque “MC\_WriteParam” (Figura 20) permite escribir parámetros de un objeto tecnológico a partir del programa de usuario, también puede modificar o cambiar los valores de variables que son específicamente de lectura. (SIEMENS, 2016)



**Figura 20.** Bloque “MC\_WriteParam”

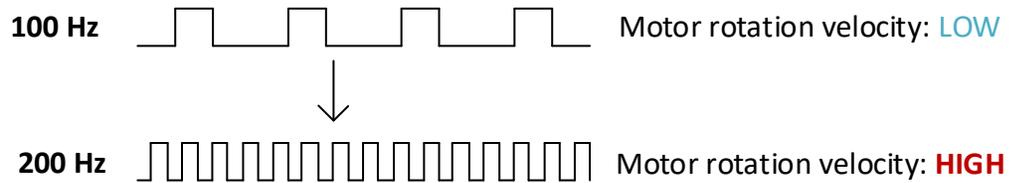
Fuente: (SIEMENS, 2016)

### 2.1.6 Motor paso a paso con PTO

- **Motores paso a paso.**

Un motor a pasos es un dispositivo electro-mecánico de corriente continua, que funciona incrementalmente convirtiendo los pulsos de señales digitales en movimiento mecánico rotacional, este es directamente proporcional al número de pulsos y su velocidad es proporcional a la cantidad de pulsos por unidad de tiempo, como se puede observar en la Figura 21. Generalmente la resolución es

un paso (un pulso) corresponde a  $1.8^\circ$ ,  $0.72^\circ$  y  $0.36^\circ$ , según las características del motor. (Contec, 2019)



**Figura 21.** Velocidad de motor a pasos.

Fuente: (Contec, 2019)

- **Motor paso a paso NEMA 17**

El motor a pasos NEMA 17 (KL17H248-15-4A), es un motor bipolar con un voltaje nominal de 4.2V, el ángulo de pasos es de  $1.8^\circ \pm 5\%$ , a su vez tiene un eje de 5mm de diámetro, con una corriente de fase de 1.5A, el torque de sujeción es de 5.5Kg/cm. Cuenta con un cable 22AWG de 750mm de largo con conector para el driver del motor. Como se puede observar en la Figura 22. (Automation Technology Inc, 2019)



**Figura 22.** Motor paso a paso NEMA 17

Fuente: (Automation Technology Inc, 2019)

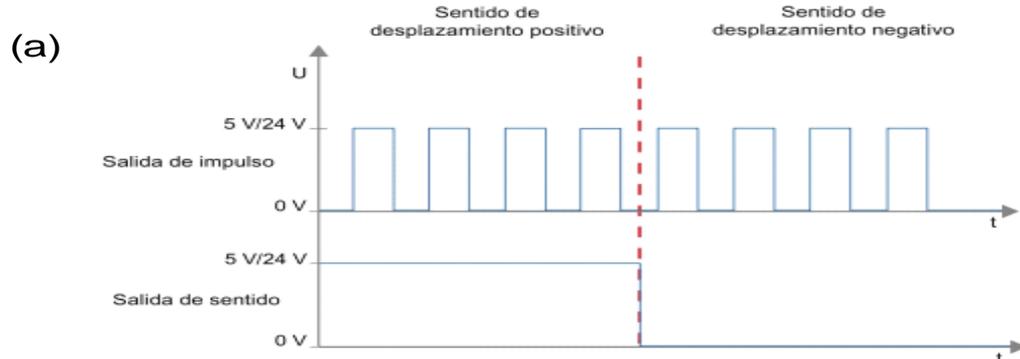
- **Salida de tren de impulsos (PTO)**

La señal de salida de tren de impulsos (PTO) es una forma de onda cuadrada, que se mantiene con un tiempo de alto y bajo iguales, es decir, tiene un factor de trabajo del 50%, dejando la opción de controlar la frecuencia de los pulsos. El

autómata programable debe tener una capacidad de conmutación elevada en sus terminales de entrada y salida para emitir las variaciones de frecuencia deseadas.

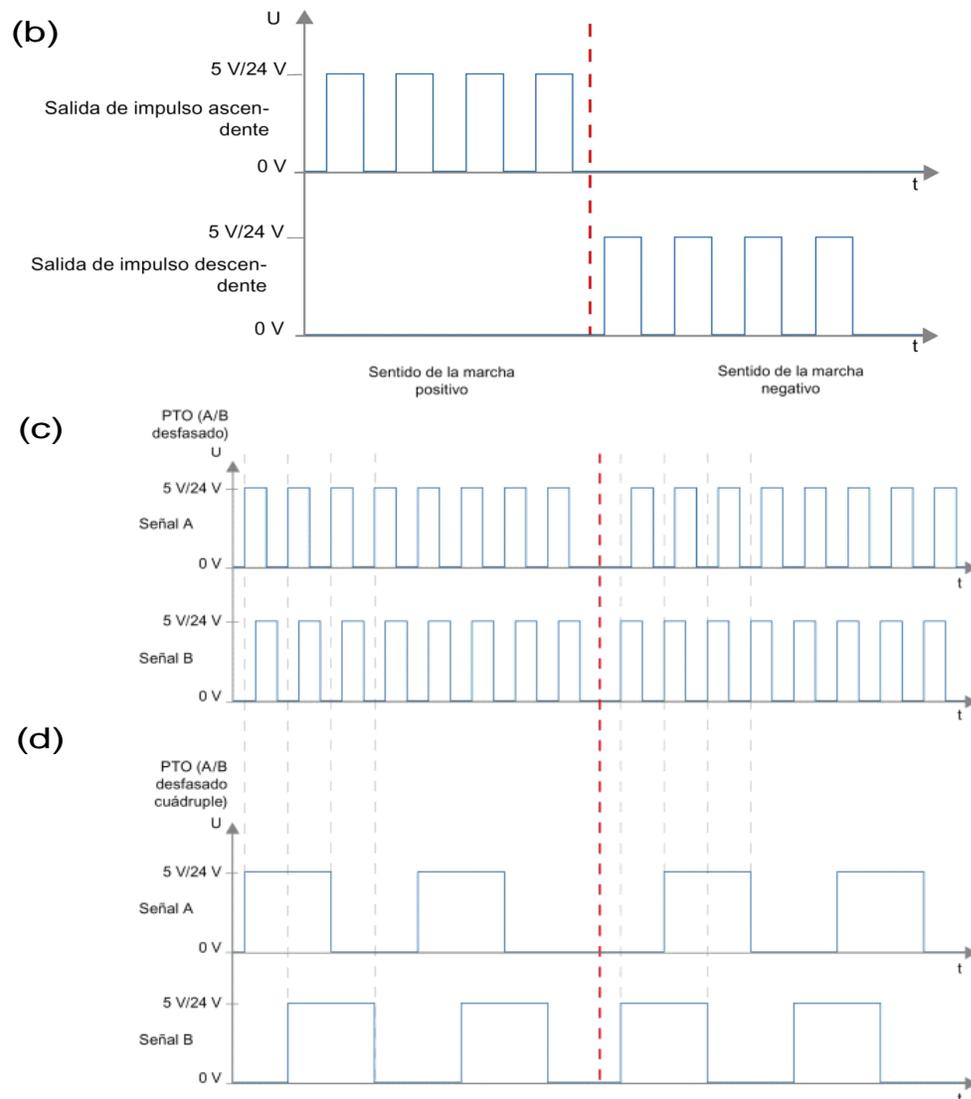
La configuración de las fases en PTO pueden ser las siguientes, además se muestran las señales generadas en la Figura 23:

- PTO (impulso A y sentido B): para el control del motor paso a paso se emplean una salida de impulso y una de sentido.
- PTO (oscilación hacia delante A y oscilación hacia atrás B): se utiliza una salida de impulso para el desplazamiento en sentido positivo y otro para el desplazamiento en sentido negativo.
- PTO (A/B desfasado): las salidas A y B poseen la misma frecuencia y se determina el sentido según el desfase entre las mismas, después de evaluar el periodo de las salidas como paso.
- PTO (A/B desfasado – cuádruple): las salidas A y B poseen la misma frecuencia y el desfase determina el sentido en función del desfase entre las mismas, después de evaluar en el lado del accionamiento los flancos ascendentes y descendentes de las salidas como paso. (SIEMENS, 2016)



CONTINÚA





**Figura 23.** Señales PTO: (a) Impulso A y Sentido B; (b) Oscilación hacia delante A, oscilación hacia atrás B; (c) A/B desfasada; (d) A/B desfasado-cuádruple.

Fuente: (SIEMENS, 2016)

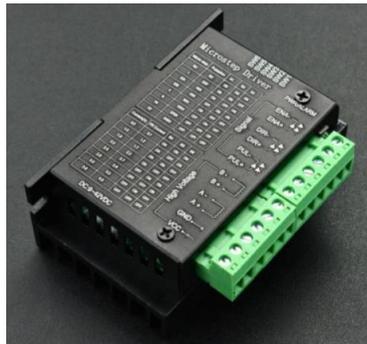
### 2.1.7 Driver para motores paso a paso

Los drivers son tarjetas electrónicas que regulan los valores de voltaje y corriente para el manejo de motores paso a paso bipolares o unipolares, los cuales pueden variar ciertas características según el microcontrolador y

fabricante, por lo que a continuación se especifican los modelos utilizados en el sistema didáctico. (Gürocak, 2016)

- **TB6600**

El controlador está basado en el chip TB6600 (Figura 24), el cual permite controlar motores de hasta 3.5A por canal, esta tarjeta posee limitación de corriente regulada por el usuario, protección contra sobre corriente y siete resoluciones diferentes de micro pasos que se configuran a partir de micro interruptores. Soporta voltajes de entrada de entre 9V a 42V DC, permite el control de dirección y de paso como todos los controladores de este tipo. Además, las señales están protegidas internamente a través de optoacopladores de alta velocidad de conmutación. (Brico Geek, s.f.)



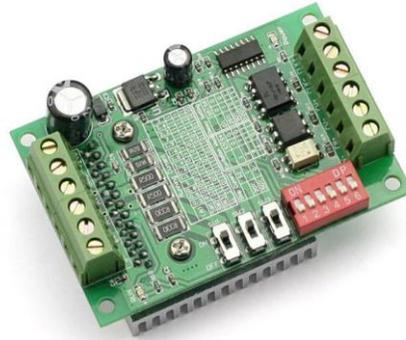
**Figura 24.** Driver TB6600

Fuente: (Brico Geek, s.f.)

- **TB6560**

Este controlador (Figura 25) es regulable y de esta forma permite satisfacer al usuario dependiendo de la aplicación que va a desarrollar su uso es sencillo y además tiene un acoplamiento óptico de alta velocidad que garantiza que esta no influya en pérdidas en control de pasos. El dispositivo tiene impreso en la tarjeta instrucciones para que se puedan realizar las conexiones de manera adecuada, pero hay que considerar que no cuenta con ningún circuito de protección por lo que es necesario tener mucho cuidado al usarlo. El voltaje de

funcionamiento es de 10V a 35V DC, pero se recomienda 24V DC. La corriente de funcionamiento máxima es de 3A. Por medio de los micro switch se puede definir la segmentación de pasos desde el paso completo, medio paso, 1/8 de paso y hasta 1/16 de paso. (Electronilab, s.f.)



**Figura 25.** Driver TB6560  
Fuente: (Electronilab, s.f.)

### 2.1.8 Encoder incremental

La retroalimentación es necesaria para cerrar los diferentes tipos de control, entre los sensores más utilizados para unidades de potencia media-baja se encuentra el encoder incremental rotativo, el cual entrega la velocidad y posición del motor en señales digitales. (Petrella & Tursini, 2008)

- **Encoder incremental TRD-S360BD**

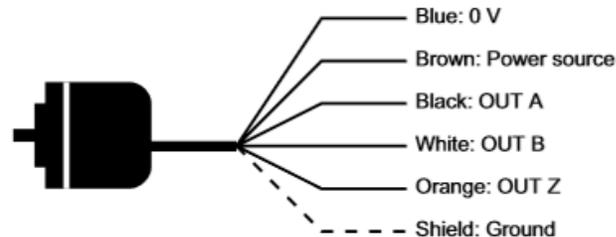
Es un sensor rotativo (Figura 26) que entrega un número exacto de pulsos que están espaciados de forma equitativa por revolución (PPR) o por pulgada o milímetro de movimiento lineal. Posee tres canales de salida los cuales se utilizan para aplicaciones donde el sentido de la dirección del movimiento si es importante. (Panchi & Herrera, 2015)



**Figura 26.** Encoder incremental rotativo TRD-S360BD

Fuente: (Automation Direct, s.f.)

En la Figura 27 se muestra el diagrama de cableado del encoder, la salida A y B están desfasadas 90° entre sí generando internamente cuatro estados lógicos únicos. La salida Z es la referencia absoluta y también se conoce como posición de inicio, significa que el eje ha cumplido con una rotación. (Automation Direct)



**Figura 27.** Cableado encoder TRD-S360BD

Fuente: (Automation Direct)

- **Lectura del encoder usando un contador rápido (HSC-High Speed Counter).**

El contador rápido se suele emplear como entrada para un encoder rotativo incremental. Este encoder entrega un número específico de valores de conteo por revolución, así como también un impulso de reseteo que se genera una vez cada revolución. (SIEMENS, 2009)

El software STEP 7 nos permite realizar la configuración del contador rápido al que el encoder va a transferir el valor real en el campo; es necesario la comprobación de los tiempos de filtrado de los dos tipos de entradas digitales que se utilizan para el HSC, ya que estos tiempos deben ser lo suficientemente

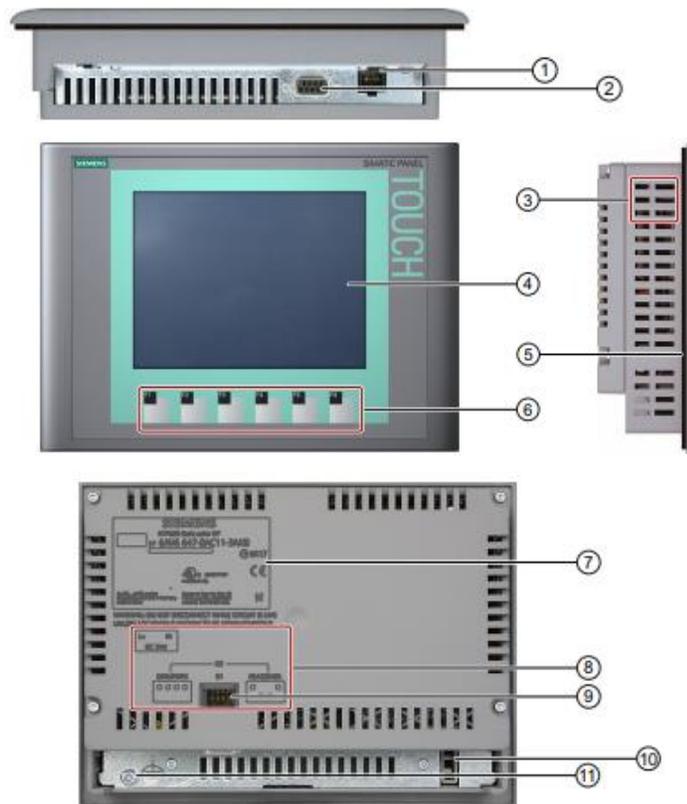
pequeños para que se pueda captar de una forma segura los impulsos. (SIEMENS, 2016)

### 2.1.9 Pantalla táctil

Con el fin de conseguir un entorno más amigable en el sistema didáctico se integra una pantalla táctil configurable que será la interfaz humano-maquina (HMI) utilizada para el control y supervisión de las variables del control de movimiento. (Navas, 2017)

- **KTP-600 PN Basic Panel**

En la Figura 28 se muestra los componentes de la pantalla táctil KTP-600, y en la Tabla 4 se indica los datos técnicos más relevantes de la misma.



CONTINÚA



- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| ① Conexión para la fuente de alimentación  | ⑦ Placa de características     |
| ② Interfaz RS-422/RS-485                   | ⑧ Nombre del puerto            |
| ③ Escotaduras para una mordaza de fijación | ⑨ Interruptor DIL              |
| ④ Pantalla/pantalla táctil                 | ⑩ Guía para una tira rotulable |
| ⑤ Junta de montaje                         | ⑪ Conexión de tierra funcional |
| ⑥ Teclas de función                        |                                |

**Figura 28.** Componentes KTP-600 PN Basic Color

Fuente: (Siemens, 2012)

**Tabla 4.** Datos técnicos KTP-600 PN Basic Color

Elemento	Descripción	Dato técnico
Peso	Peso sin embalaje	1070g Aproximadamente
Pantalla	Tipo	LCD-TFT
	Área activa de la pantalla	115,2x86,4mm (5.7plg)
	Resolución	320x240 pixels
	Colores representables	256
Unidad de entrada	Tipo	Pantalla táctil analógica resistiva
	Teclas de función	6
Memoria	Memoria de aplicación	512 kB
Tensión de alimentación	Tensión nominal	DC +24V
	Rango admisible	De 19.2V a 28.8V ( $\pm 20\%$ )
	Consumo típico	Aproximadamente 350 mA
	Fusible interno	Electrónico
Protección contra impurezas y agua	Parte frontal	IP 65
	Lado posterior	IP20

Fuente: (Navas, 2017)

## CAPÍTULO III

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Este capítulo describe de forma precisa el diseño e implementación del sistema didáctico de control de movimiento, la construcción de la estructura, diagrama P&ID, diagrama de lazo y el desarrollo del algoritmo de control.

Es relevante conocer los componentes de hardware y software para su uso correcto, por esta razón se describe en la Figura 29 los elementos que forman el sistema didáctico en un diagrama pictórico, y en la

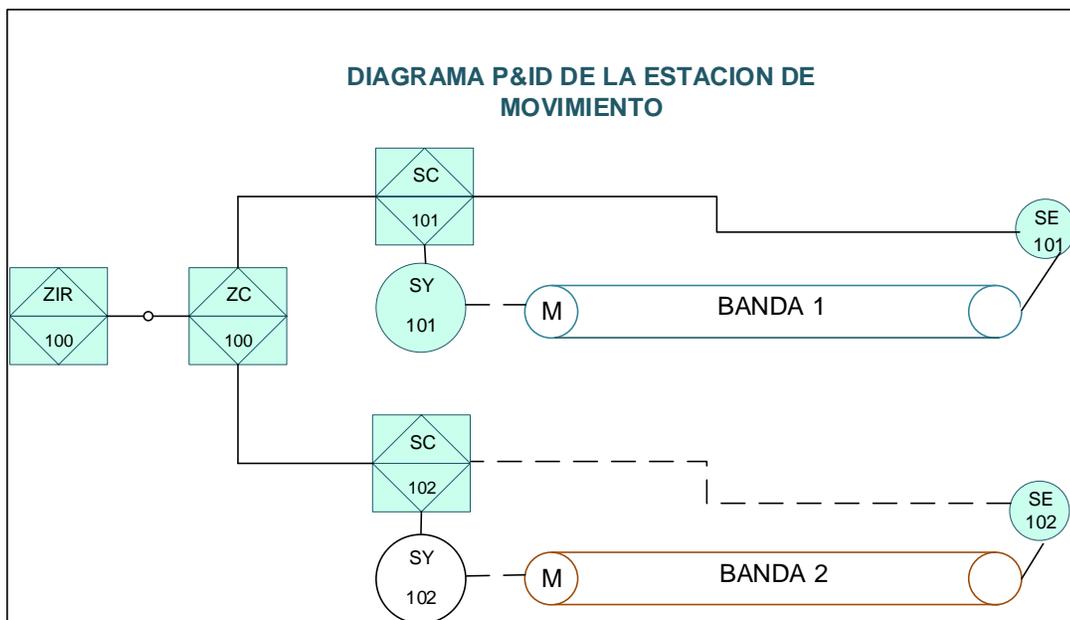
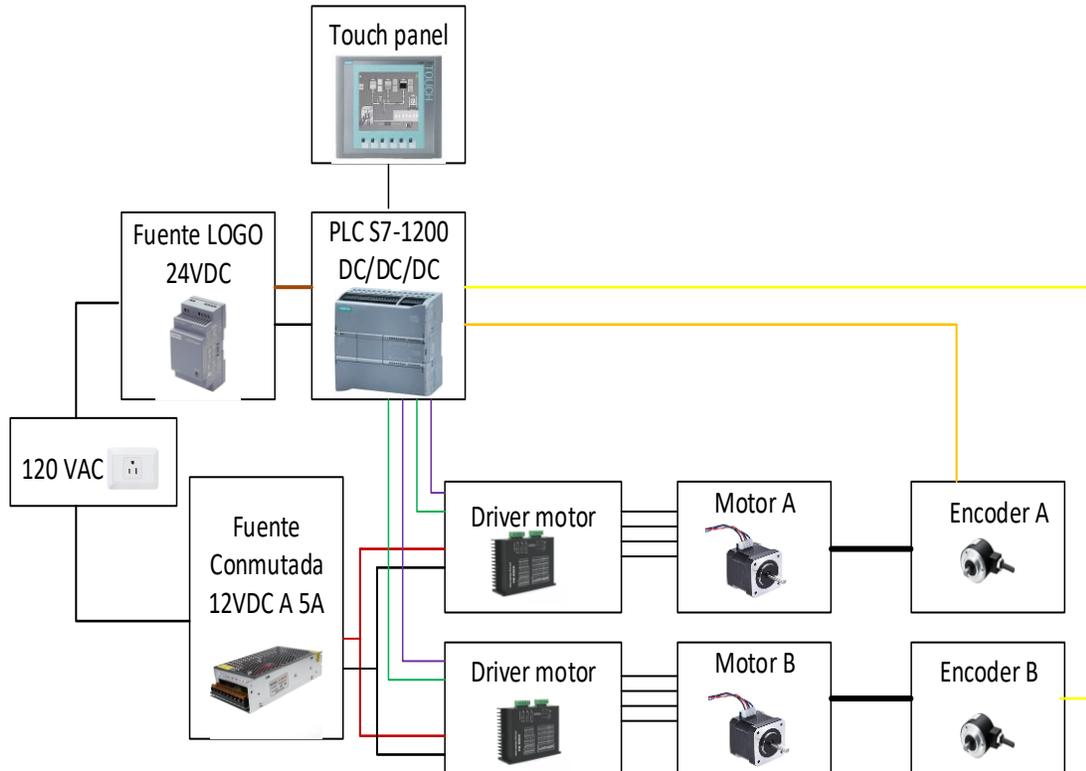
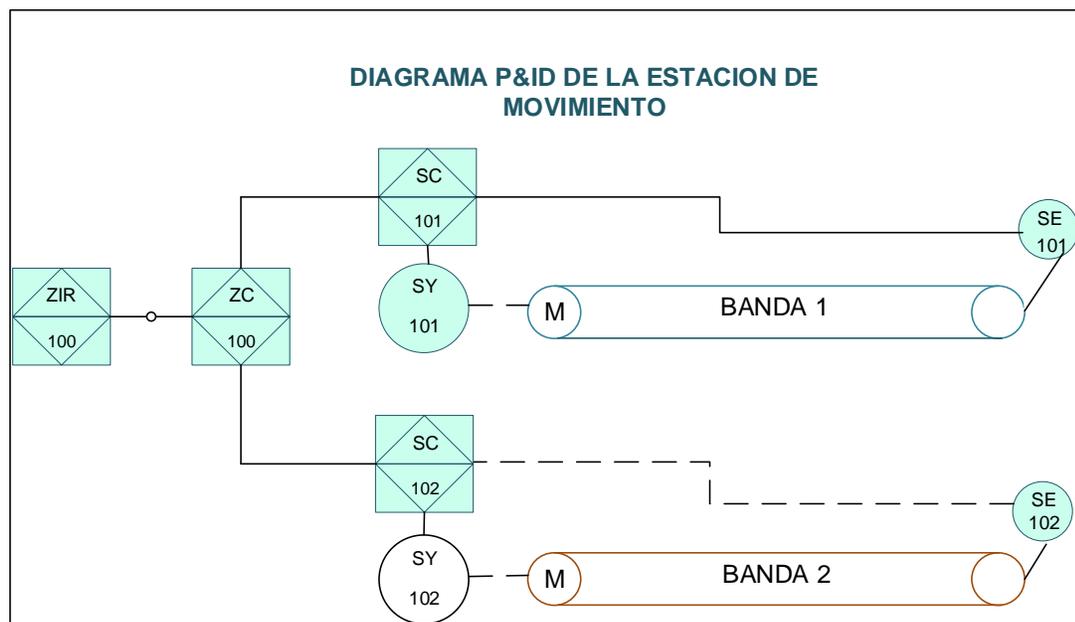


Figura 30 se describe los elementos en un diagrama P&ID.



**Figura 29.** Diagrama pictórico del sistema didáctico



**Figura 30.** Diagrama P&ID del sistema didáctico

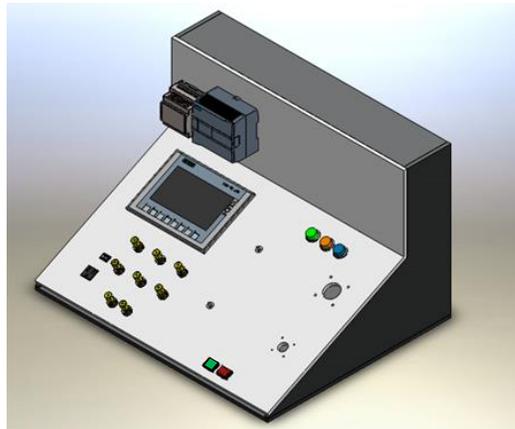
### 3.1 Diseño y elaboración de la estructura del módulo didáctico

El diseño de la estructura fue desarrollado en el software SolidWorks como se puede observar en la Figura 31, y su construcción se la realizó utilizando MDF de 6mm e internamente tiene una estructura metálica que brinda soporte a los dispositivos que conforman el sistema (Figura 32) los cuales en la parte externa son:

- PLC SIEMENS S7-1200 1214C DC/DC/DC
- Fuente SIEMENS Logo 24V DC
- Touch Panel SIEMENS KTP-600 PN Basic Color
- 2 motores paso a paso NEMA 17
- 2 encoders rotativos incrementales TRD-S30BD
- 2 poleas metálicas dentadas modulo GT2
- 2 bandas dentadas de 610 mm de diámetro, 6mm de ancho, 101 dientes.
- 3 luces piloto (verde, naranja, azul)
- 2 pulsadores (N/A, N/C)
- 1 interruptor de 110V AC
- 8 borneras hembra
- 1 toma corriente 110 V AC
- 1 conector 110 V AC
- 1 cable Ethernet

Y en la parte interna se encuentran:

- 2 drivers (TB 6600, TB6560)
- 1 fuente de 12 V DC, 5A.



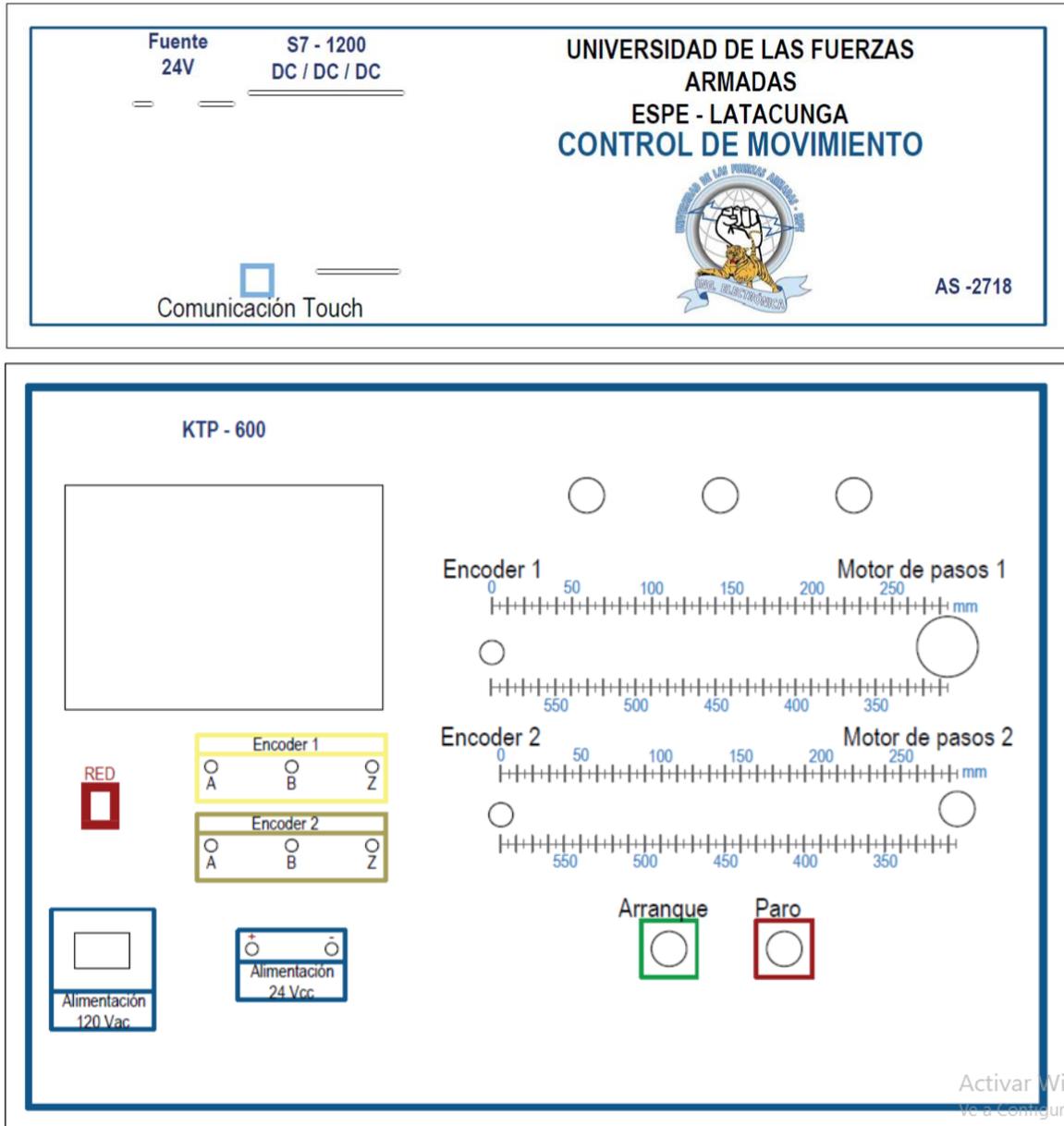
**Figura 31.** Diseño en SolidWorks de la estructura.



**Figura 32.** Implementación del sistema didáctico.

### 3.1.1 Diseño del panel frontal

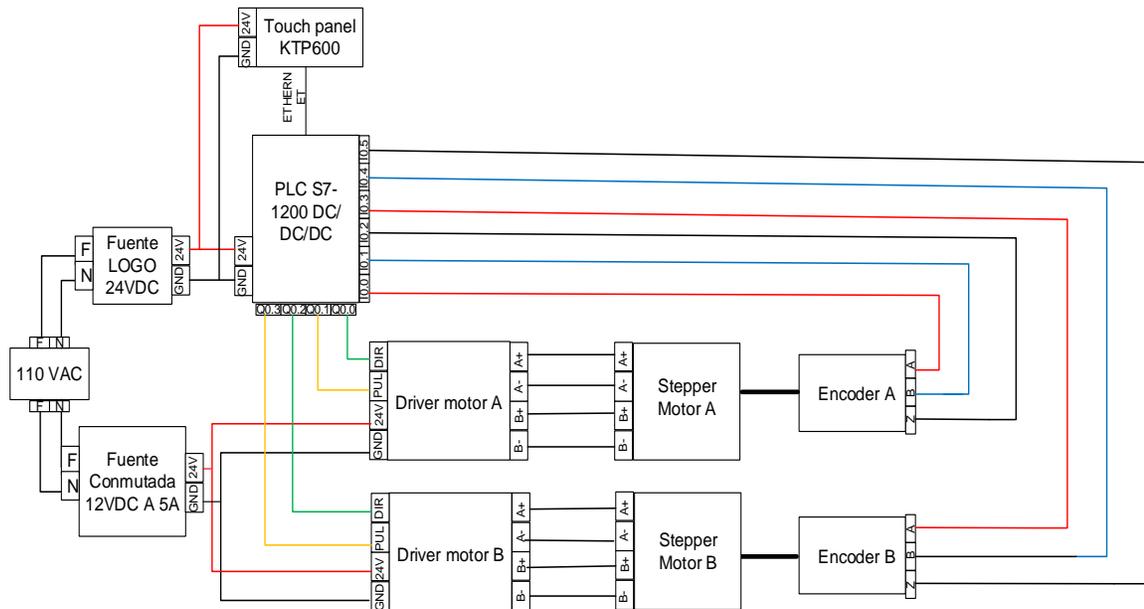
El diseño del diagrama del panel frontal del módulo (Figura 33) se lo realizó en AutoCAD, en este se especifica los componentes del sistema didáctico, así como también posee una unidad de medida para cada banda la cual permite la verificación del desplazamiento de las mismas.



**Figura 33.** Diagrama frontal del módulo didáctico

### 3.1.2 Diagrama de lazo

La Figura 34 muestra el diagrama de lazo del sistema, el cual indica de forma simplificada las conexiones realizadas entre los dispositivos. El PLC se conecta con la pantalla táctil por conexión ethernet. Las fuentes, los drivers, los motores y los encoders se enlazan mediante señales eléctricas.

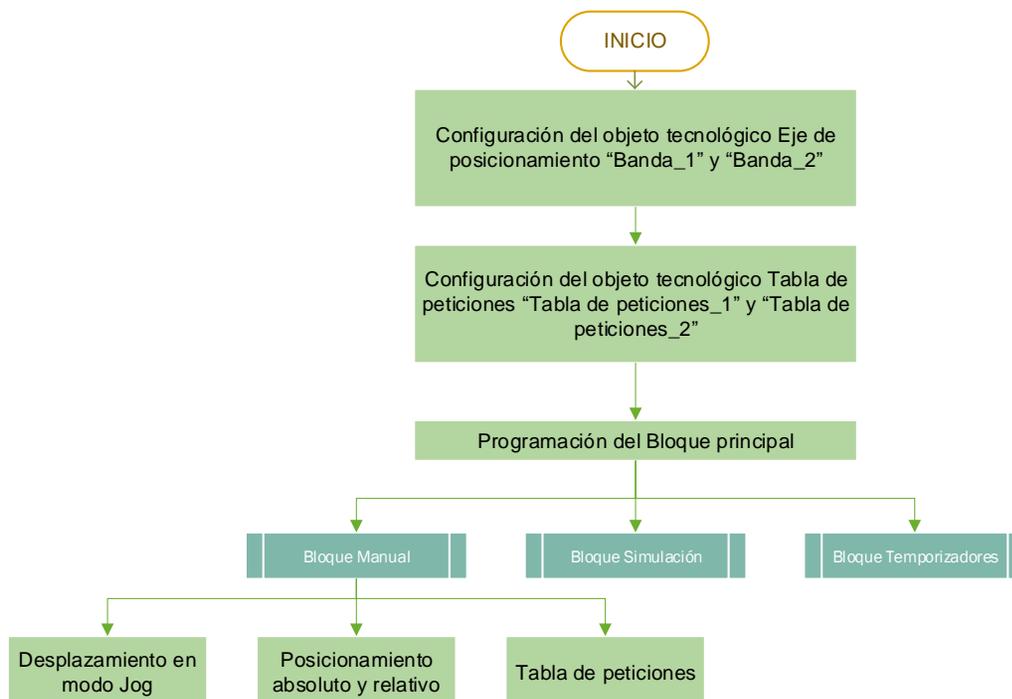


**Figura 34.** Diagrama de lazo

### 3.2 Diseño de la etapa de control

Para el diseño de la etapa de control se debe considerar el propósito del programa, el cual es brindar al usuario la capacidad de manipular las herramientas de control de movimiento de cada banda de forma independiente y a su vez de visualizar de forma gráfica una aplicación completa y sincronizada de las mismas.

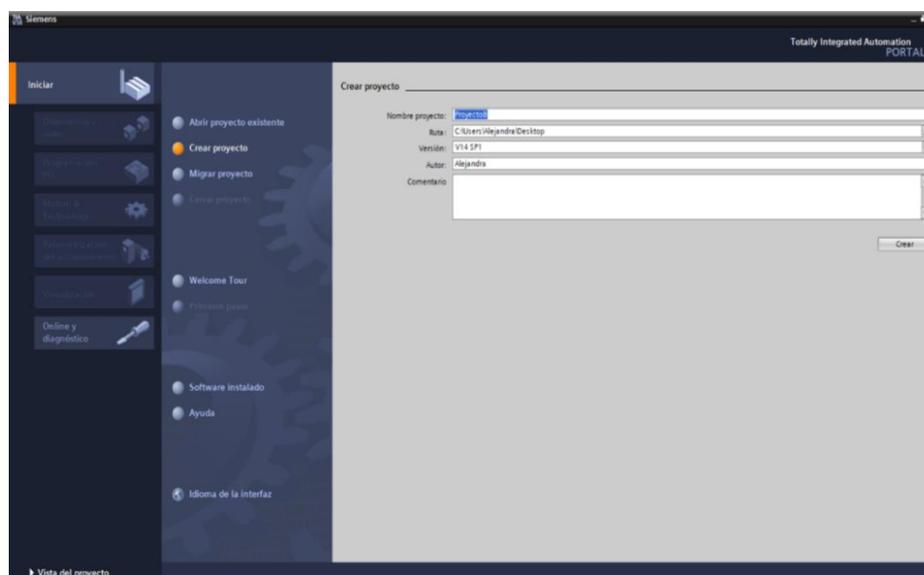
En la Figura 35 se muestra el flujo de la programación desarrollada para el control.



**Figura 35.** Flujo de la programación de la etapa de control

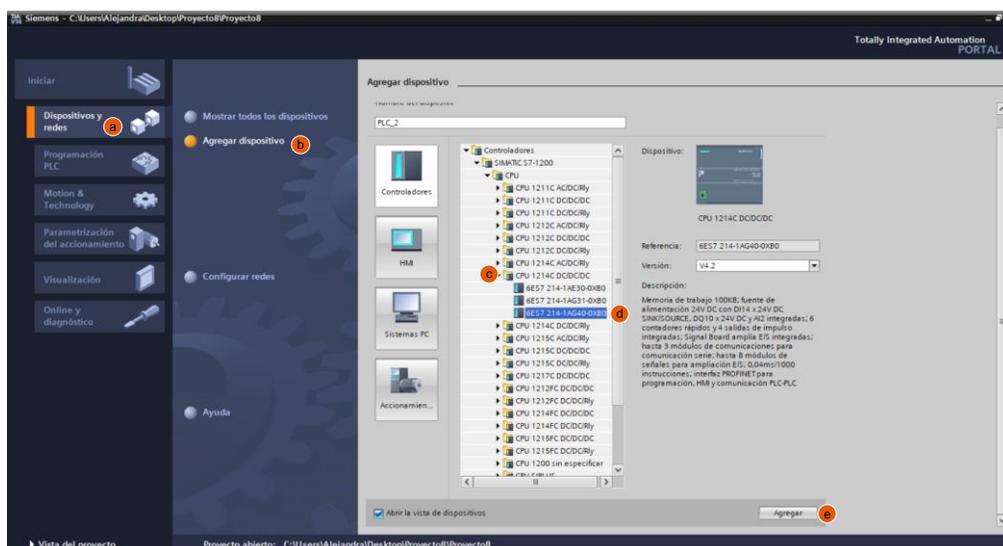
A continuación, se describe de forma detallada cada bloque de la programación. Se inicia creando un nuevo proyecto en el software TIA Portal, como se muestra a continuación:

1. Crear un nuevo proyecto y se le asigna un nombre (Figura 36).



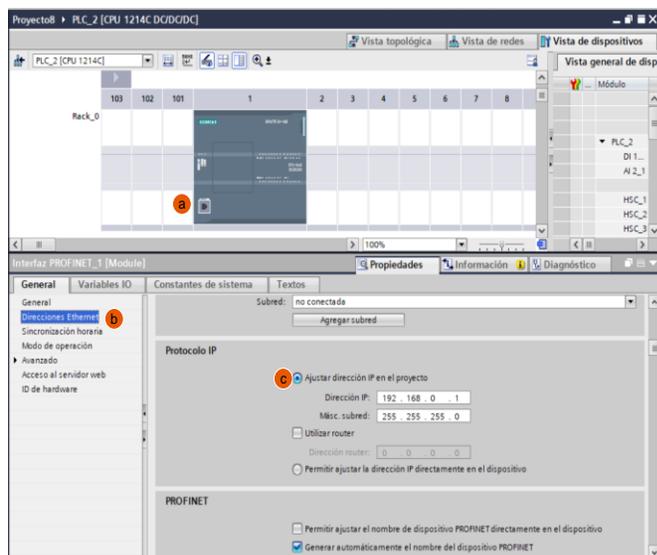
**Figura 36.** Creación de un nuevo proyecto

2. Se abre una nueva ventana donde se agrega un nuevo dispositivo al proyecto (Figura 37), se configura:
  - a) dispositivos y redes,
  - b) agregar dispositivo,
  - c) seleccionar la CPU S7-1200 1214C DC/DC/DC,
  - d) donde se despliega una lista para escoger la referencia específica de la CPU requerida,
  - e) se pulsa el botón agregar, lo que genera de forma automática la vista del proyecto.



**Figura 37.** Agregar un nuevo dispositivo

3. Una vez abierta la vista del proyecto (Figura 38) nos permite realizar la configuración de comunicación del dispositivo agregado. En la representación del PLC:
  - a) se selecciona la interfaz “Profinet”, en la ventana de propiedades,
  - b) seleccione la entrada de configuración “Direcciones Ethernet”, en la sección de “Protocolo IP”,
  - c) se introduce la dirección IP.

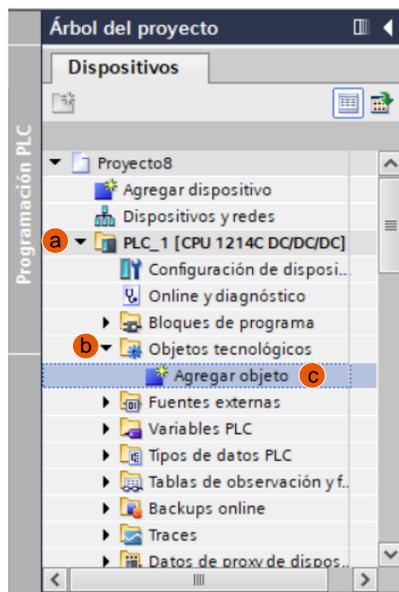


**Figura 38.** Configuración de la dirección IP del PLC

Se guardan los cambios realizados en el proyecto, para iniciar con la configuración de los objetos tecnológicos y la programación de los diferentes bloques del programa.

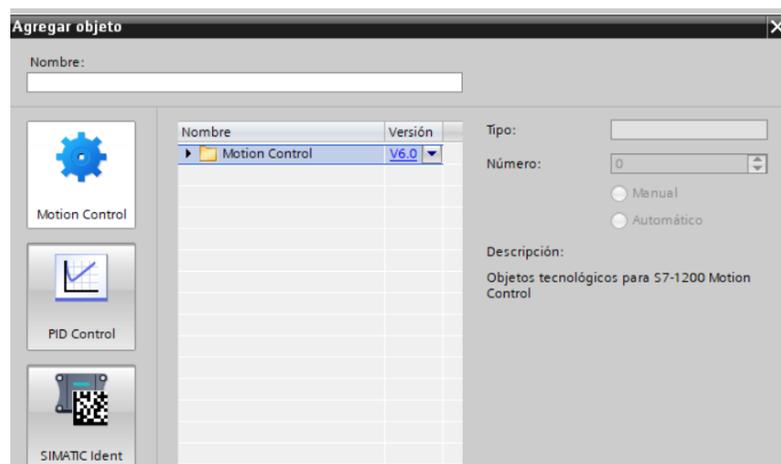
### 3.2.1 Configuración del objeto tecnológico eje de posicionamiento

1. Para agregar un objeto tecnológico (Figura 39) se debe:
  - a) abrir la carpeta “CPU”
  - b) seleccionar “Objetos tecnológicos” del “Árbol del proyecto”,
  - c) dar un doble clic en “Agregar objeto”.



**Figura 39.** Agregar un objeto tecnológico

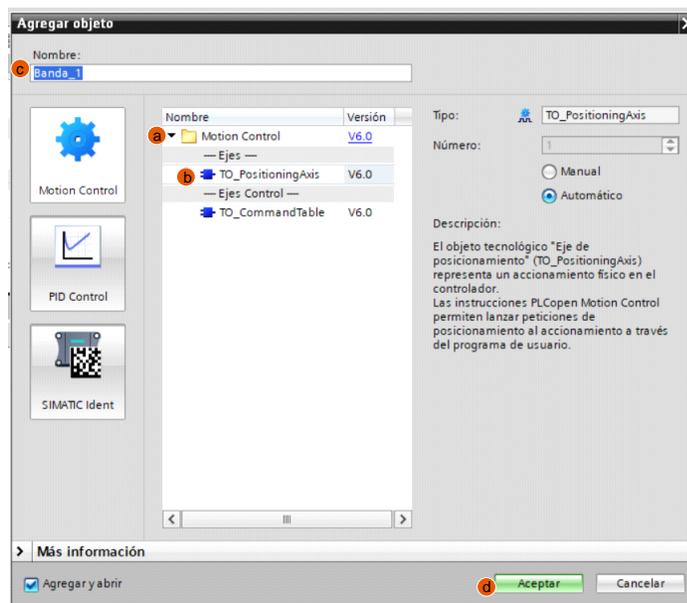
2. Se abre el cuadro de dialogo “Agregar objeto” (Figura 40), aquí se debe seleccionar la tecnología “Motion Control”.



**Figura 40.** Selección de la tecnología de Control de movimiento

3. A continuación, se muestra la configuración del objeto tecnológico Eje de posicionamiento para la Banda 1.
  - a) Abrir la carpeta “Motion Control”,
  - b) seleccionar el objeto “TO\_PositioningAxis”.

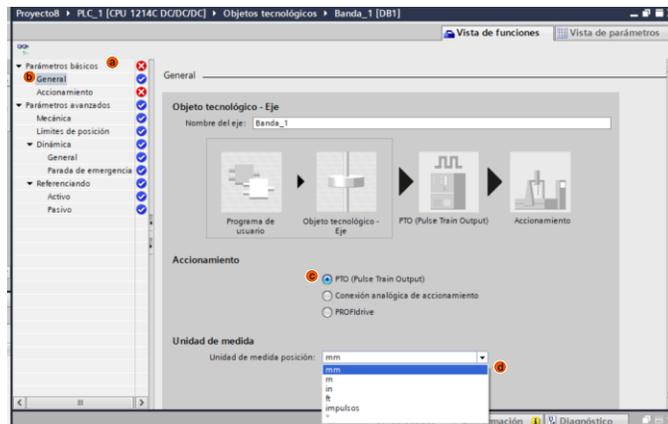
- c) en el campo de entrada “Nombre:” se agrega el nombre del eje,
- d) clic en el botón “Aceptar” para confirmen los cambios realizados, como se muestra en la Figura 41.



**Figura 41.** Agregar el objeto tecnológico Eje de posicionamiento para la Banda

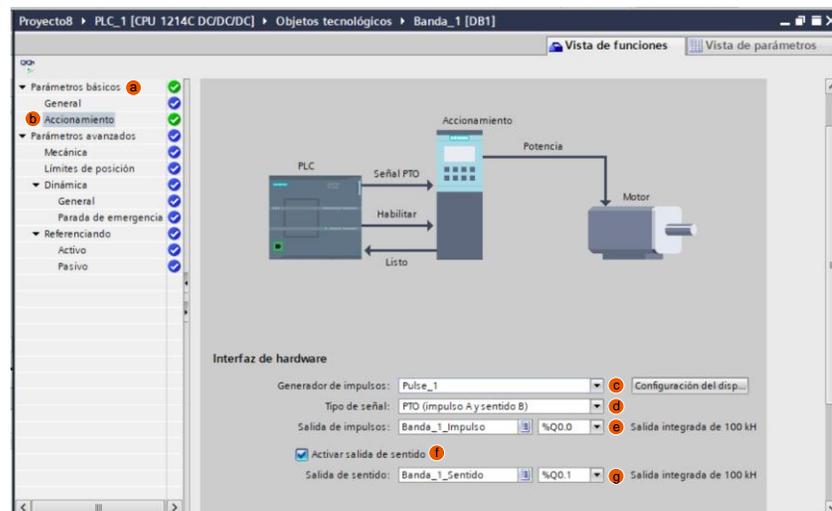
1

- 4. En la ventana de configuración del objeto tecnológico eje de posicionamiento “Banda\_1” (Figura 42), donde:
  - a) en la categoría de “Parámetros básicos”,
  - b) en la opción “General”, configurar el tipo de accionamiento,
  - c) para este caso es “PTO (Pulse Train Output)”,
  - d) en la lista desplegable seleccionar la unidad de medida que se va a manejar.



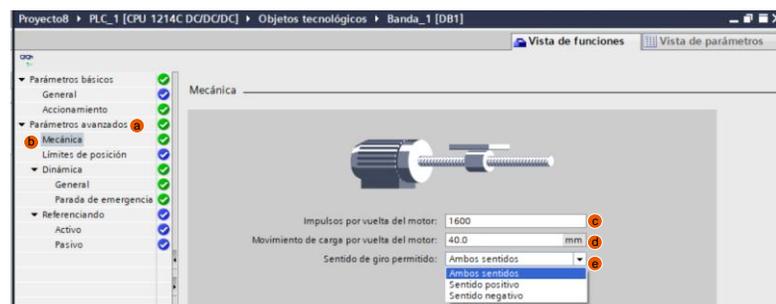
**Figura 42.** Configuración de la opción “General” del objeto tecnológico para la Banda 1

5. En la ventana de configuración del objeto tecnológico “Banda\_1” (Figura 43), se debe:
  - a) en la categoría de “Parámetros básicos”,
  - b) en la opción “Accionamiento”,
  - c) seleccionar en la lista desplegable el PTO, “Pulse\_1”, para el mando del motor paso a paso.
  - d) seleccionar el tipo de señal, para este caso “PTO (impulso A y sentido B)”.
  - e) en el campo “Salida de impulso” seleccionar la salida de impulso para movimientos en sentido positivo a través de una dirección simbólica o absoluta.
  - f) “Activar la salida de sentido” del generador de impulsos.
  - g) en el campo “Salida de sentido” seleccionar la salida para el sentido a través de una dirección simbólica o absoluta.



**Figura 43.** Configuración de la opción “Accionamiento” del objeto tecnológico para la Banda 1

6. En la ventana de configuración del objeto tecnológico “Banda\_1” (Figura 44), se debe:
  - a) en la categoría de “Parámetros avanzados”,
  - b) en la opción “Mecánica”,
  - c) configurar el número de impulsos que necesita el motor para dar una vuelta (este número depende del motor y de la configuración de su driver),
  - d) la distancia que debe recorrer la mecánica por cada revolución del motor
  - e) en la lista desplegable del campo “Sentido de giro permitido” seleccionar “Ambos sentidos”.

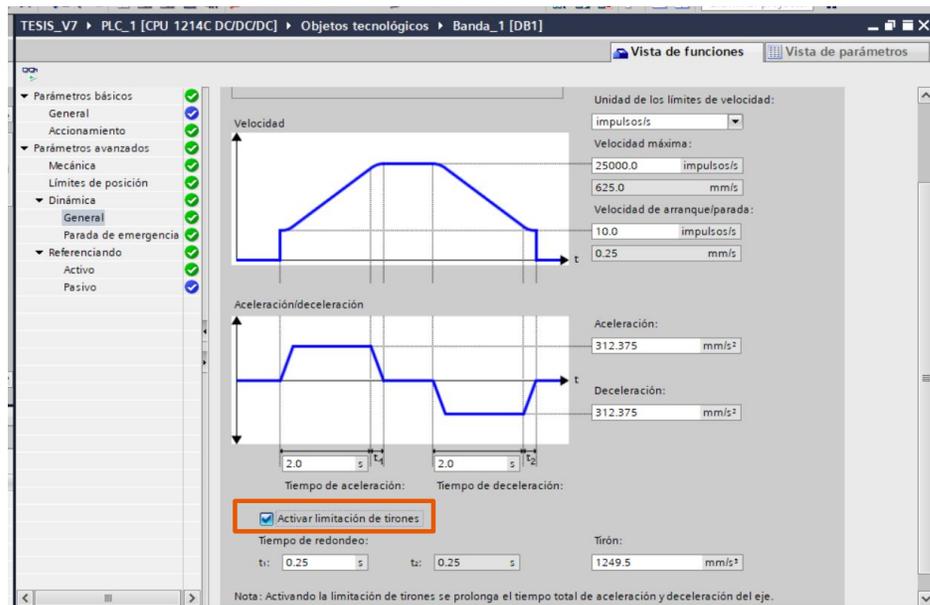


**Figura 44.** Configuración de la opción “Mecánica” de la Banda 1

El número de impulsos por vuelta del motor ( $PPR_{controlador}$ ) depende de los datos de fabrica del driver, en donde se configura por medio de DIP switch el número de micro pasos ( $MicroStep$ ) que dará el motor mediante el cálculo que se muestra en la siguiente formula.

$$PPR_{controlador} = (MicroStep)(PPR_{motor}) = 8(200) = 1600 \quad (1)$$

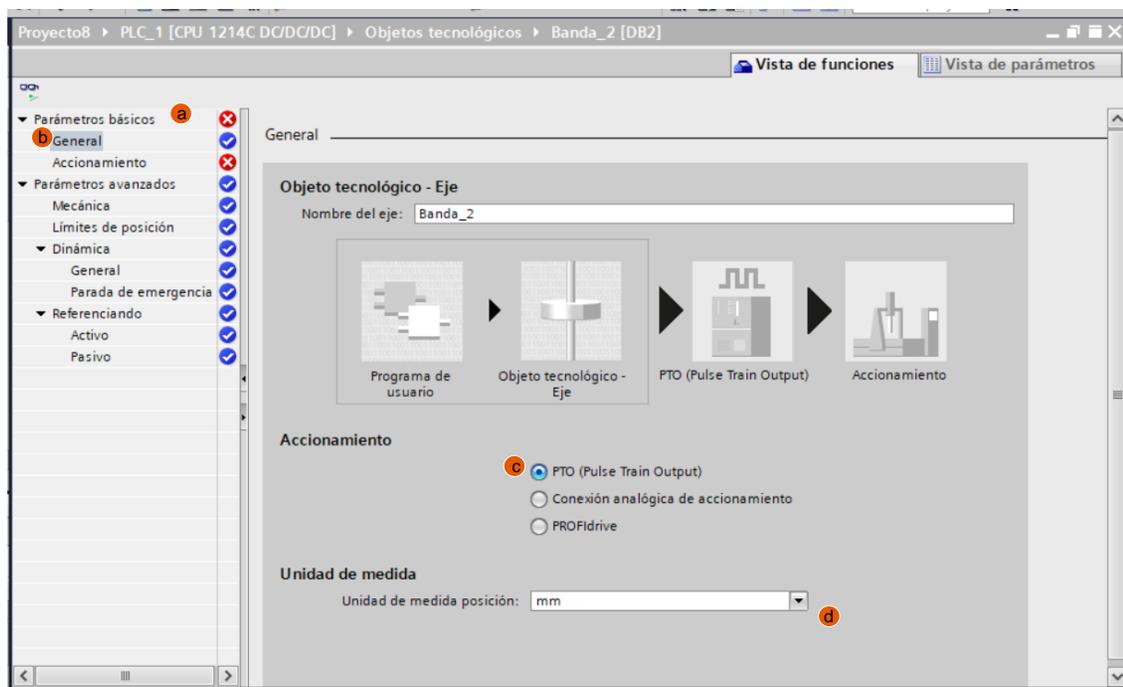
7. Una vez configurados los “Parámetros básicos” y la “Mecánica” en los en los “Parámetros avanzados”, en la “Dinámica” se generan automáticamente los valores de “Velocidad máxima”, “Velocidad de arranque/parada”, “Aceleración” y “Desaceleración”, sin embargo, estos están sujetos a cambios según las necesidades del usuario. En la opción “General” dentro de la “Dinámica”, se activa la opción de limitación de tirones para que la aceleración y desaceleración del eje no cambie de forma brusca si no que se sea un cambio suave en función del tirón (Figura 45).



**Figura 45.** Activación de la limitación de tirones



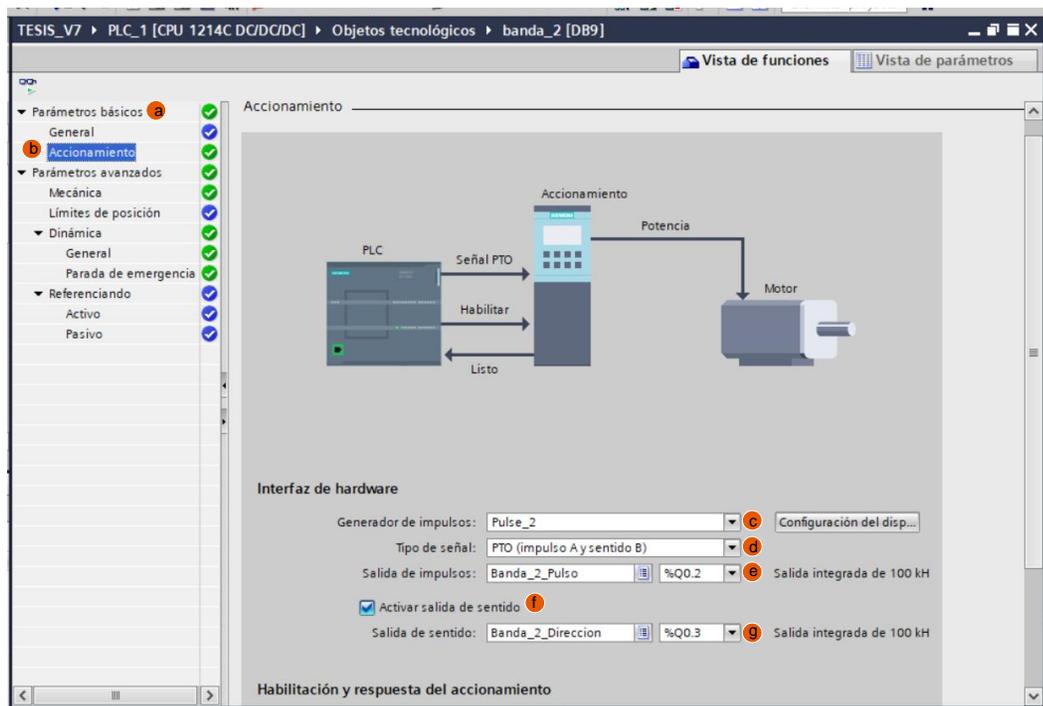
9. En la ventana de configuración del objeto tecnológico “Banda\_2” (Figura 47), realizar:
  - a) en la categoría de “Parámetros básicos”,
  - b) en la opción “General”,
  - c) configurar el tipo de accionamiento, para este caso es “PTO (Pulse Train Output)”,
  - d) en la lista desplegable seleccionar la unidad de medida que se va a manejar.



**Figura 47.** Configuración de la opción “General” del objeto tecnológico para la Banda 2

10. En la ventana de configuración del objeto tecnológico “Banda\_2” (Figura 48), realizar:
  - a) en la categoría de “Parámetros básicos”,
  - b) en la opción “Accionamiento”,
  - c) seleccionar en la lista desplegable el PTO, “Pulse\_2”, para el mando del motor paso a paso.
  - d) seleccionar el tipo de señal, para este caso “PTO (impulso A y sentido B)”.

- e) en el campo “Salida de impulso” seleccionar la salida de impulso para movimientos en sentido positivo a través de una dirección simbólica o absoluta.
- f) “Activar la salida de sentido” del generador de impulsos.
- g) En el campo “Salida de sentido” seleccionar la salida para el sentido a través de una dirección simbólica o absoluta.

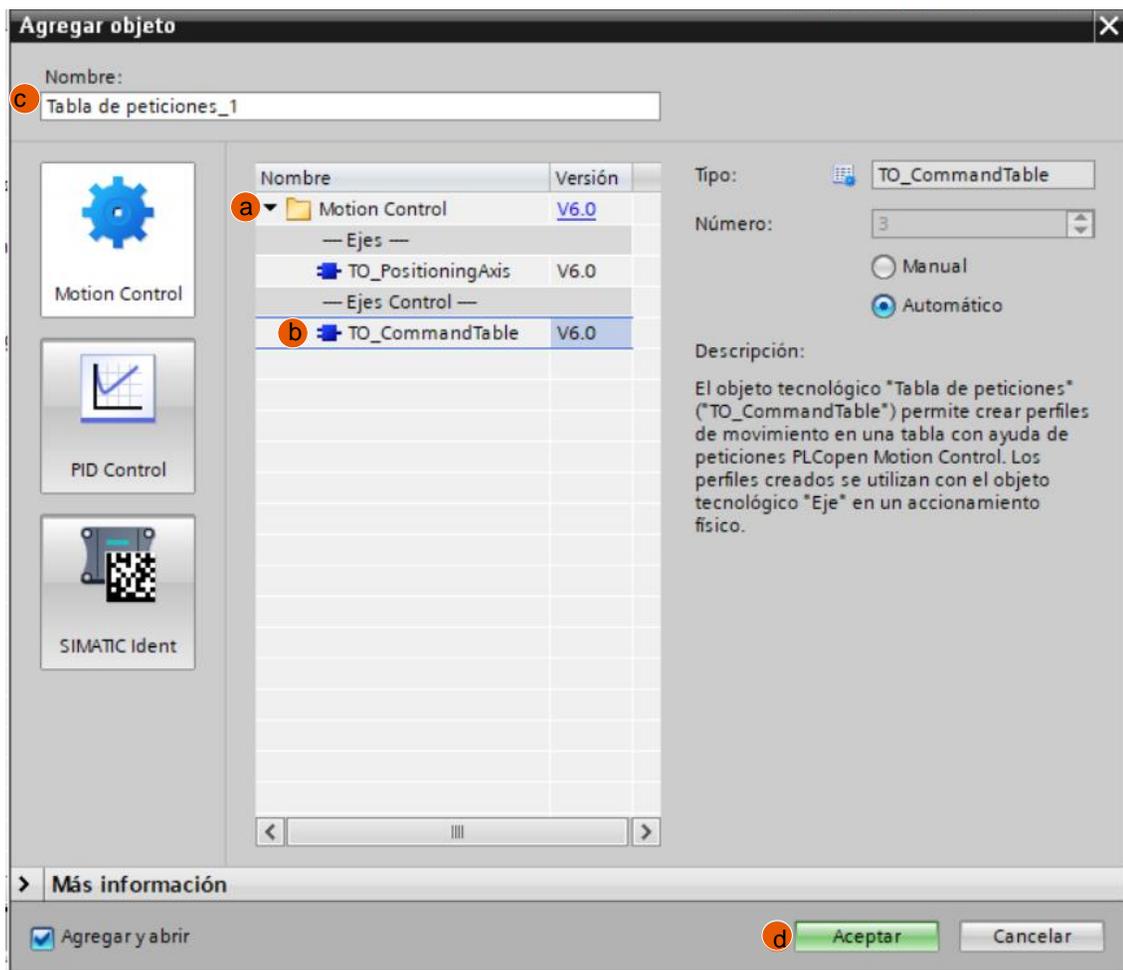


**Figura 48.** Configuración de la opción “Accionamiento” del objeto tecnológico para la Banda 2

### 3.2.2 Configuración del objeto tecnológico tabla de peticiones

1. Para agregar un objeto tecnológico (Figura 39) se debe:
  - a) abrir la carpeta “CPU”
  - b) seleccionar “Objetos tecnológicos” del “Árbol del proyecto”,
  - c) dar un doble clic en “Agregar objeto”.
2. Se abre el cuadro de dialogo “Agregar objeto” (Figura 40), aquí se debe seleccionar la tecnología “Motion Control”.

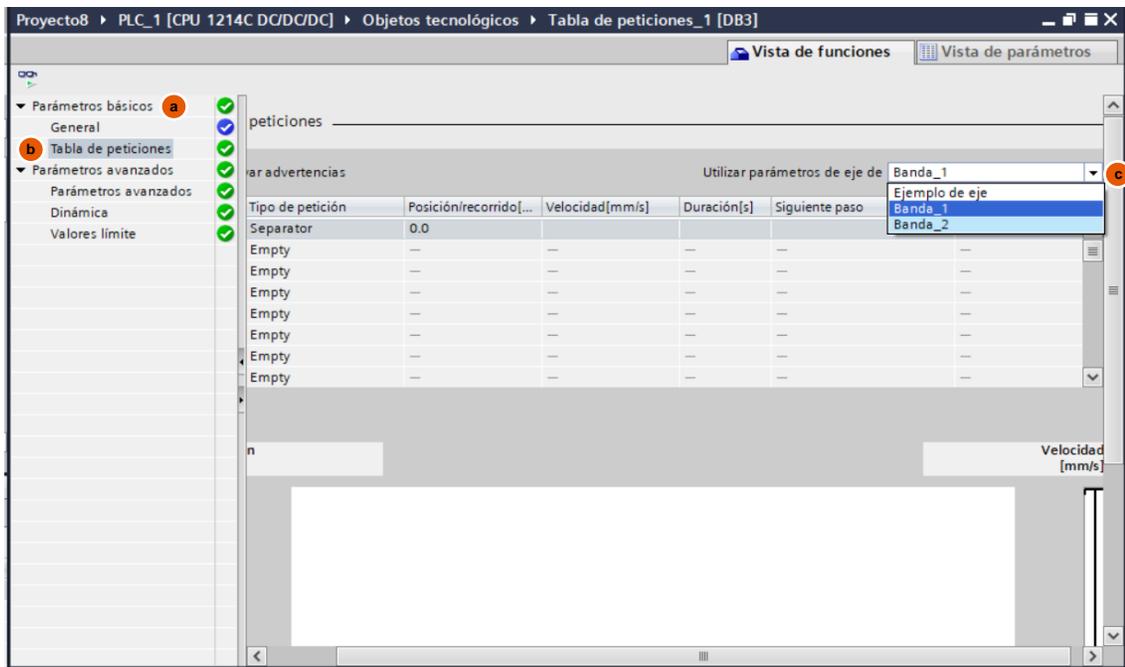
3. A continuación, se muestra la configuración del objeto tecnológico Tabla de peticiones para la Banda 1, donde
  - a) Se abre la carpeta “Motion Control”,
  - b) seleccionar el objeto “TO\_CommandTable”.
  - c) En el campo de entrada “Nombre:” se agrega un nombre,
  - d) clic en el botón “Aceptar” se confirman los cambios realizados, como se muestra en la Figura 49.



**Figura 49.** Agregar el objeto tecnológico “Tabla de peticiones” para la Banda 1

4. En la ventana de configuración del objeto tecnológico “Tabla de peticiones\_1” (Figura 50), se debe:
  - a) en la categoría de “Parámetros básicos”,

- b) en la opción “Tabla de peticiones”, se configura la secuencia de movimientos a realizarse, estos parámetros son también configurables mientras el programa de usuario se encuentra en ejecución.
- c) Seleccionar de la lista desplegable el eje en el cual se ejecutará la secuencia de movimientos.

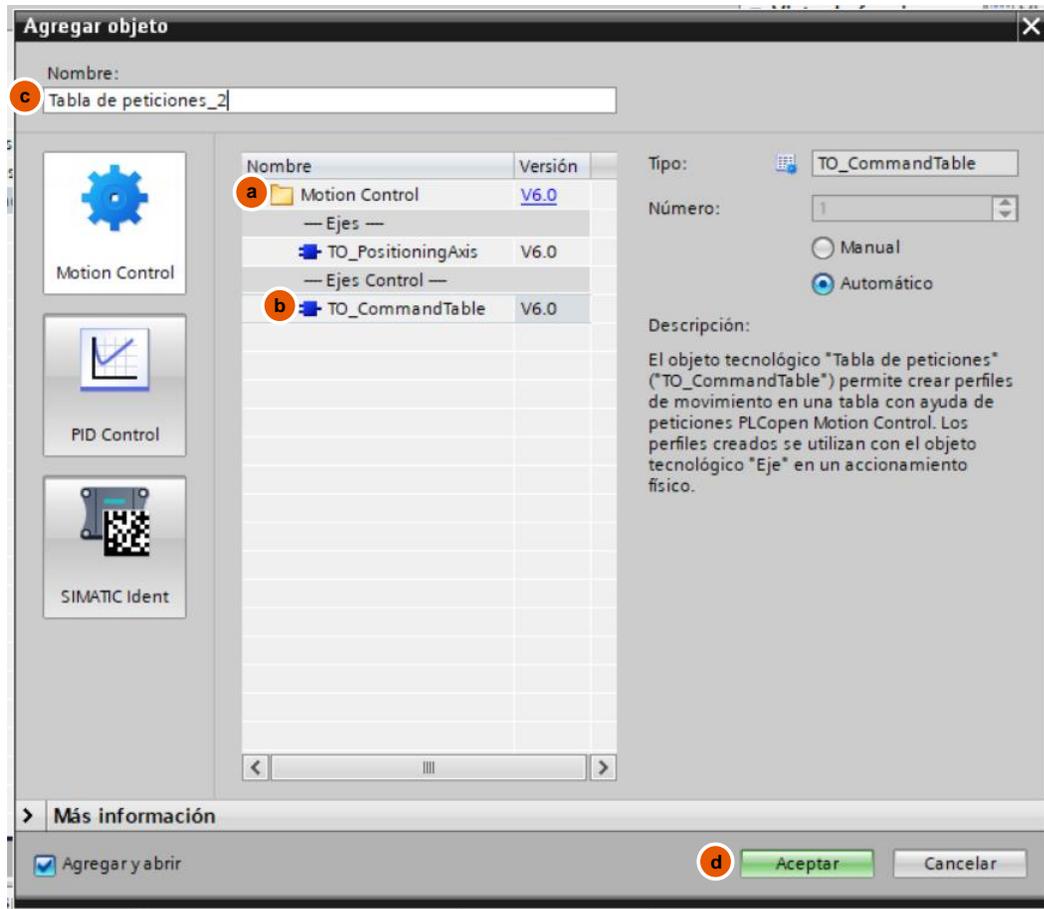


**Figura 50.** Configuración de la opción “Tabla de peticiones” para la Banda 1

Se guarda los cambios realizados en el proyecto. Se procede a repetir los pasos 1 y 2 para agregar un segundo objeto tecnológico correspondiente a la Banda 2, la diferencia entre los dos objetos tecnológicos se muestra en los siguientes ítems.

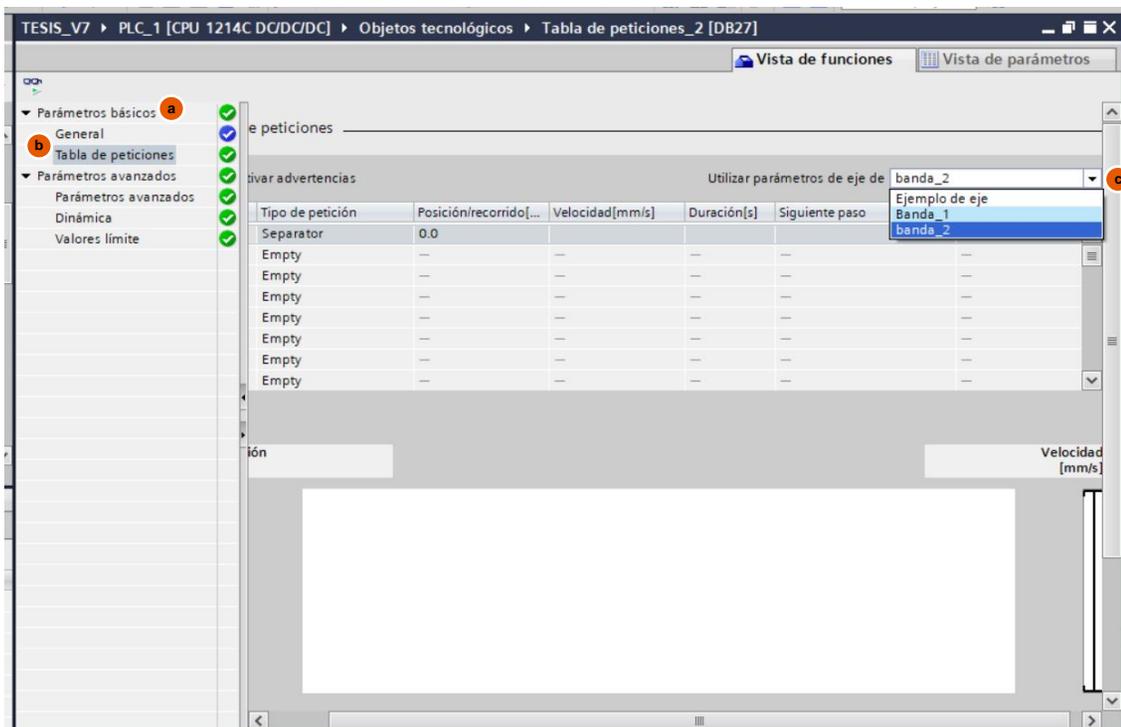
5. La configuración del objeto tecnológico “Tabla de peticiones” para la Banda 2, se debe:
  - a) abrir la carpeta “Motion Control”,
  - b) seleccionar el objeto “TO\_CommandTable”.
  - c) En el campo de entrada “Nombre:” se agrega un nombre,

- d) clic en el botón “Aceptar” se confirman los cambios realizados, como se muestra en la Figura 51.



**Figura 51.** Agregar el objeto tecnológico “Tabla de peticiones” para la Banda 2

6. En la ventana de configuración del objeto tecnológico “Tabla de peticiones\_2” (Figura 52), se debe:
  - a) en la categoría de “Parámetros básicos”, en la opción “Tabla de peticiones”, se configura la secuencia de movimientos a realizarse, estos parámetros son también configurables mientras el programa de usuario se encuentra en ejecución.
  - b) Seleccionar de la lista desplegable el eje en el cual se ejecutará la secuencia de movimientos.



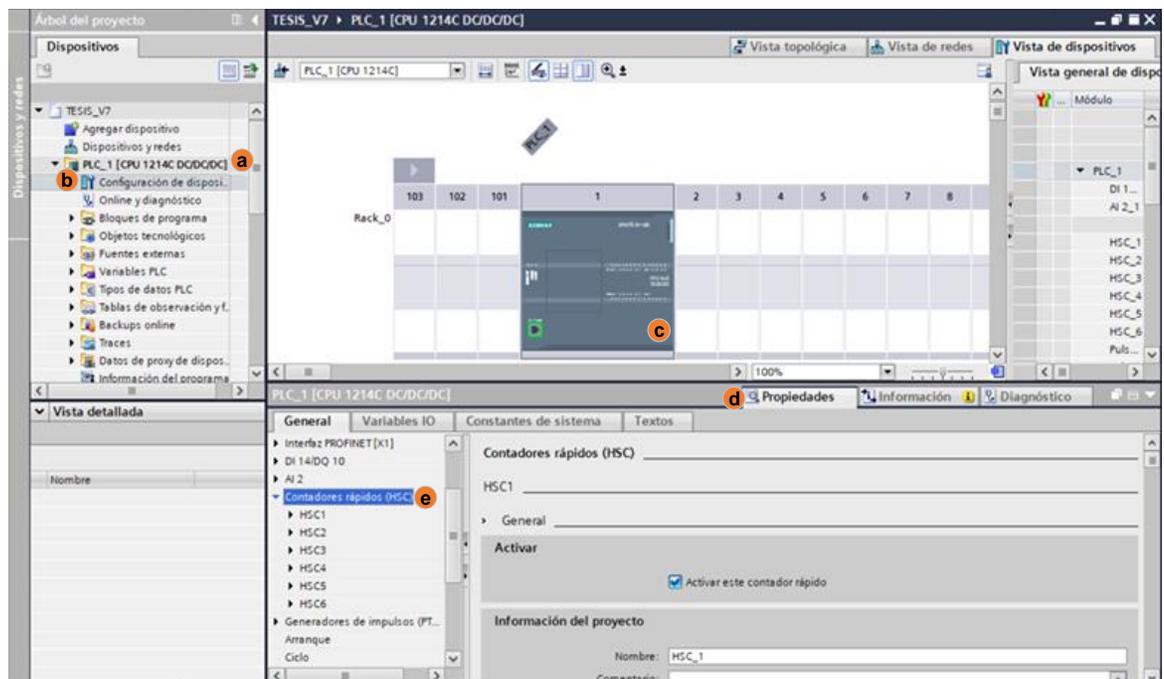
**Figura 52.** Configuración de la opción “Tabla de peticiones” para la Banda 2

Terminadas las configuraciones de los objetos tecnológicos para los dos ejes, se guarda el proyecto y se compila para verificar que no existen errores.

- **Habilitación de los contadores rápidos (HSC)**

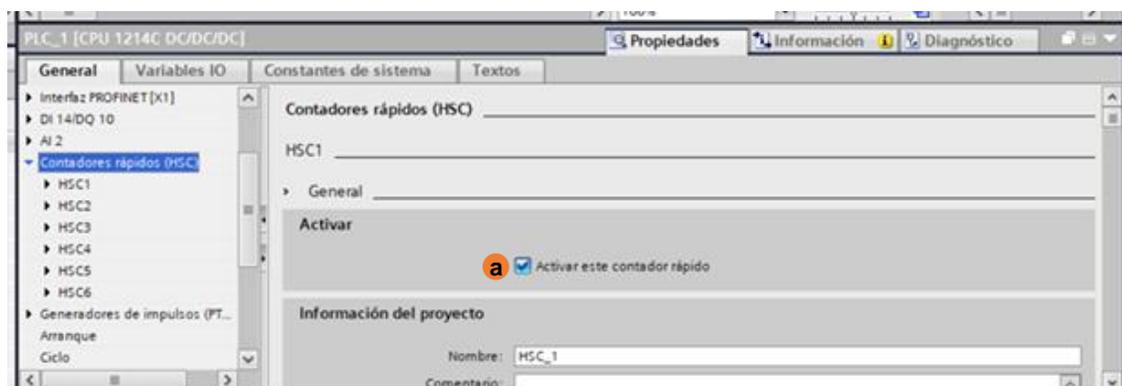
Las señales de PTO en control de movimiento se manejan a través de contadores rápidos, la CPU S7-1200 cuenta con 6 contadores rápidos. Para su habilitación se debe:

1. Seleccionar el contador rápido:
  - a) Abrir la carpeta “PLC\_1 (1214c DC/DC/DC)”,
  - b) doble clic en “Configuración de dispositivos”,
  - c) seleccionar el PLC.
  - d) En la pestaña de “Propiedades” en la parte inferior
  - e) desplegar la lista de “Contadores rápidos (HSC)” (Figura 53).



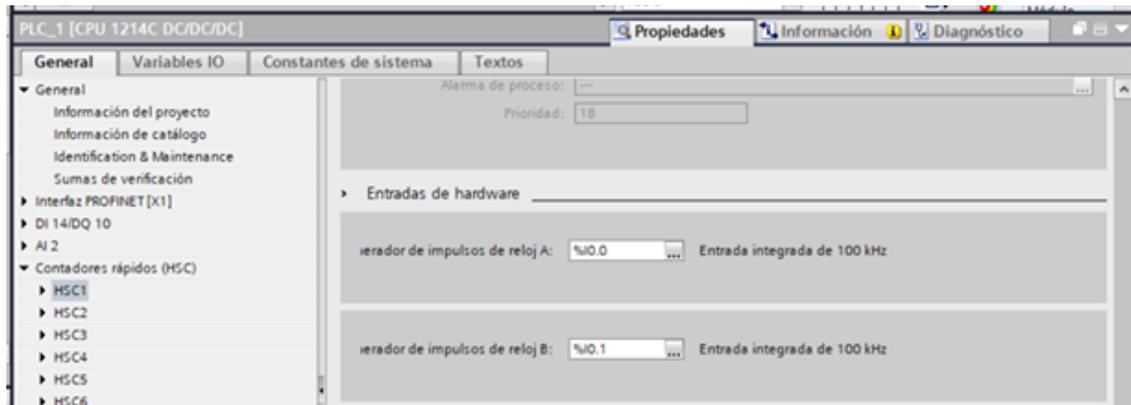
**Figura 53.** Selección del contador rápido

2. Seleccionar el o los contadores a utilizarse:
  - a) habilitar el contador como se muestra en la Figura 54. Se encuentran habilitados los contadores HSC1 y HSC2.



**Figura 54.** Activar el contador rápido

- Una vez habilitado el contador se asignan las “Entradas de hardware” como se observa en la Figura 55, para el contador “HSC1” son las entradas “%I0.0” e “%I0.1” y para el contador “HSC2” las entradas son “%I0.3” e “%I0.4”.



**Figura 55.** Entradas de hardware para el HSC

- Finalmente, como se muestra en la Figura 56 la dirección de entrada en el contador “HSC1” es desde la 1000 a la 1003 y para el contador “HSC2” desde la 1004 a la 1007.

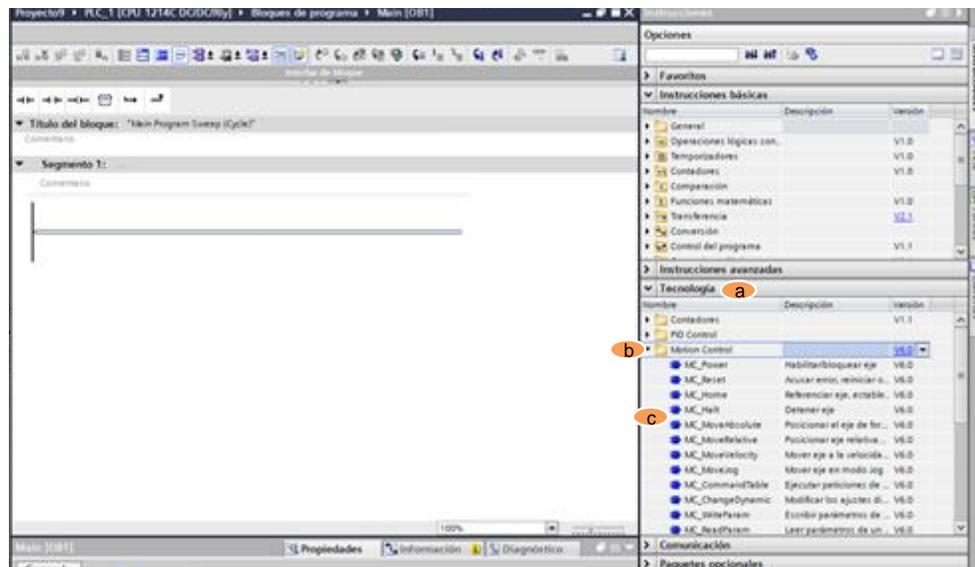


**Figura 56.** Dirección de entrada y salida del HSC

### 3.2.3 Programación del bloque principal

Terminada la correcta configuración de los objetos tecnológicos para cada eje, se procede con la elaboración del programa de usuario, como se describe a continuación.

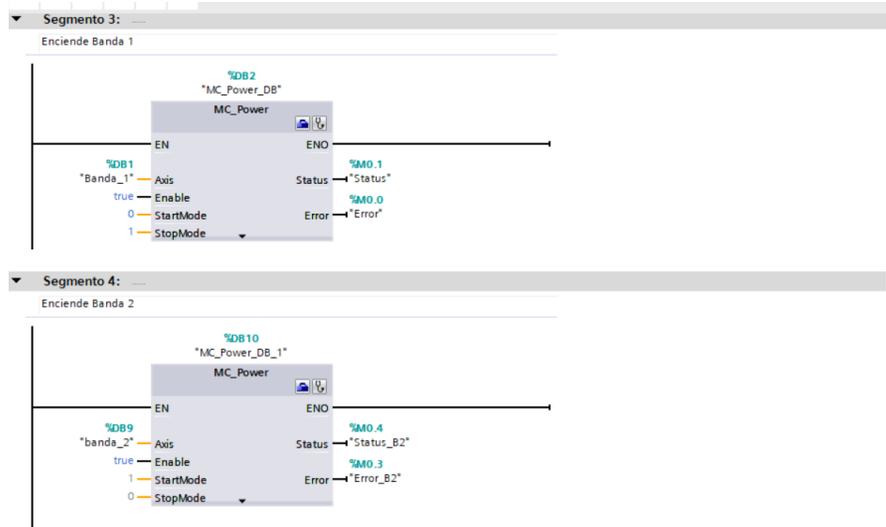
1. En el bloque de organización “Main [OB1]” se inicia el desarrollo del programa.
  - a) Abrir en la categoría “Tecnología”,
  - b) la carpeta “Motion Control”,
  - c) arrastrar las instrucciones que sean necesarias al segmento correspondiente del bloque (Figura 57).



**Figura 57.** Selección de las instrucciones de control de movimiento

- d) En los segmentos 3 y 4 (Figura 58) se encuentran las instrucciones “MC\_Power” para la habilitación de los ejes seleccionándolos en el

parámetro “Axis”, estos segmentos se ejecutan de forma inmediata con el encendido del PLC.



**Figura 58.** Encendido y habilitación de los ejes.

- e) Un segundo después del encendido del controlador se realiza la referenciación de los ejes en los segmentos 5 y 6 (Figura 59), por medio de la instrucción “MC\_Home” la cual se ejecuta con la señal enviada por el temporizador.



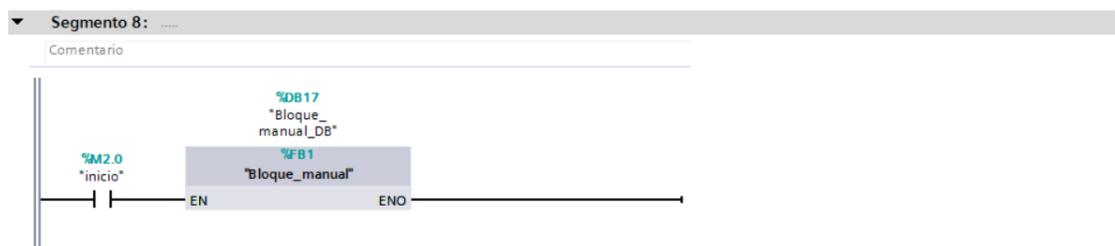
**Figura 59.** Referenciación de los ejes (Banda 1 y Banda 2)

- f) Para la parada de los dos ejes en caso de producirse alguna emergencia se ejecuta a través de la instrucción “MC\_Halt” en el segmento 7 (Figura 60), la señal de ejecución es enviada a la instrucción a través de la entrada “%I0.7” que corresponde al botón de paro de emergencia del sistema.



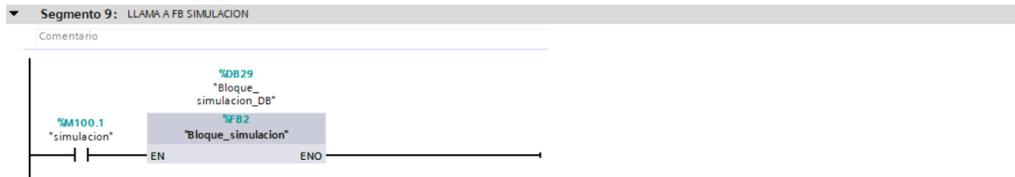
**Figura 60.** Segmento para frenado e interrupción de las Bandas 1 y Banda 2

- g) En el segmento 8 (Figura 61) se llama al bloque de función “Bloque\_manual” el cual realiza el control de todos los movimientos posibles para cada eje de forma independiente.



**Figura 61.** Llamada de ejecución de la función Bloque Manual

- h) En el segmento 9 (Figura 62) se realiza la llamada para que se ejecute el bloque de función “Bloque\_simulación”, en el que se desarrolla la simulación de un proceso de envasado y empaquetado de botellas.



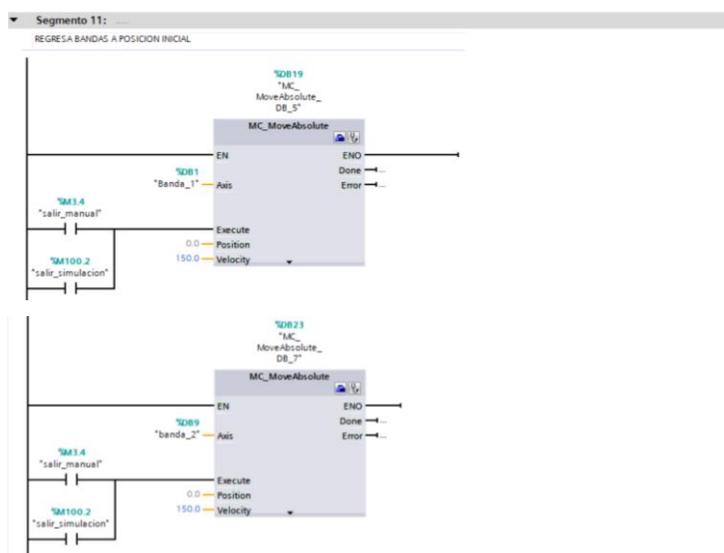
**Figura 62.** Llamada al bloque de función “Bloque\_simulacion”

- i) El bloque de función “Temp\_simulacion” es llamado a ejecutarse en el segmento 10 (Figura 63) el cual posee la programación de los temporizadores utilizados en la simulación del proceso en el HMI.



**Figura 63.** Ejecución al bloque de función "Temp\_simulacion"

- j) El segmento 11 (Figura 64) retorna a la posición de referencia los dos ejes a través de un movimiento absoluto para cada banda con una velocidad de 150mm/s, este se ejecuta al salir del control manual o al salir de la simulación del proceso.

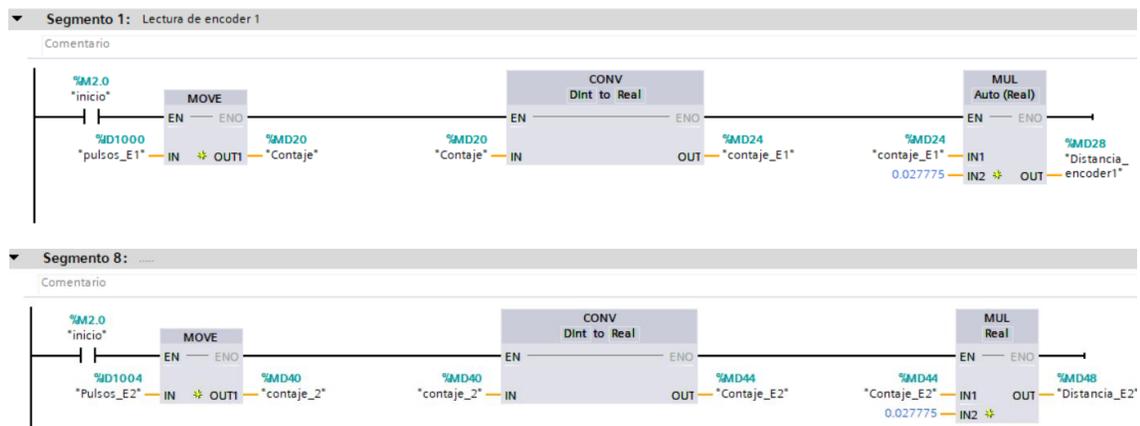


**Figura 64.** Retorno a la posición de referencia los dos ejes

### 3.2.4 Programación para el control manual

Para el manejo de forma manual de cada eje se realiza la programación en un bloque de función llamado “Bloque\_manual [FB1]” en el que se configuran las siguientes instrucciones de control de movimiento.

1. La realimentación del lazo de control se realiza por medio de un encoder para cada banda, en los segmentos 1 y 8 (Figura 65) se obtienen las lecturas de los encoder 1 y 2 en la dirección “%ID1000” y “%ID1004” respectivamente, las cuales se transfieren a marcas de tipo doble entero para su manipulación. A continuación, se realiza la conversión de estos valores de tipo doble entero a real, para proceder a multiplicarlos por una constante para obtener la posición real de las bandas.



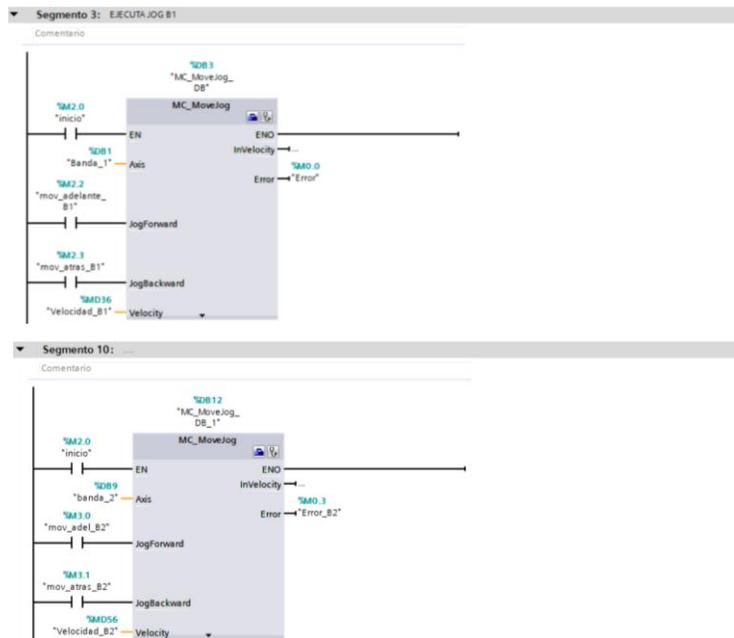
**Figura 65.** Lectura de los encoder 1 y 2

2. En los segmentos 2 y 9 (Figura 66) se configura la instrucción “CTRL\_HSC” la misma que se usa para controlar los contadores rápidos, como asignarle un valor o volver a cero el conteo.



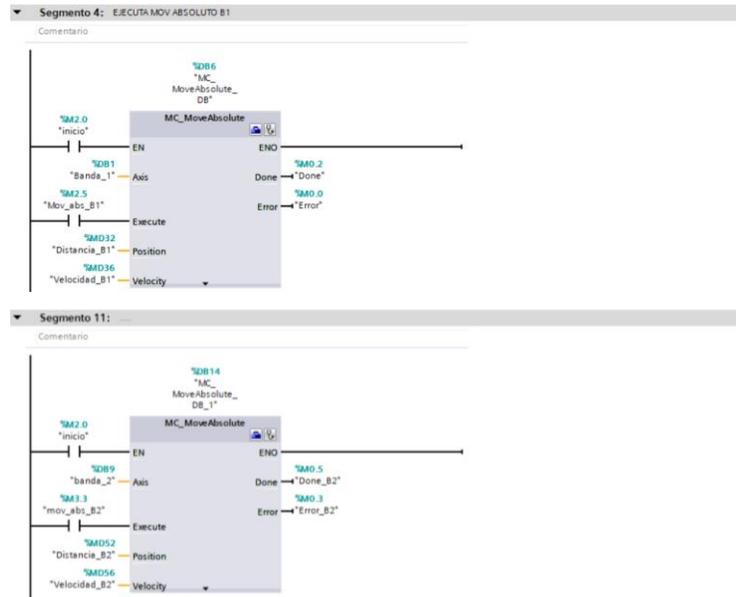
**Figura 66.** Encerar los encoder 1 y 2

3. Los segmentos 3 y 10 (Figura 67) contienen las instrucciones para la realización de los desplazamientos en modo Jog de las bandas 1 y 2, hacia adelante o atrás de forma constante a una velocidad definida desde el HMI.



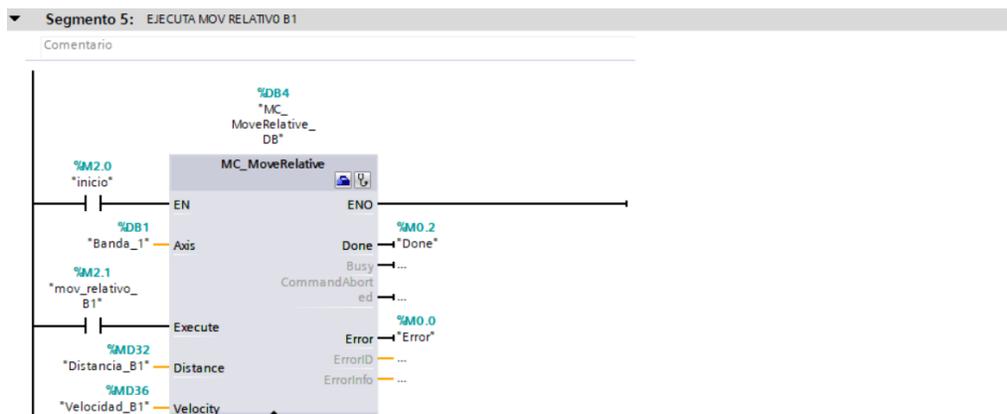
**Figura 67.** Instrucciones de movimiento en modo Jog para las bandas 1 y 2

4. En los segmentos 4 y 11 (Figura 68) se configura la instrucción para realizar movimientos absolutos, los parámetros posición y velocidad requeridas para el desplazamiento se especifican desde el HMI.

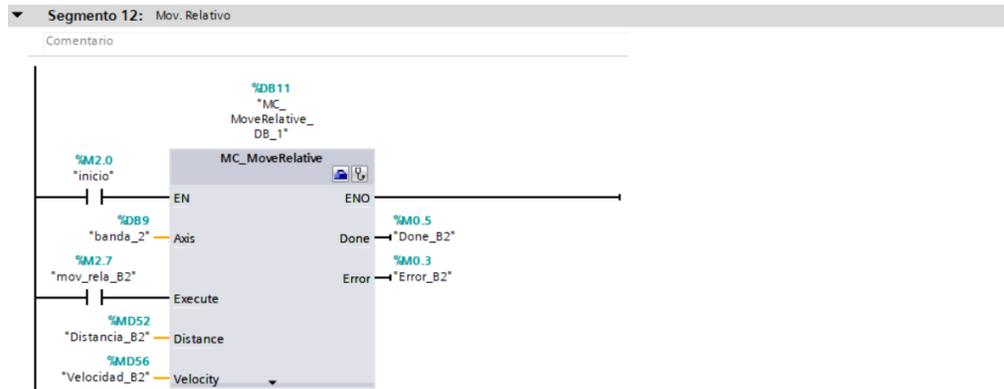


**Figura 68.** Instrucciones de movimiento absoluto para las bandas 1 y 2

5. Para realizar movimientos relativos se utiliza la instrucción "MC\_MoveRelative" los cuales se configuran en el segmento 5 y (Figura 69) para cada banda, los parámetros posición y velocidad requeridas para el desplazamiento se especifican desde el HMI.

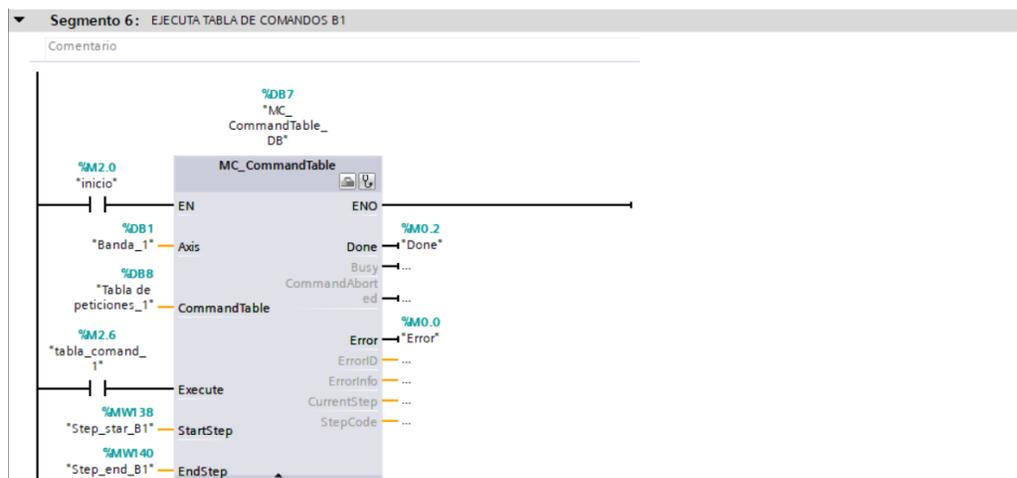


CONTINÚA 

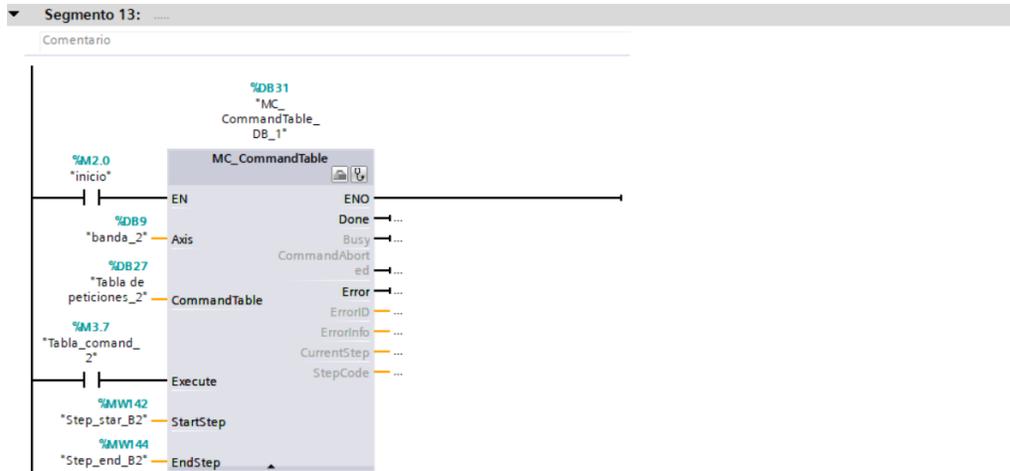


**Figura 69.** Instrucciones de movimiento relativo para las bandas 1 y 2

6. En los segmentos 6 y 13 (Figura 70) se incluye la instrucción “MC\_CommandTable” para ejecutar las peticiones de cada eje como secuencias de movimiento. Los parámetros que se configuran son: “Axis” indica objeto tecnológico del eje, “CommandTable” llama al objeto tecnológico de la tabla de peticiones, los parámetros “StarStep” y “EndStep” indican el paso de inicio y fin de la ejecución de la tabla de peticiones.

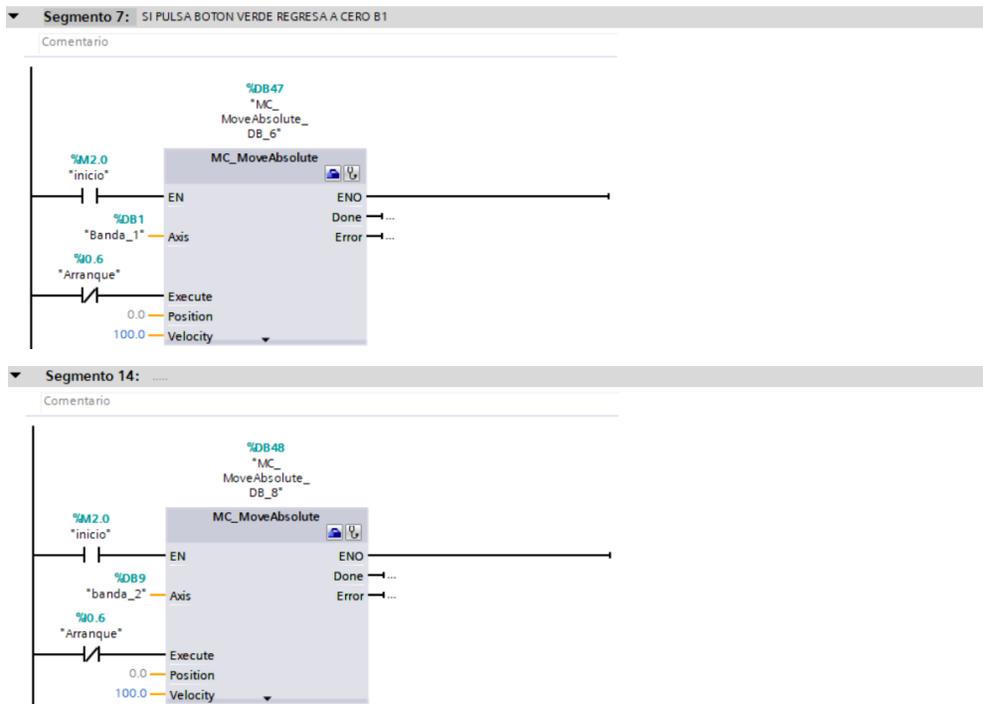


CONTINÚA 



**Figura 70.** Instrucciones de tabla de comandos para las bandas 1 y 2

7. El reseteo de los dos ejes se realiza a través de la instrucción “MC\_MoveAbsolute” en el segmento 7 y 14 (Figura 71), que permite que las bandas regresen a la posición inicial a una velocidad de 100mm/s. La señal de ejecución es enviada a la instrucción a través de la entrada “%I0.6” que corresponde al botón de arranque del sistema.



**Figura 71.** Reseteo de los ejes con el botón de arranque

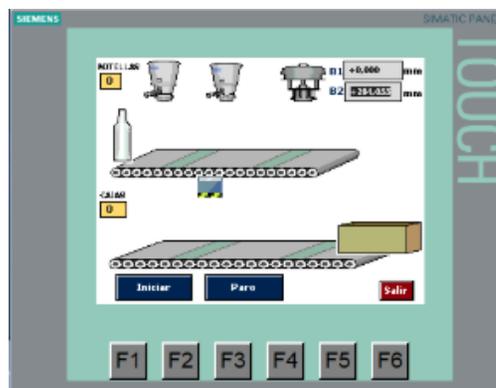
### 3.2.5 Programación del bloque para la simulación de un proceso

El bloque de función “Bloque\_simulacion [FB2]” permite ejecutar y simular un proceso de embotellado y empaquetado de botellas, haciendo uso de tablas de comando, movimientos absolutos y relativos para cada uno de los procesos, y con la correcta sincronización entre las bandas.

- **Descripción del proceso**

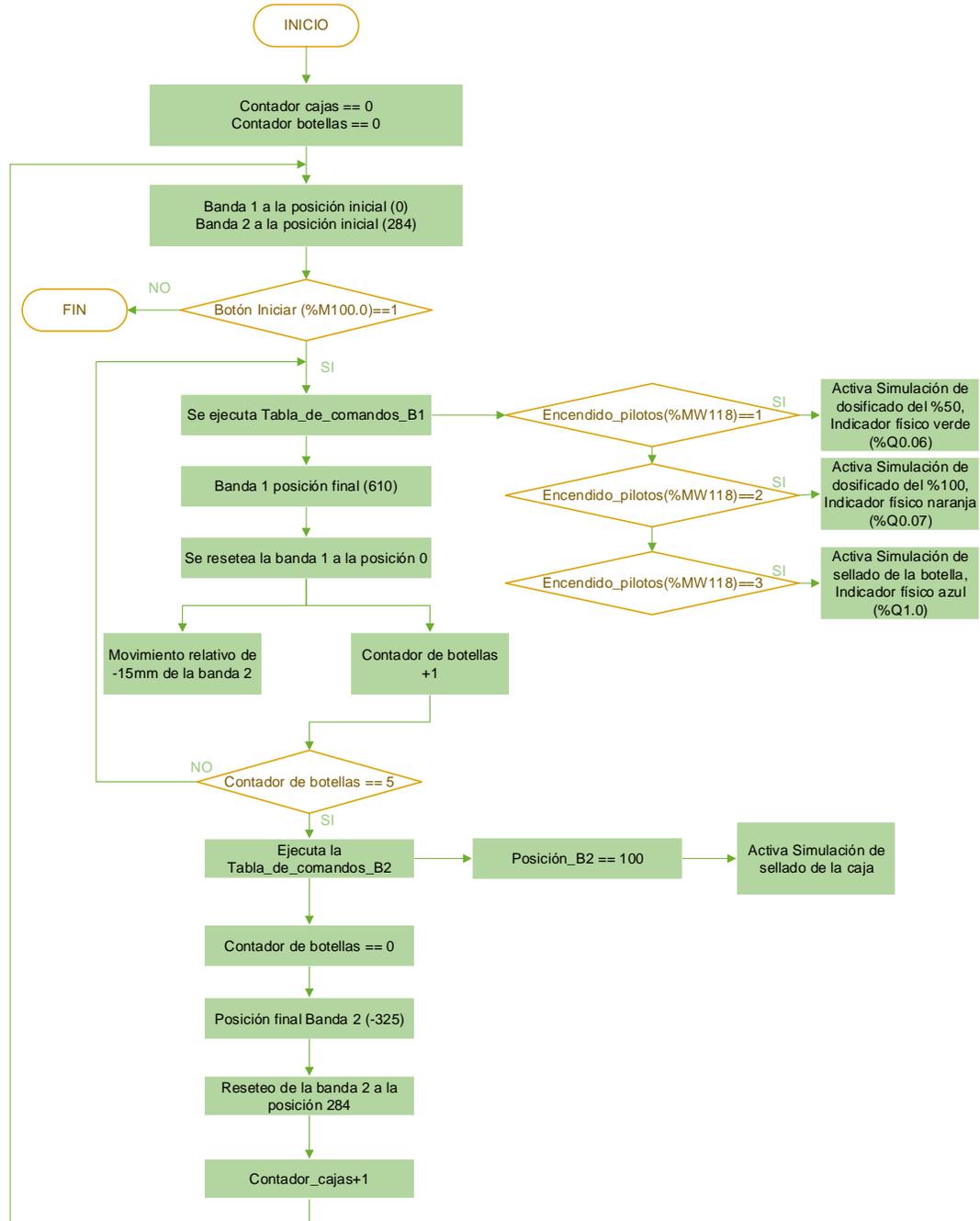
En la primera banda se realiza el llenado y sellado de las botellas a una velocidad constante de 50mm/s. Cada botella se desplaza hacia la primera parada en donde se llena el 50% de su contenido durante 3 segundos, continua su desplazamiento hasta la segunda parada donde se llena al 100% durante 3 segundos más, posteriormente avanza hasta la tercera parada donde la botella es tapada por un accionamiento mecánico simulado y por último se desplaza hasta el final y se transfiere a la segunda banda.

En la segunda banda se realiza el empaquetado de las botellas y etiquetado de las cajas. Una caja vacía se encuentra en el inicio de la banda con una capacidad de 5 botellas. Cuando cada botella es transferida a la segunda banda la caja se desplaza 15mm hacia la izquierda para lograr el llenado correcto de la caja. Una vez que se llena esta se desplaza hasta la posición de etiquetado. Finalmente, avanza hasta el final de la segunda banda y se coloca una nueva caja vacía al inicio de la misma. En la Figura 72 se muestra el proceso descrito.



**Figura 72.** Simulación del proceso de dosificado y empaquetado de botellas

En la (Figura 73) se muestra el diagrama de flujo de la programación del bloque de función "Bloque\_simulacion", el cual se encarga junto con el bloque de función de temporizadores "Temp\_simulacion" de animar el proceso.

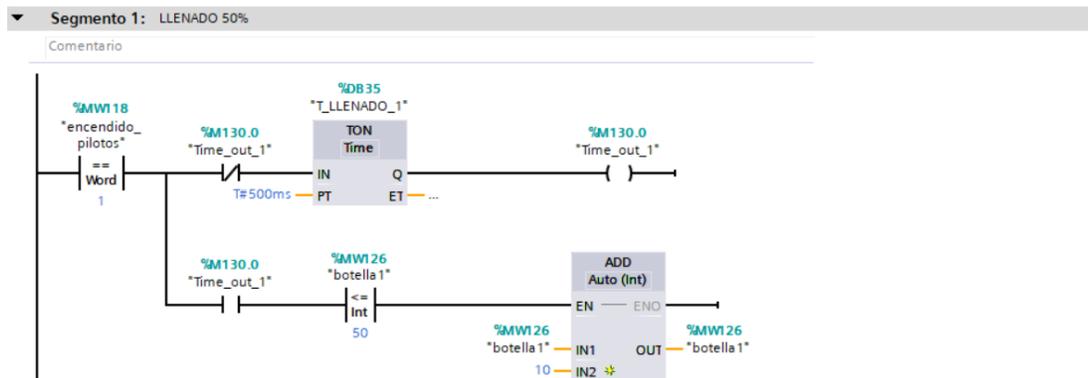


**Figura 73.** Diagrama de flujo del bloque de función "Bloque\_simulacion [FB2]"

### 3.2.6 Programación del bloque de temporizadores

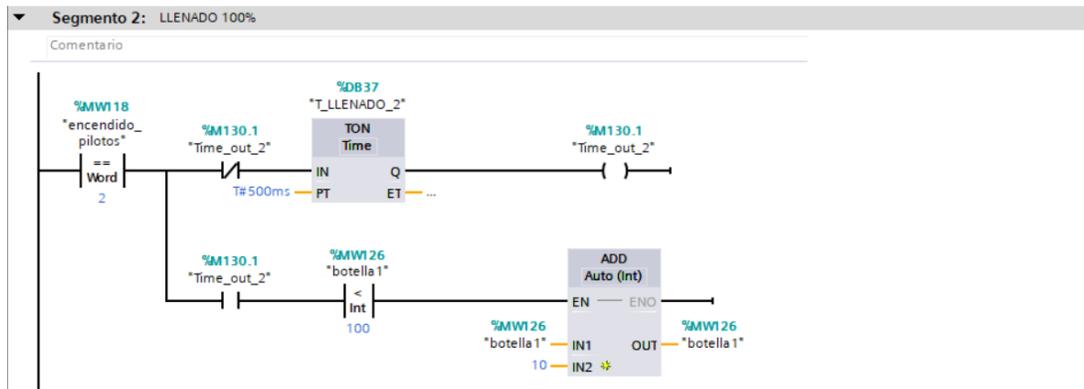
El bloque de función “Temp\_simulacion [FB3]” cuenta con tres segmentos que ayudan a la correcta sincronización en la etapa de llenado y sellado de las botellas en la simulación del proceso.

En el segmento 1 (Figura 74) se activa un temporizador cuando la botella llega a la primera parada (90mm), el cual cada 500ms activa la marca “%M130.0” que permite realizar la comparación del nivel de líquido actual en la botella, si es menor o igual al 50% incrementa el contenido de la misma en un 10%.



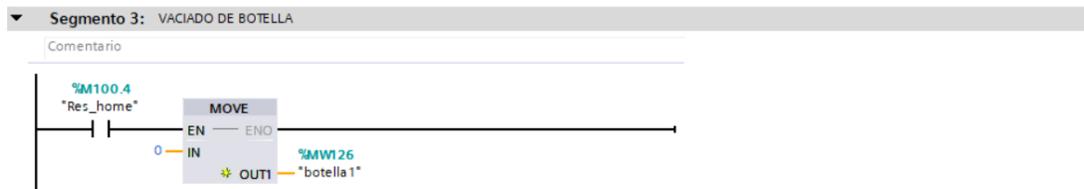
**Figura 74.** Temporizador de llenado hasta el 50% de la botella

El segmento 2 (Figura 75) completa el nivel del líquido en la botella con la lógica similar a la del segmento 1, el temporizador se activa cuando la botella llega a la segunda parada (180mm), cada 500ms activa la marca “%M130.1”, para realizar la comparación entre el nivel actual del líquido en la botella, incrementa el contenido de la misma en un 10% hasta que cumpla con la condición de ser menor al 100% del llenado.



**Figura 75.** Temporizador de llenado hasta el 100% de la botella

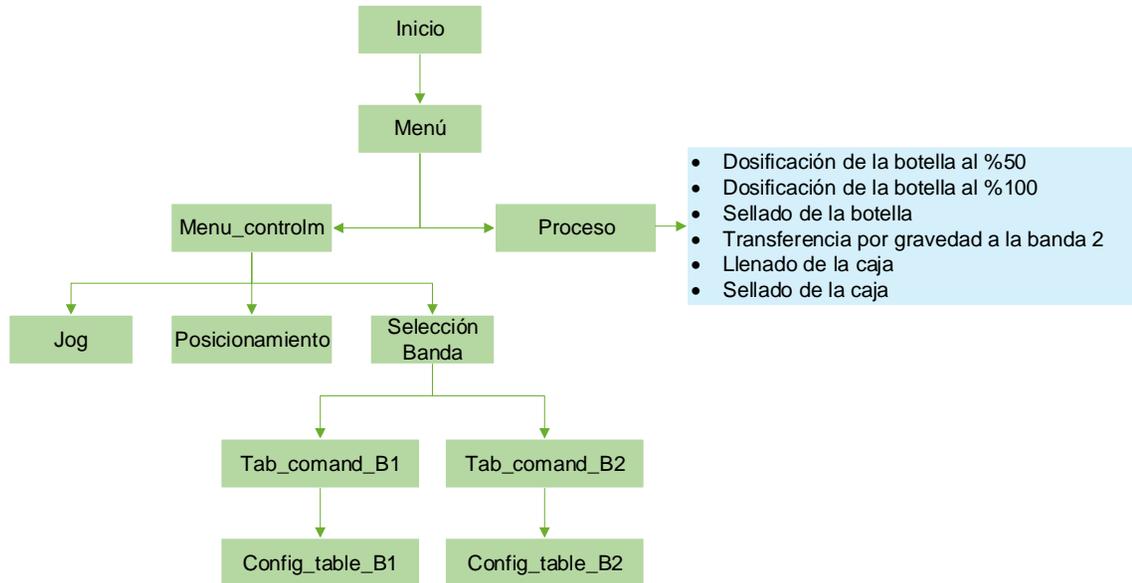
Finalmente, una vez completado el proceso de llenado de la botella y esta es transferida a la segunda banda para el empaquetado, la banda 1 completa una revolución, con lo que en el segmento 3 (Figura 76) se realiza el vaciado de la botella por medio de una instrucción "Move".



**Figura 76.** Instrucción "Move" para el vaciado de la botella

### 3.3 Diseño del HMI

La interfaz de usuario permite la interacción con el sistema, brindando la posibilidad del manejo de las bandas de forma independiente y un proceso demostrativo con la sincronización de las mismas. La Figura 77 muestra el flujo de activación de las imágenes para el control de las bandas.



**Figura 77.** Flujo de activación de las imágenes en la interfaz de usuario.

### 3.3.1 Pantalla Principal

La pantalla principal de bienvenida al usuario, contiene la información del módulo, y la posibilidad de apagar la pantalla táctil. Esta imagen se llama Inicio y se muestra en la Figura 78.



**Figura 78.** Imagen "Inicio" del HMI

### 3.3.2 Menú de selección de tareas

La imagen “Menú” (Figura 79) da la opción al usuario de realizar el control manual de las bandas o ingresar a la simulación del proceso.



*Figura 79.* Imagen “Menú” del HMI

### 3.3.3 Menú de selección de tareas manuales

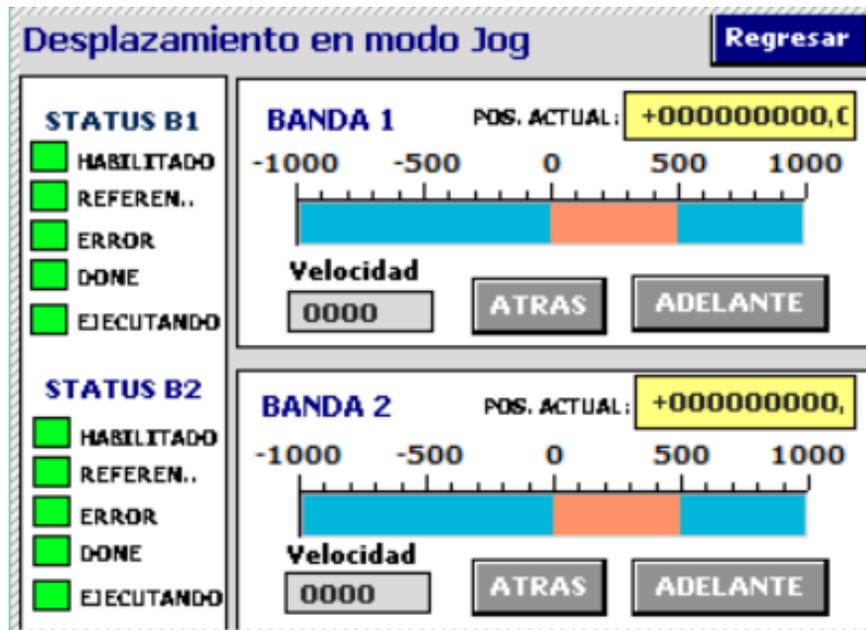
La imagen “Menú\_controlm” es un sub menú de las opciones de control manual que se puede realizar en las bandas (Figura 80).



*Figura 80.* Imagen “Menu\_controlm” del HMI

- **Desplazamiento en modo Jog**

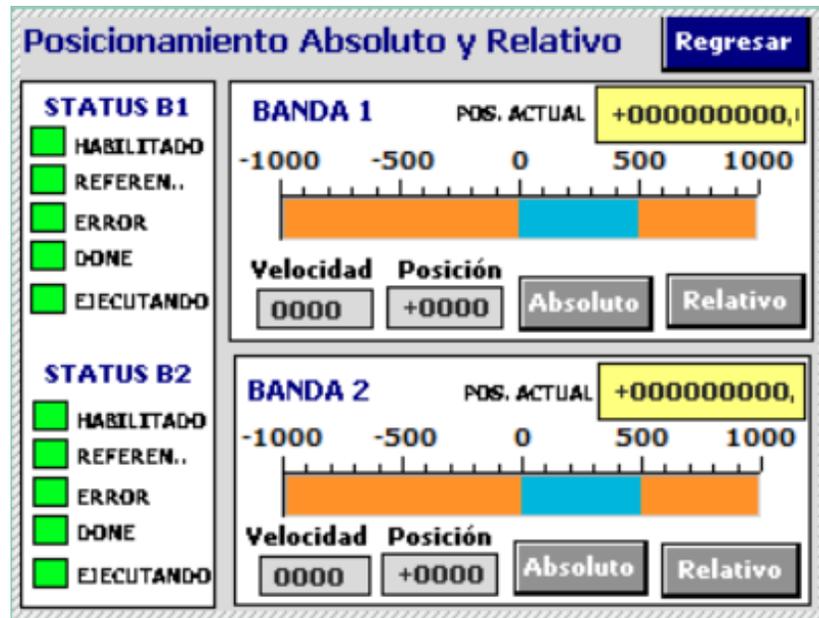
En la Figura 81 se muestra la imagen correspondiente al desplazamiento de las bandas en modo Jog el cual se realiza estableciendo una velocidad constante para cada una en un rango menor o igual a 180mm/s. También se muestra el estado de las bandas.



*Figura 81.* Imagen “Jog” del HMI

- **Posicionamiento absoluto y relativo**

La imagen “Posicionamiento” (Figura 82) permite realizar movimientos absolutos y relativos a las bandas, estableciendo una velocidad constante ( $\leq 180\text{mm/s}$ ) y la posición a la cual deben desplazarse las mismas, además se muestra el estado de las bandas.



**Figura 82.** Imagen "Posicionamiento" del HMI

- **Tabla de comandos**

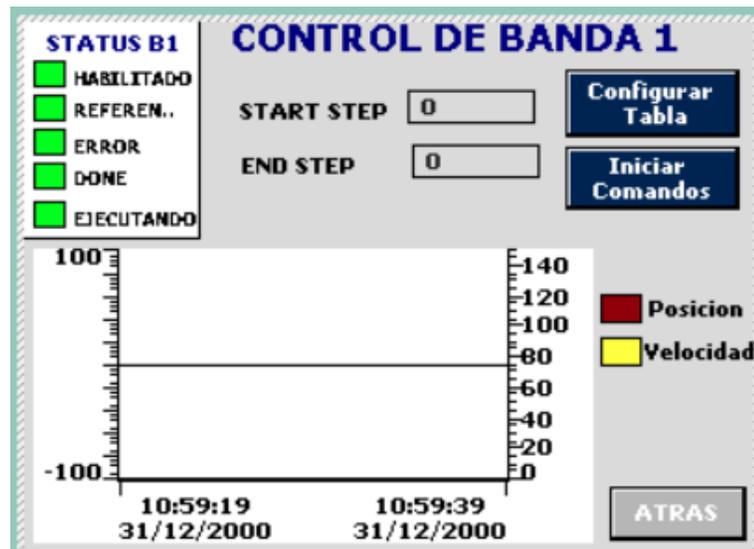
Las dimensiones de la pantalla táctil no permiten realizar la interacción de las dos bandas con tablas de comandos por lo que se divide estos procesos en diferentes imágenes las cuales son:

- Selección Bandas: permite la selección de la banda sobre la cual se ejecutará la tabla de comandos (Figura 83).

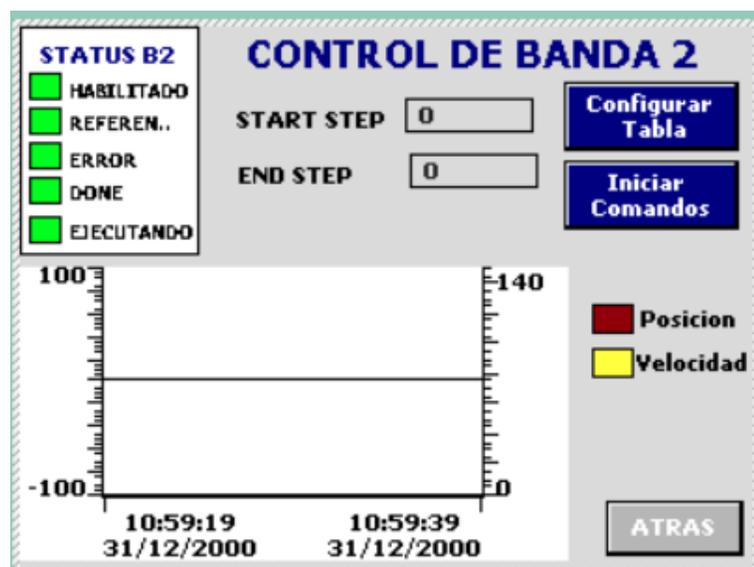


**Figura 83.** Imagen Selección Bandas del HMI

- “Tab\_comand\_B1” (Figura 84) y “Tab\_comand\_B2” (Figura 85): en esta pantalla el botón “Configurar Tabla” habilita la imagen de configuración de la tabla de comandos, el botón “Iniciar Comandos” da la señal de ejecución de la serie de movimientos que realizará la banda de los cuales se grafica la posición y velocidad en tiempo real, además permite especificar el rango de los comandos a ejecutarse.



**Figura 84.** Imagen “Tab\_comand\_B1”



**Figura 85.** Imagen “Tab\_comand\_B2”

- Las imágenes “Comand\_Table\_B1” (Figura 86) y “Comand\_Table\_B2” (Figura 87) permiten la configuración de los movimientos a ejecutarse en la serie de comandos. El usuario debe configurar los cuatro parámetros que son:
  - “Comandos”: que permite mediante una lista desplegable (Figura 88) seleccionar el tipo de petición las cuales son: “Vacía”, “Positioning Relative”, “Positioning Absolute”, “Wait”.
  - “Distancia”: especifica el recorrido de la banda en mm
  - “Velocidad”: se configura la velocidad con la que se ejecuta el movimiento
  - “Tiempo”: es utilizado en la petición “Wait”.

Para estas imágenes se crean dos objetos tecnológicos llamados “Tabla de peticiones\_ 1” y “Tabla de peticiones\_ 2” las cuales se asocian casilla a casilla con las tablas configuradas desde el HMI.

CONFIGURACIÓN DE COMANDOS BANDA 1				
	Comandos	Distancia [mm]	Velocidad [mm/s]	Tiempo [s]
1	Vacia	+0000	000	00
2	Vacia	+0000	000	00
3	Vacia	+0000	000	00
4	Vacia	+0000	000	00
5	Vacia	+0000	000	00
6	Vacia	+0000	000	00
7	Vacia	+0000	000	00
8	Vacia	+0000	000	00

**Aceptar**

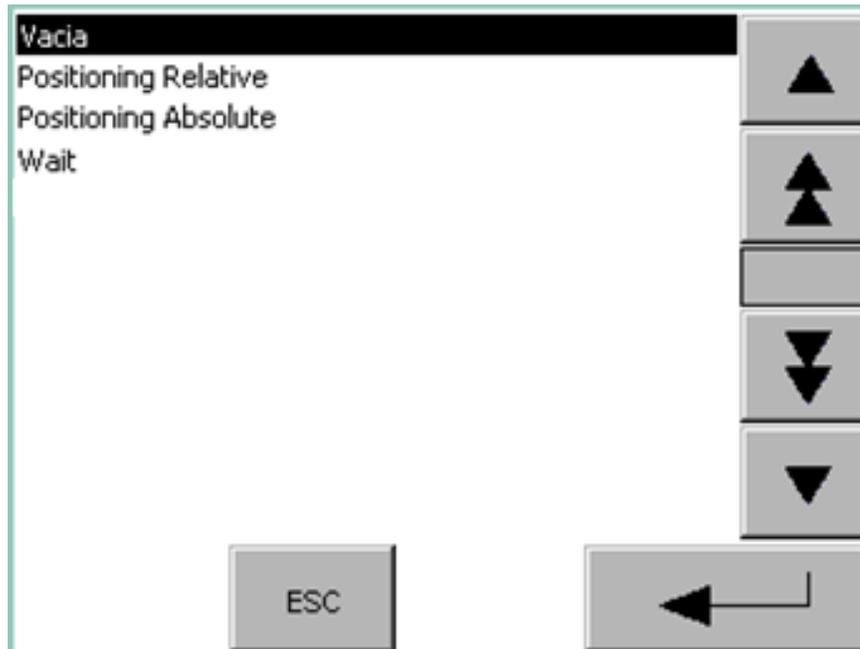
**Figura 86.** Imagen “Comand\_Table\_B1” del HMI

**CONFIGURACIÓN DE COMANDOS BANDA 2**

	Comandos	Distancia [mm]	Velocidad [mm/s]	Tiempo [s]
1	Vacio	+0000	000	00
2	Vacio	+0000	000	00
3	Vacio	+0000	000	00
4	Vacio	+0000	000	00
5	Vacio	+0000	000	00
6	Vacio	+0000	000	00
7	Vacio	+0000	000	00
8	Vacio	+0000	000	00

**Aceptar**

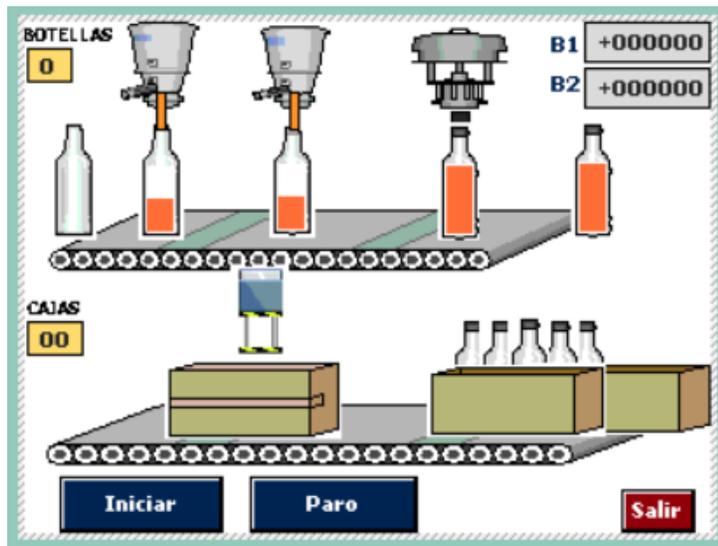
**Figura 87.** Imagen “Comand\_Table\_B2” del HMI



**Figura 88.** Lista desplegable tipo de movimiento

### 3.3.4 Simulación del proceso de embotellado y empaquetado

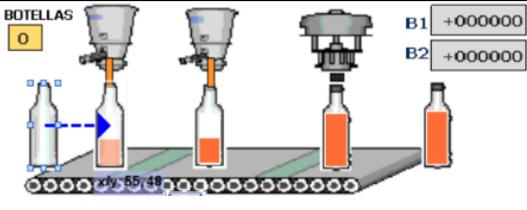
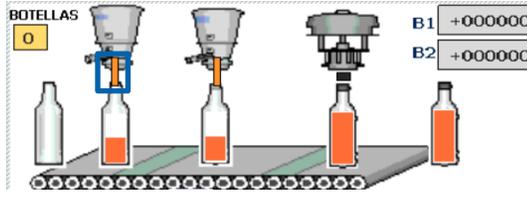
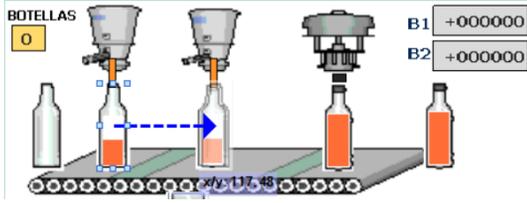
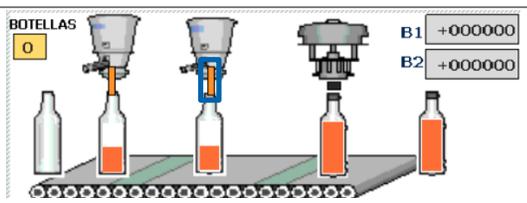
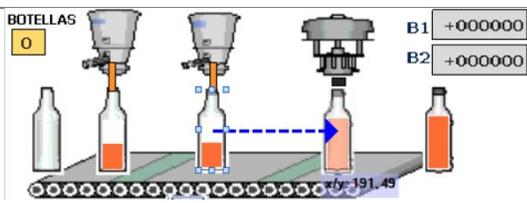
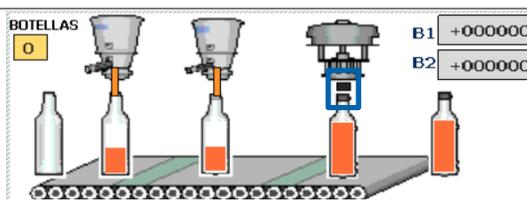
En la pantalla de simulación (Figura 89) se visualiza el proceso de embotellado y empaquetado, donde se encuentran las dos bandas transportadoras, las botellas, la caja, los dispensadores de líquido, el mecanismo de tapado, el mecanismo de sellado, indicadores del número de botellas, número de cajas, y las posiciones de las bandas 1 y 2, también tres botones que son: “Iniciar”, “Paro” y “Salir”. Se configura a los objetos en base a dos tipos de animaciones: visibilidad y movimientos verticales y horizontales con lo que logran trasladarse a diferentes posiciones generando la simulación del proceso.



**Figura 89.** Imagen “Proceso” del HMI

En la Tabla 5 se muestran las animaciones configuradas a cada objeto de la simulación donde se especifica la variable vinculada al objeto y los rangos de posición:

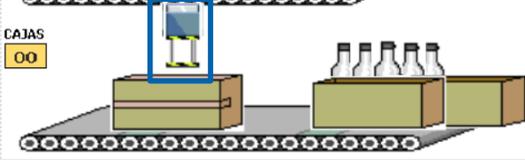
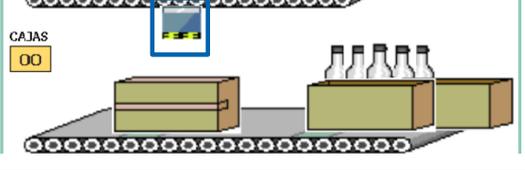
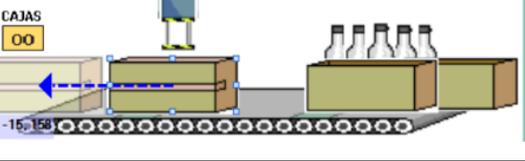
**Tabla 5. Animaciones del proceso simulado**

Objeto	Variable Vinculada	Visibilidad	Movimiento Horizontal	Movimiento Vertical
	Posicion_hmi	0-89	0-90	-
	Posicion_hmi	90	-	-
	Posicion_hmi	90-179	90-180	-
	Posicion_hmi	180	-	-
	Posicion_hmi	180-260	180-260	-
	Posicion_hmi	260	-	-

CONTINÚA



	<p>B1 +000000 B2 +000000</p> <p>Posicion_hmi 260- 260- 284 283</p>
	<p>Posicion_hmi 284- 284- 609 609</p>
	<p>Posicion_B2 15- 75-184 - 183</p>
	<p>Posicion_B2 30- 75-184 - 183</p>
	<p>Posicion_B2 45- 75-184 - 183</p>
	<p>Posicion_B2 60- 75-184 - 183</p>
	<p>Posicion_B2 75- 75-184 - 183</p>
	<p>Posicion_B2 75- 75-184 - 183</p>

	<p>Posicion_B2</p>	<p>183- 185</p>	<p>-       -</p>
		<p>-       -</p>	<p>-       -</p>
	<p>Posicion_B2</p>	<p>184- 284</p>	<p>184- 284       -</p>

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta las pruebas y los resultados del módulo de control de movimiento, pudiendo comprobar el control de posicionamiento y velocidad de las dos bandas instaladas en el sistema, así como también las gráficas del comportamiento.

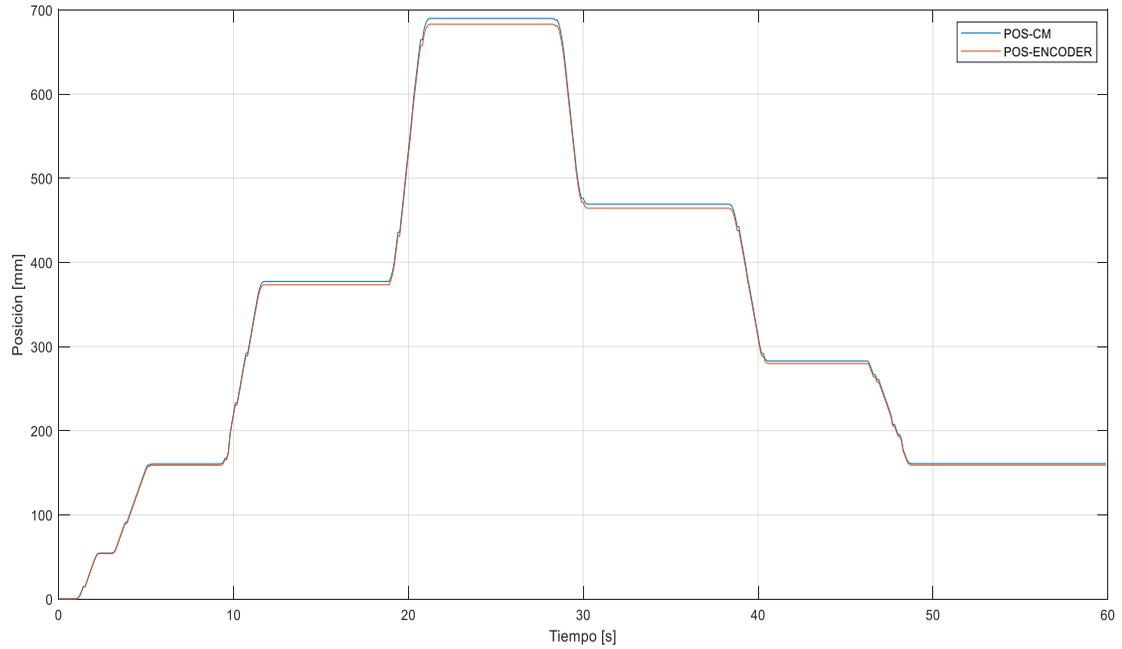
#### 4.1 Respuesta del control de posicionamiento

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema, se realizó la medición de la posición adquirida con el encoder y la comparación con la posición deseada, con el fin de conocer el error que presentan, donde los resultados se detallan a continuación.

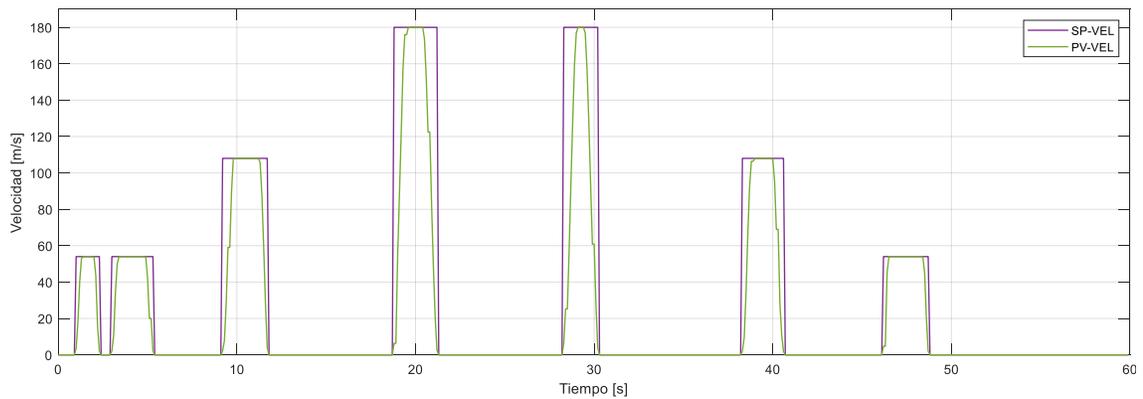
##### 4.1.1 Respuesta del control de movimiento ante comandos manuales (Desplazamiento en modo JOG)

La Figura 90 es la respuesta a los movimientos realizados en modo Jog (adelante-atrás) de la banda 1, en donde el usuario define la velocidad de desplazamiento de la misma. Las pruebas en modo Jog se realizaron con las velocidades del 30%, 60% y 100% de la velocidad máxima del motor paso a paso 1 (54mm/s, 108mm/s y 180mm/s) como se indica en la Figura 91, en la cual se puede observar que el movimiento responde a aceleraciones y desaceleraciones configuradas para el objeto tecnológico.

El error absoluto promedio que presenta el sistema en la banda 1 en desplazamientos en modo Jog es de 0.05546.



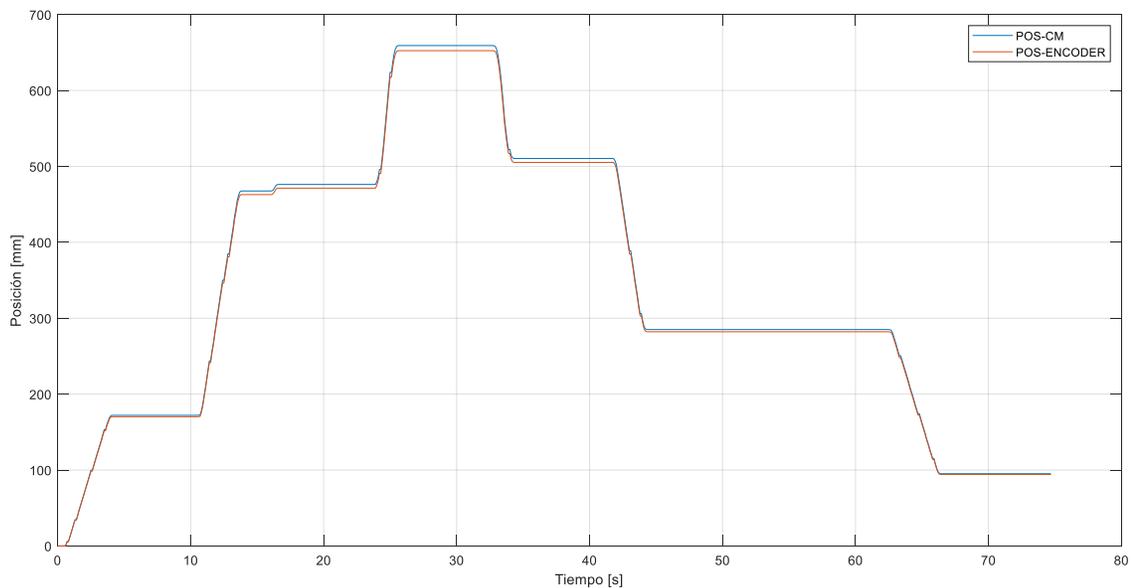
**Figura 90.** Desplazamientos en modo Jog de la Banda 1



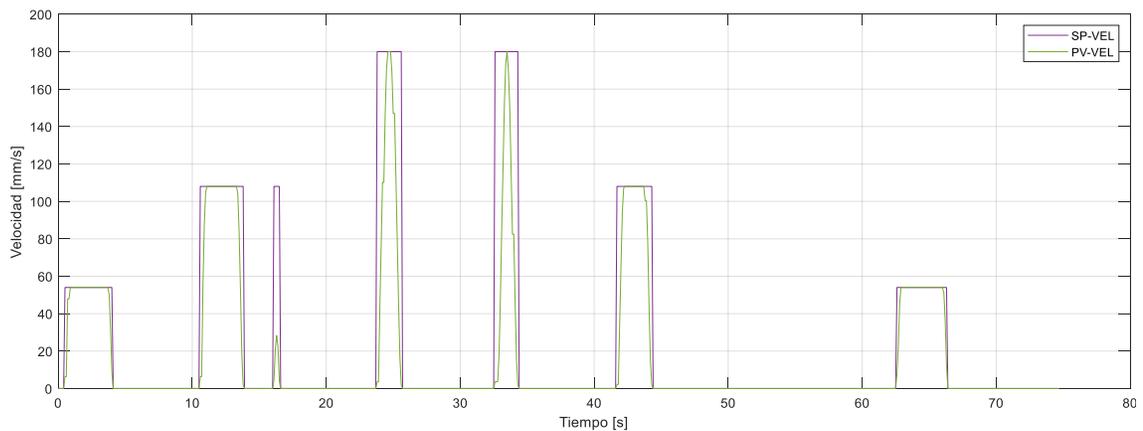
**Figura 91.** Velocidades de los desplazamientos en modo Jog de la Banda 1

La Figura 92 es la respuesta a los movimientos realizados en modo Jog (adelante-atrás) de la banda 2, el usuario define la velocidad de desplazamiento de la misma. Las pruebas en modo Jog se realizaron con las velocidades del 30%, 60% y 100% de la velocidad máxima del motor paso a paso 2 (54mm/s, 108mm/s y 180mm/s) como se indica en la Figura 93.

El error absoluto promedio que presenta el sistema en la banda 2 en desplazamientos en modo Jog es de 0.07570.



**Figura 92.** Desplazamientos en modo Jog de la Banda 2



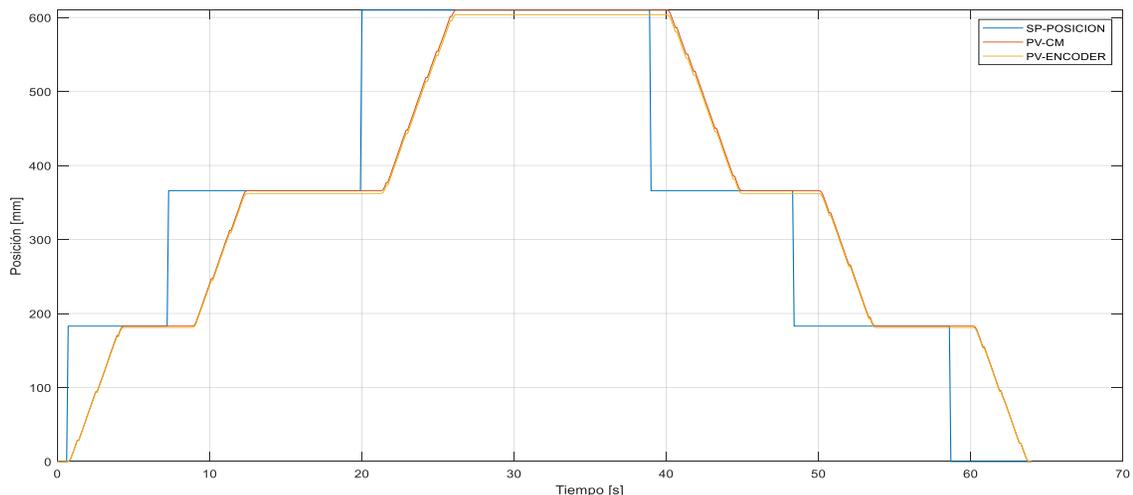
**Figura 93.** Velocidades de los desplazamientos en modo Jog de la Banda 2

#### 4.1.2 Respuesta del control de movimiento posicionamiento absoluto

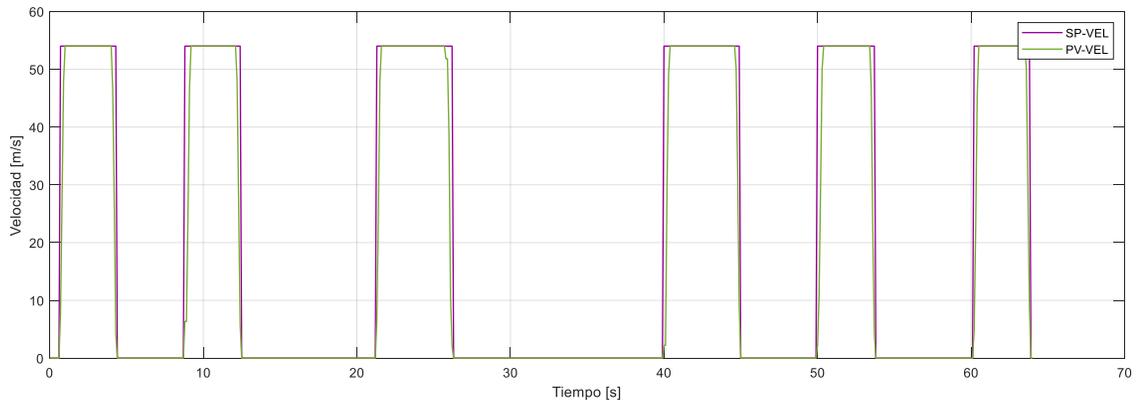
Las figuras siguientes muestran el comportamiento del posicionamiento absoluto ante un punto de referencia, y se observa como la variable de proceso, tanto de los objetos tecnológicos “Eje de Posicionamiento”, como las lecturas presentadas por los encoders se ajustan a los puntos requeridos por el usuario, en un tiempo mínimo de estabilización.

Para cada grafica se consideraron los datos de posición ingresados por el usuario al 30%, 60% y 100% del perímetro de la banda (183mm, 366mm y 610mm). Para lograr los movimientos se aplicó una aceleración y desaceleración en el motor paso a paso 1, se observa que el controlador ajusta la velocidad del motor (PV\_VEL) a la velocidad deseada por el usuario (SP\_VEL).

La Figura 94 es la respuesta a los posicionamientos absolutos realizados por la banda 1, en donde la velocidad de desplazamiento es de 54mm/s como se observa en la Figura 95 . El error absoluto promedio que se obtiene es de 0.04301

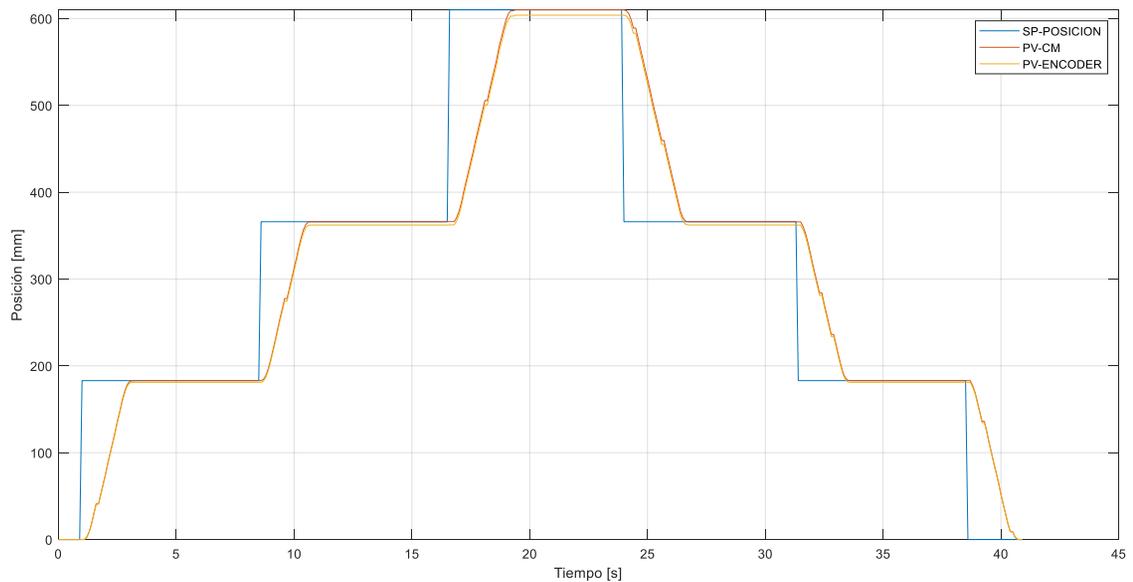


**Figura 94.** Posicionamiento Absoluto de la banda 1 a 54mm/s

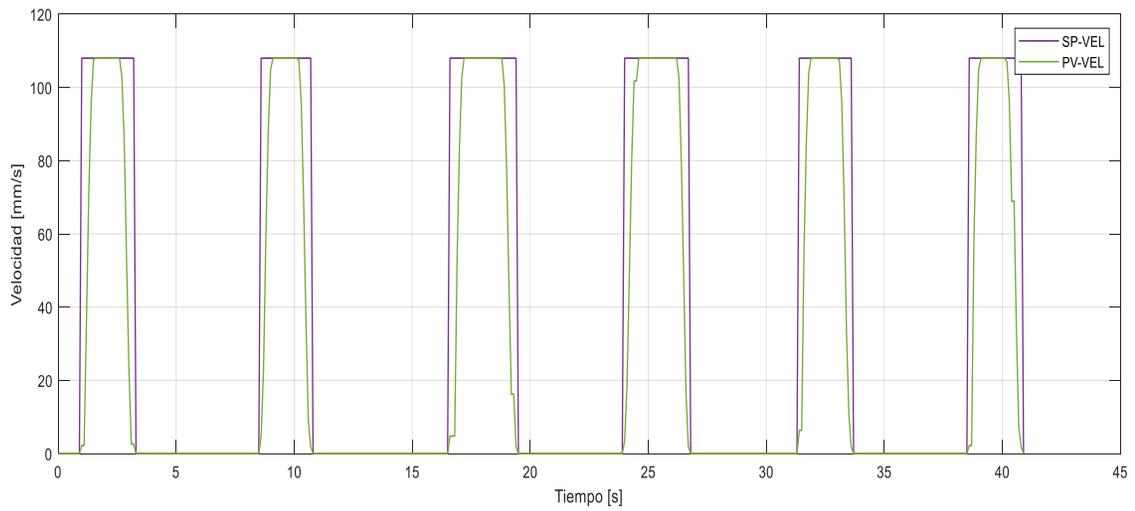


**Figura 95.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 54mm/s

La Figura 96 es la respuesta a los posicionamientos absolutos realizados por la banda 1, la velocidad de desplazamiento aumenta a 108mm/s, como se observa en la Figura 97. El error absoluto promedio obtenido es de 0.07366.

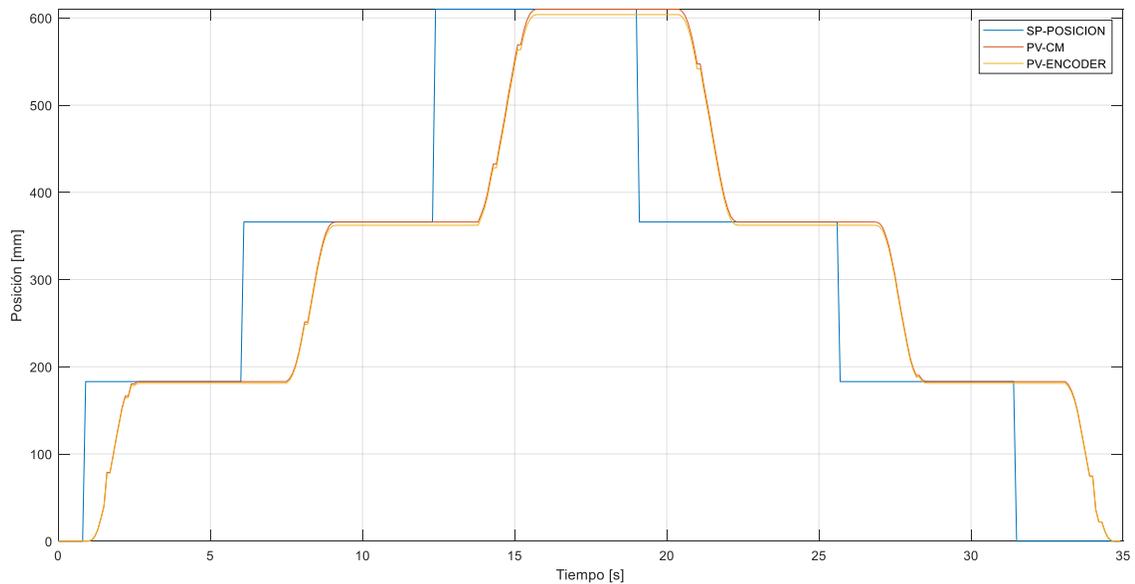


**Figura 96.** Posicionamiento Absoluto de la banda 1 a 108mm/s

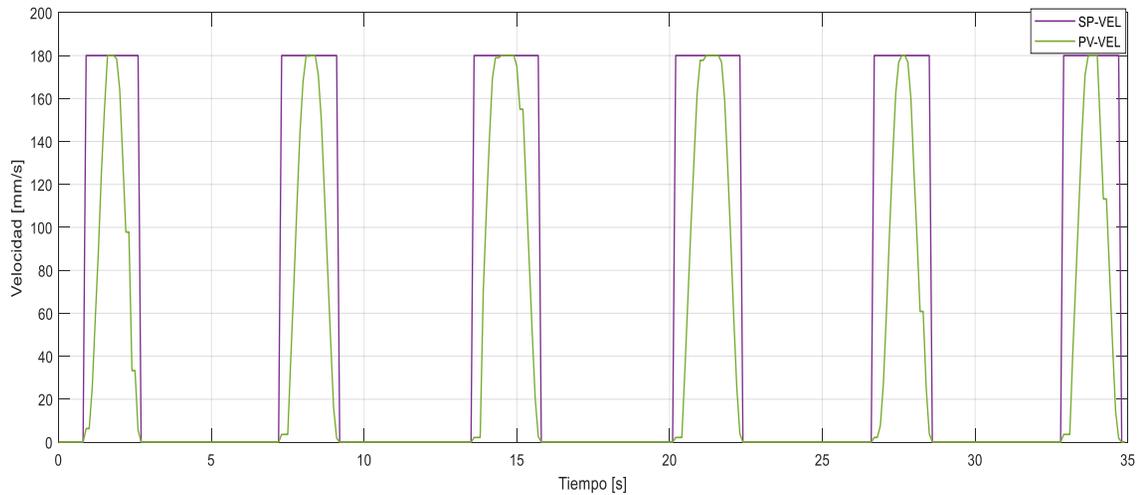


**Figura 97.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 108mm/s

La Figura 98 es la respuesta a los posicionamientos absolutos realizados por la banda 1, la velocidad de desplazamiento es de 180mm/s como indica la Figura 99 . El error absoluto promedio que presenta el sistema es de 0.07524

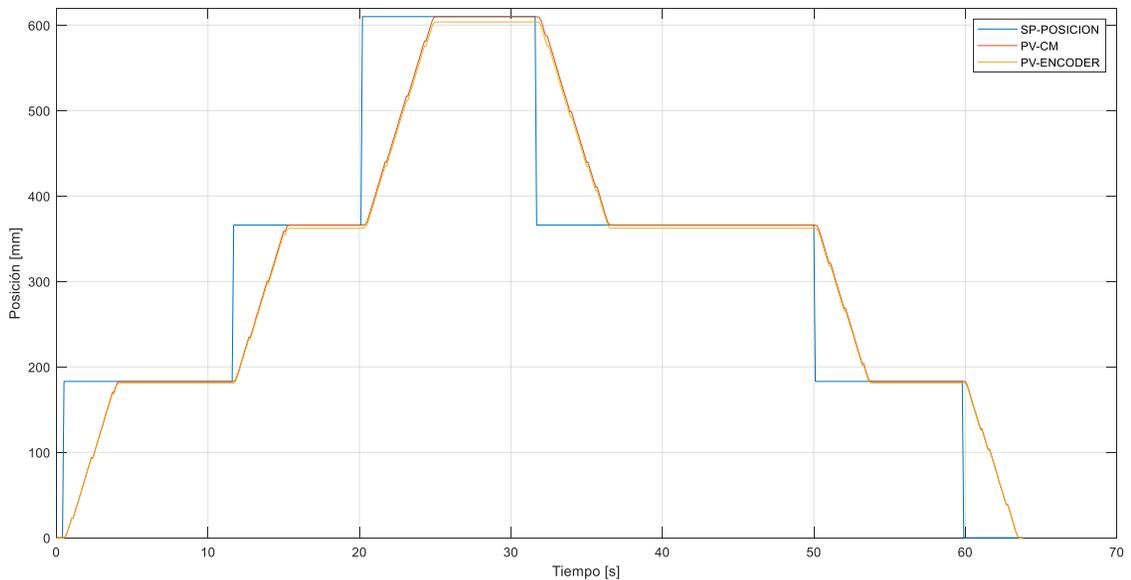


**Figura 98.** Posicionamiento Absoluto de la banda 1 a 180mm/s

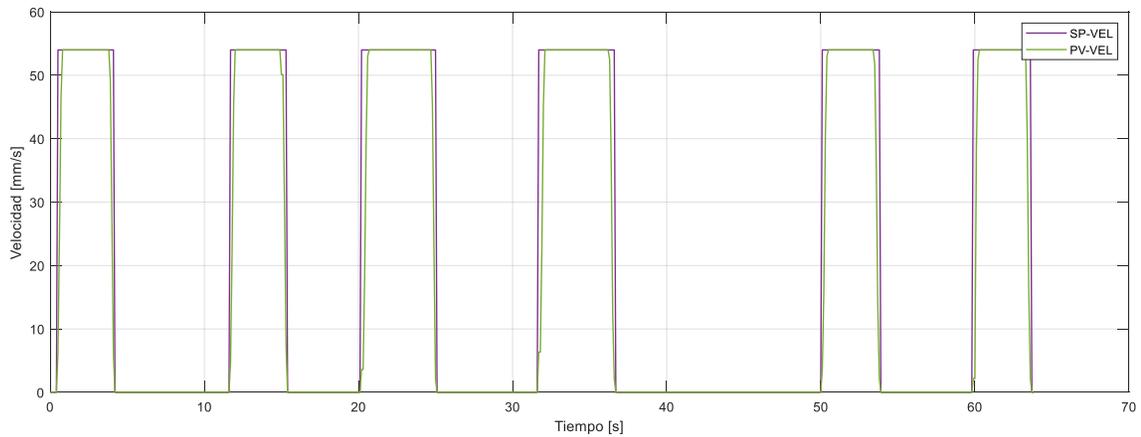


**Figura 99.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 180mm/s

La Figura 100 es la respuesta a los posicionamientos absolutos realizados por la banda 2, en donde la velocidad de desplazamiento es de 54mm/s como se observa en la Figura 101. El error absoluto promedio que se obtiene es de 0.10642.

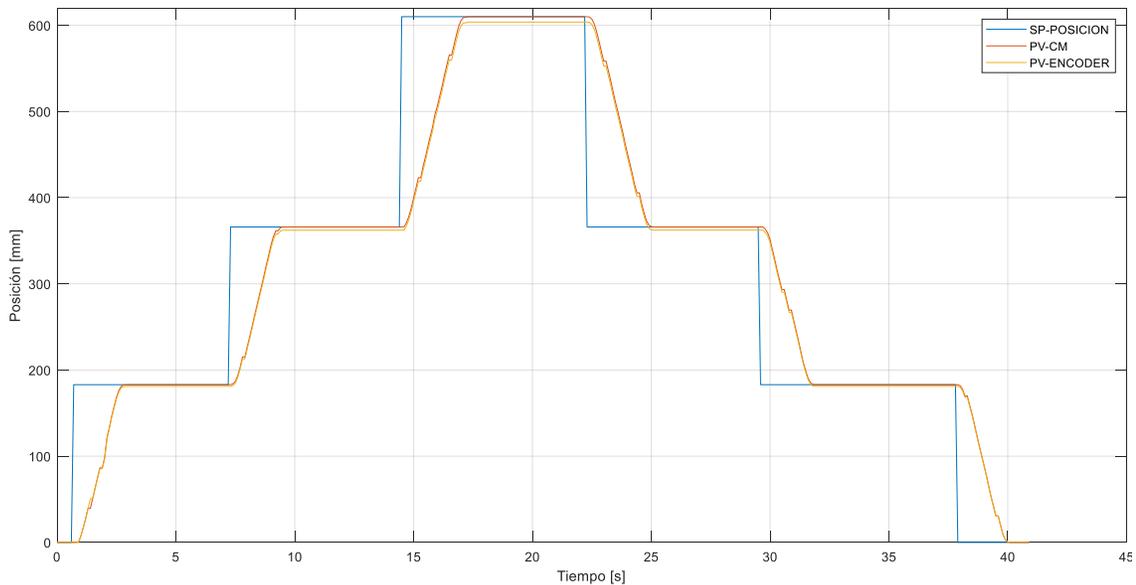


**Figura 100.** Posicionamiento Absoluto de la banda 2 a 54mm/s

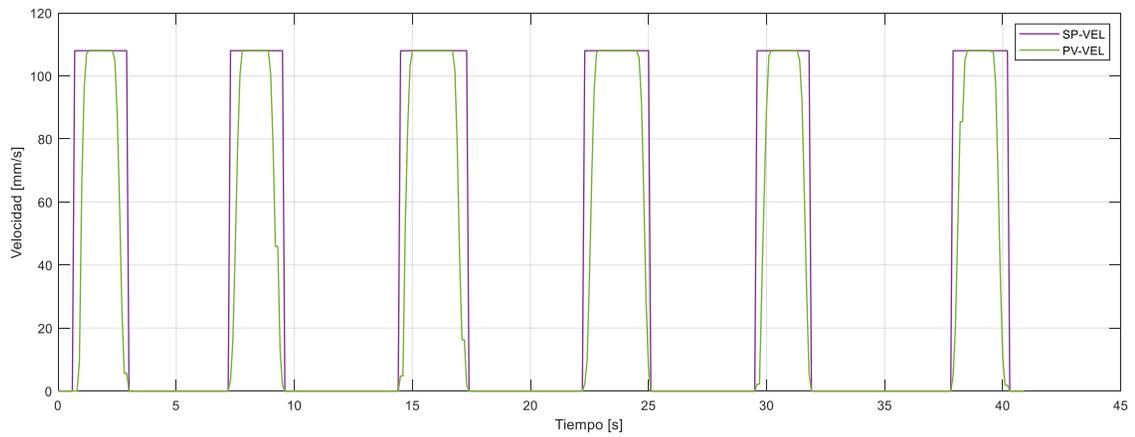


**Figura 101.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 54mm/s

La Figura 102 es la respuesta a los posicionamientos absolutos realizados por la banda 2, la velocidad de desplazamiento aumenta a 108mm/s, como se observa en la Figura 103. El error absoluto promedio obtenido es de 0.10887.

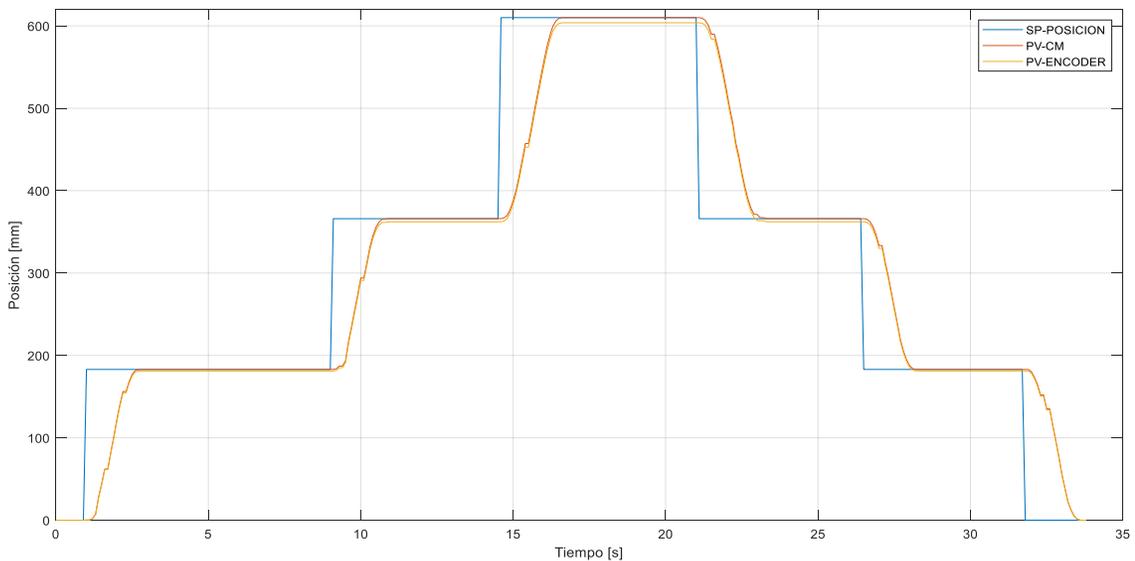


**Figura 102.** Posicionamiento Absoluto de la banda 2 a 108mm/s

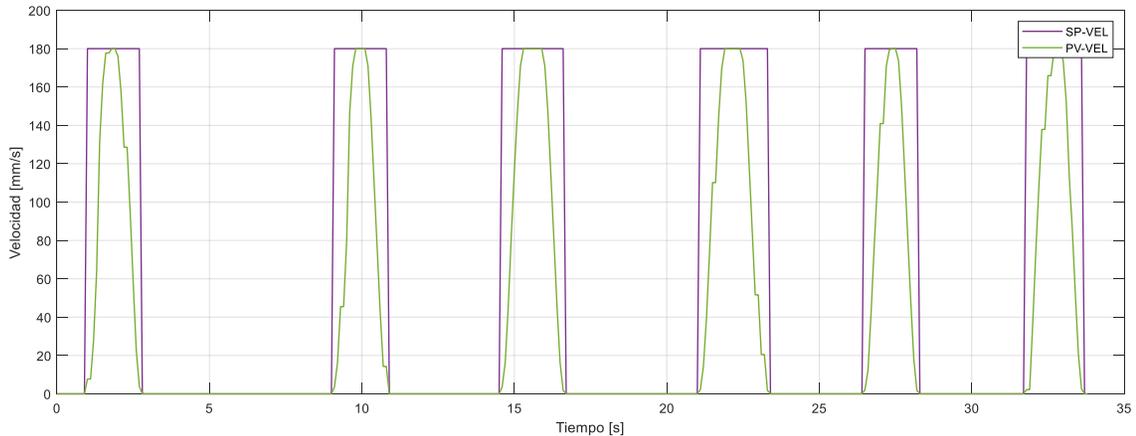


**Figura 103.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 108mm/s

La Figura 104 es la respuesta a los posicionamientos absolutos realizados por la banda 2, la velocidad de desplazamiento es de 180mm/s como indica la Figura 105. El error absoluto promedio que presenta el sistema es de 0.08647.



**Figura 104.** Posicionamiento Absoluto de la banda 2 a 180mm/s



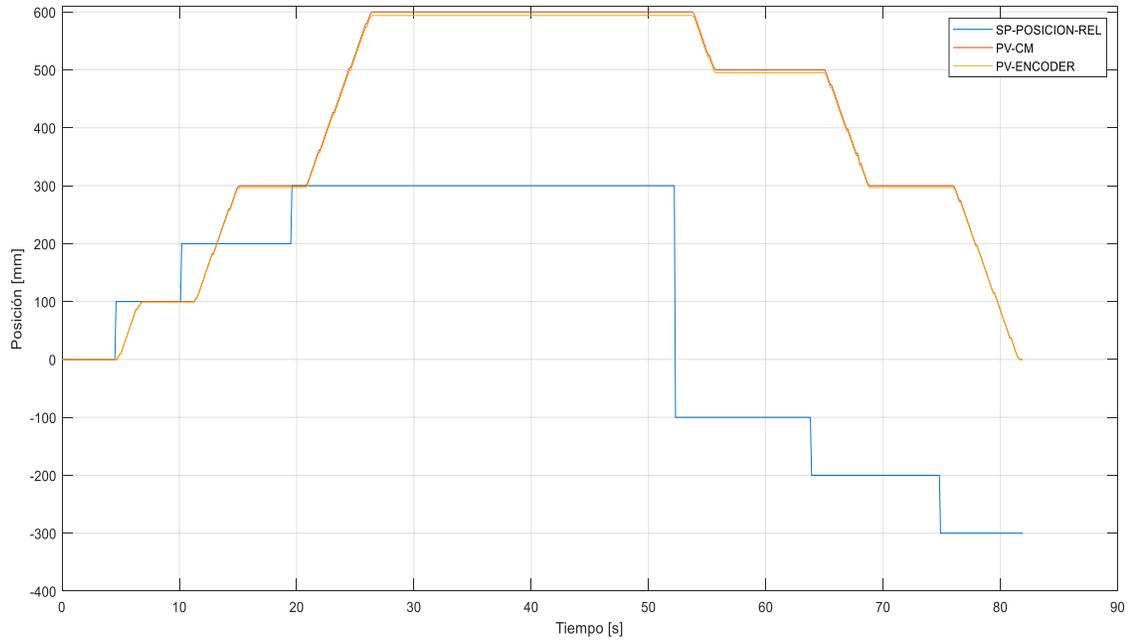
**Figura 105.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 180mm/s

#### 4.1.3 Respuesta del control de movimiento posicionamiento relativo

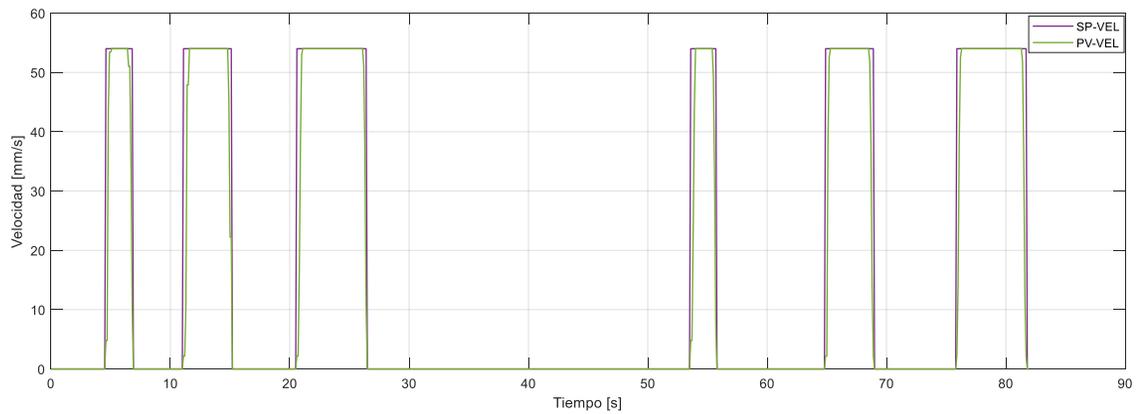
Las siguientes figuras muestran el comportamiento de posicionamiento relativo ante un punto de referencia, y se observa como la variable de proceso va aumentando o disminuyendo la posición de la banda según la referencia establecida. Tomando en cuenta que el posicionamiento relativo fundamenta su ubicación tomando la posición actual. Para cada grafica se consideraron los datos de posición ingresados por el usuario:  $\pm 100\text{mm}$ ,  $\pm 200\text{mm}$  y  $\pm 300\text{mm}$ .

Para lograr los movimientos relativos se aplica una aceleración y desaceleración en los motores, donde se observa que el controlador ajusta la velocidad de los motores (PV\_VEL) a la velocidad deseada por el usuario (SP\_VEL).

La Figura 106 es la respuesta a los posicionamientos relativos realizados por la banda 1, en donde la velocidad de desplazamiento es de 54mm/s como se observa en la Figura 107. El error absoluto promedio que se obtiene es de 0.07925.

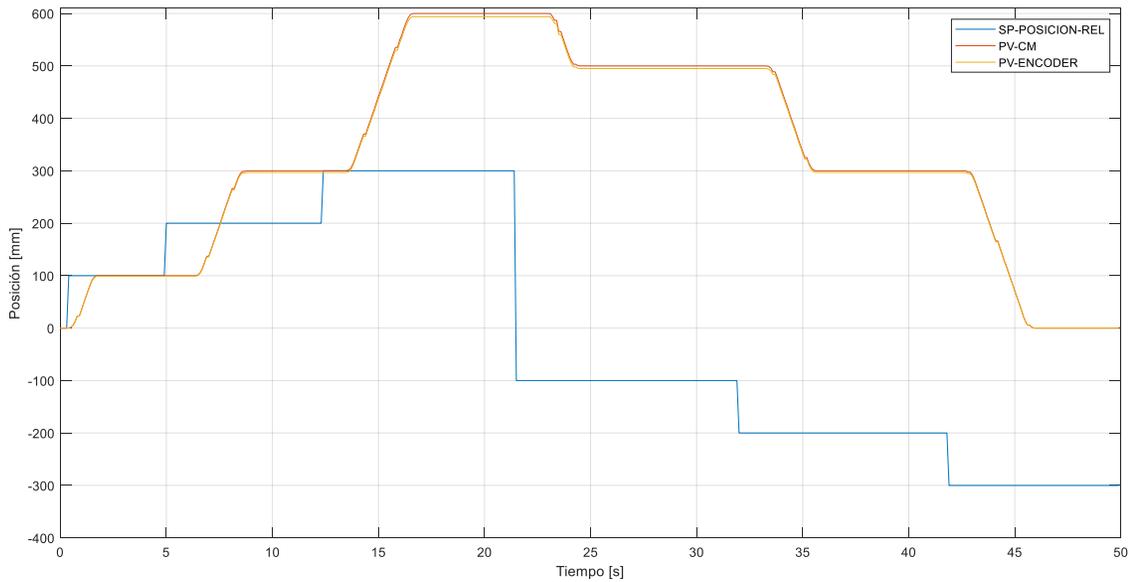


**Figura 106.** Posicionamiento relativo de la banda 1 a 54mm/s

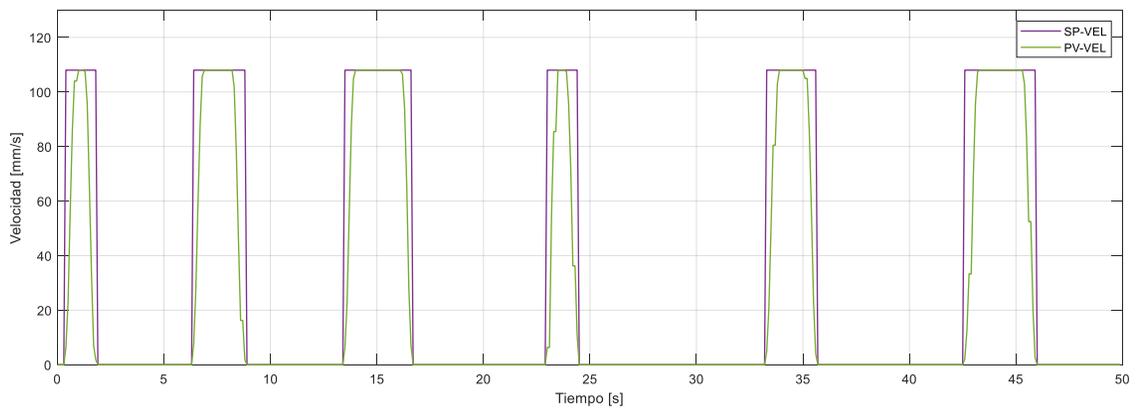


**Figura 107.** Velocidad para el posicionamiento relativo de la Banda 1 a 54mm/s

La Figura 108 es la respuesta a los posicionamientos relativos realizados por la banda 1, la velocidad de desplazamiento aumenta a 108mm/s, como se observa en la Figura 109. El error absoluto promedio obtenido es de 0.07634.

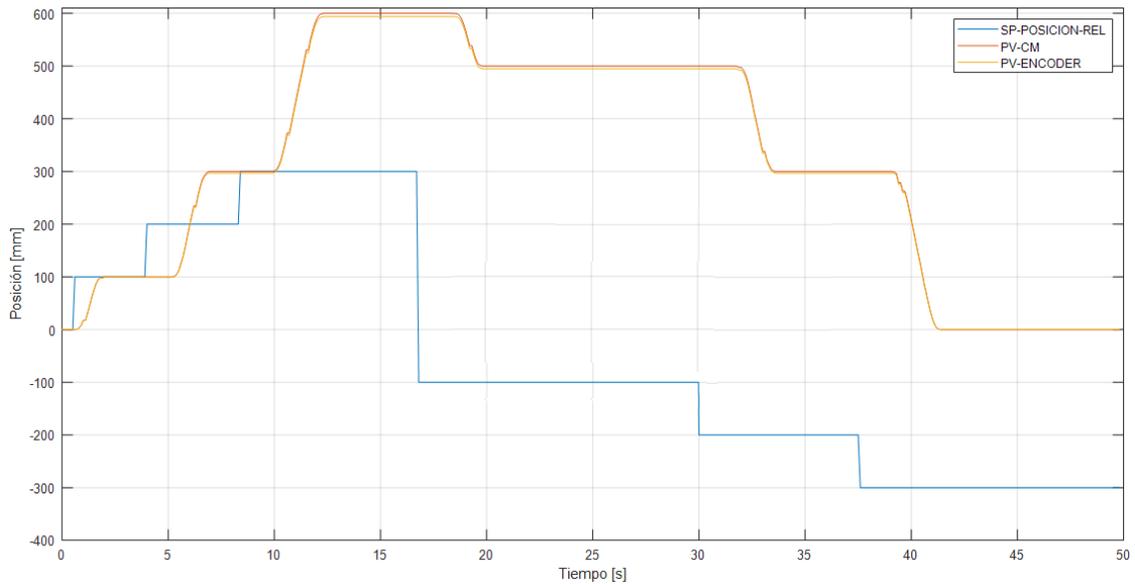


**Figura 108.** Posicionamiento relativo de la banda 1 a 108mm/s

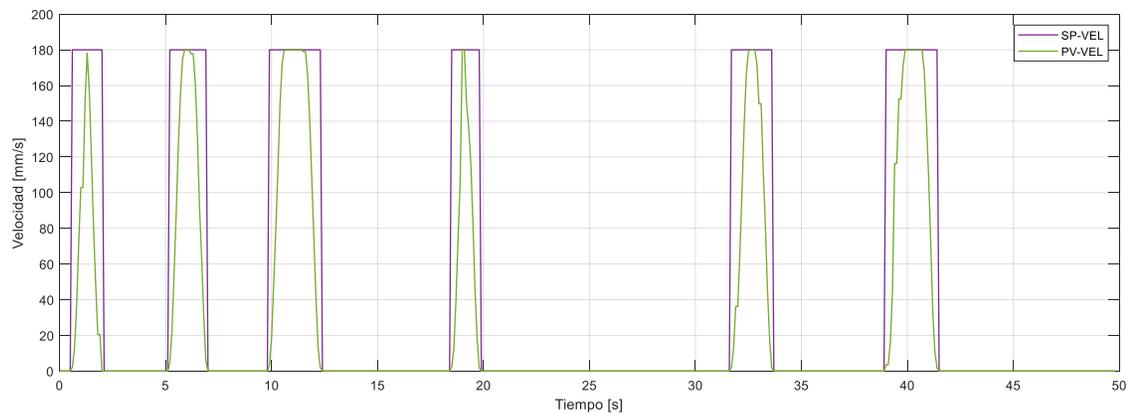


**Figura 109.** Velocidad para el posicionamiento relativo de la Banda 1 a 108mm/s

La Figura 110 es la respuesta a los posicionamientos relativos realizados por la banda 1, la velocidad de desplazamiento es de 180mm/s como indica la Figura 111 . El error absoluto promedio que presenta el sistema es de 0.07226.

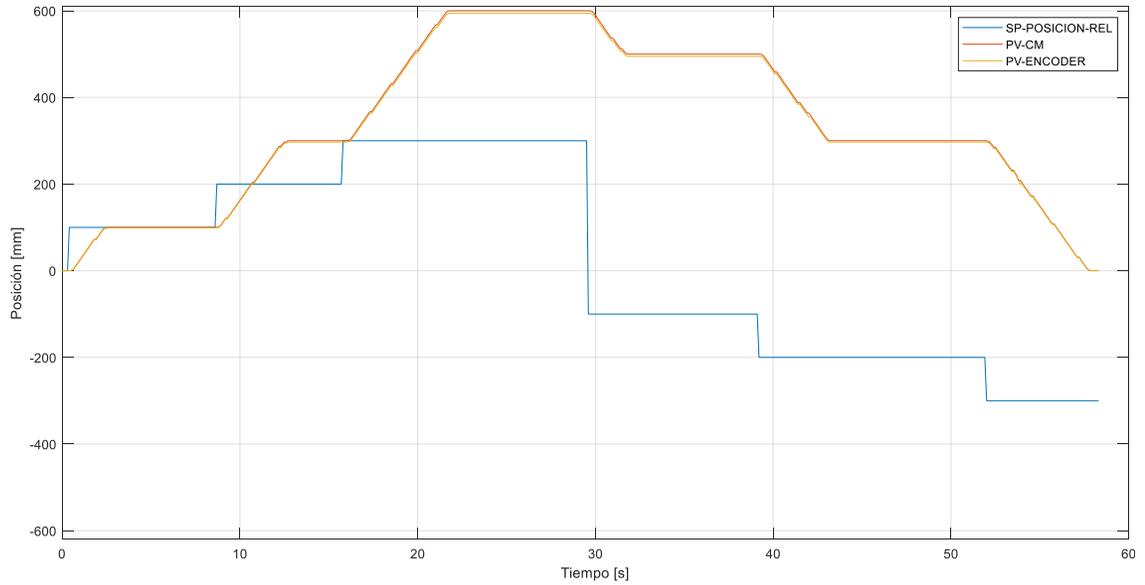


**Figura 110.** Posicionamiento relativo de la banda 1 a 180mm/s

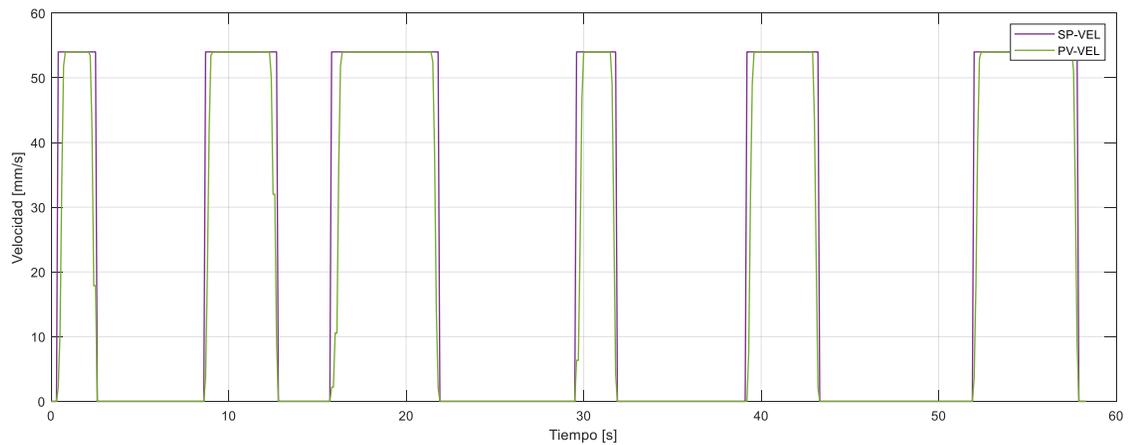


**Figura 111.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 1 a 180mm/s

La Figura 112 es la respuesta a los posicionamientos relativos realizados por la banda 2, en donde la velocidad de desplazamiento es de 54mm/s como se observa en la Figura 113. El error absoluto promedio que se obtiene es de 0.05416.

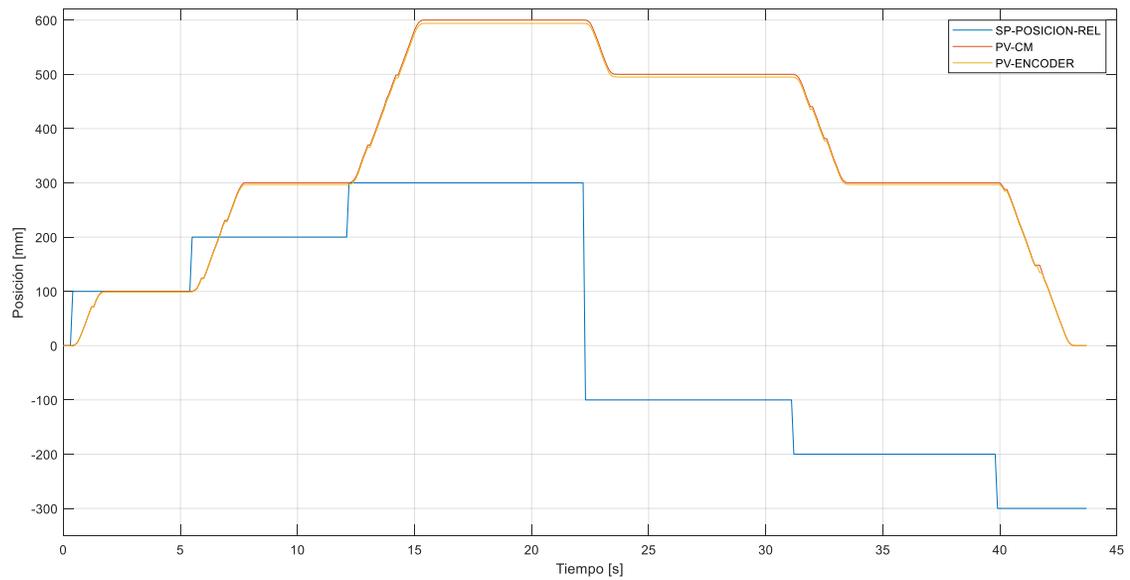


**Figura 112.** Posicionamiento relativo de la banda 2 a 54mm/s

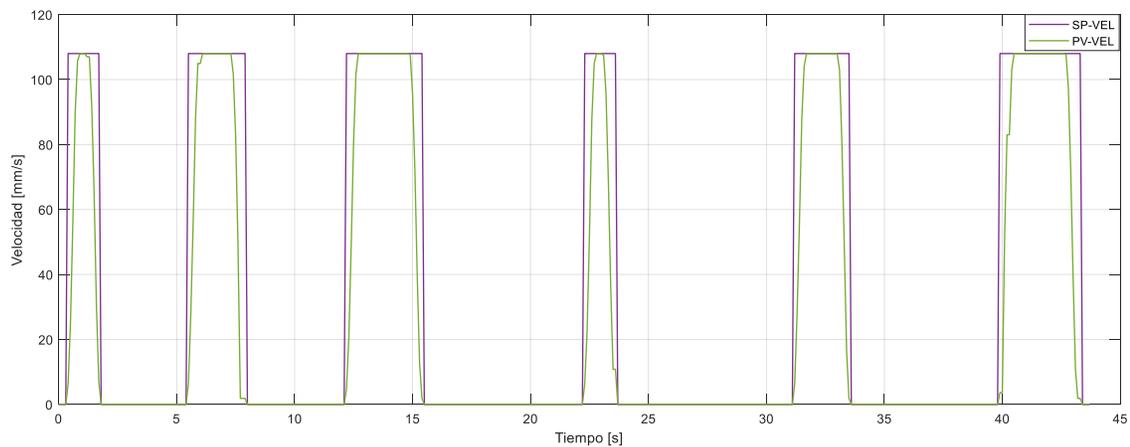


**Figura 113.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 54mm/s

La Figura 114 es la respuesta a los posicionamientos relativos realizados por la banda 2, la velocidad de desplazamiento aumenta a 108mm/s, como se observa en la Figura 115. El error absoluto promedio obtenido es de 0.12434.

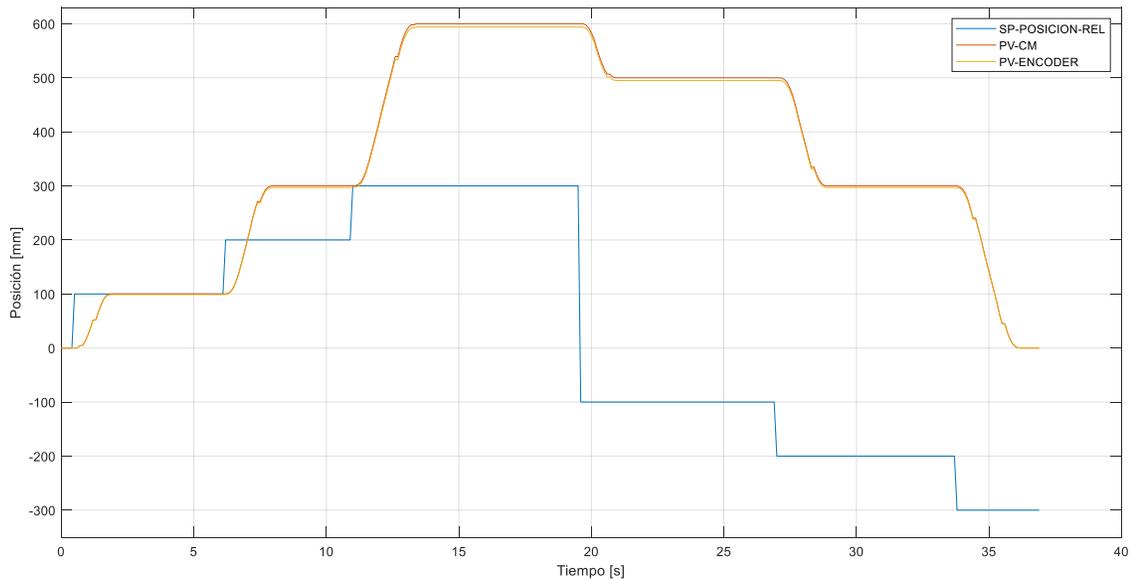


**Figura 114.** Posicionamiento relativo de la banda 2 a 108mm/s

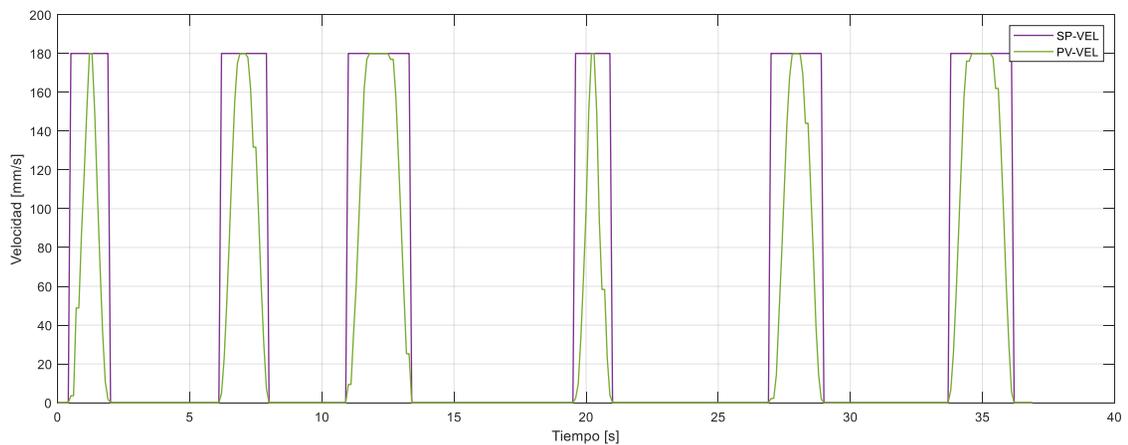


**Figura 115.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 108mm/s

La Figura 116 es la respuesta a los posicionamientos relativos realizados por la banda 2, la velocidad de desplazamiento es de 180mm/s como indica la Figura 117 . El error absoluto promedio que presenta el sistema es de 0.06671.



**Figura 116.** Posicionamiento relativo de la banda 2 a 180mm/s

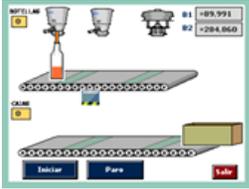
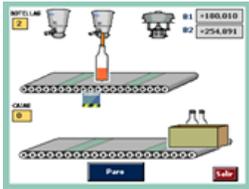
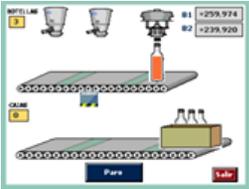
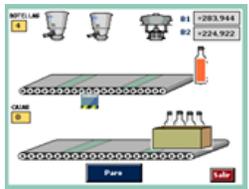


**Figura 117.** Velocidad para el posicionamiento de la Banda 2 a 180mm/s

#### 4.1.4 Evaluación del proceso simulado

En la Tabla 6 se puede observar la evaluación de cada etapa del proceso de embotellado y empaquetado de botellas, donde se verifica través de la lectura del encoder que los movimientos realizados se ejecutan correctamente. También se comprueba la activación de los indicadores físicos o simulados, adicionalmente se da a conocer la velocidad y el tiempo para cada desplazamiento.

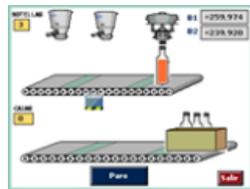
**Tabla 6.** Evaluación del proceso simulado

Etapa	Consigna (mm)	PV (Encoder mm)	Indicador	Velocidad (mm/s)	Tiempo (s)
Llenado del 50% del contenido de la botella	90	89.991	Activado (Físico)	60	3
					
Llenado del 100% del contenido de la botella	180	179.954	Activado (Físico)	60	3
					
Tapado de la botella	260	259.918	Activado (Físico)	60	3
					
Transición de la botella a la segunda banda	284.98	283.916	-	40	-
					

CONTINÚA 

---

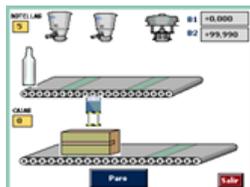
Empaquetado de las  
botellas



-15      -15.026      -      30      -

---

Sellado de la caja

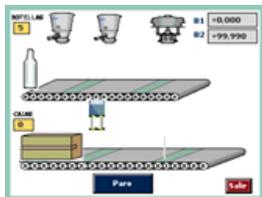


100      99,990      -      80      2

Activado  
(Acciona  
miento  
simulado)

---

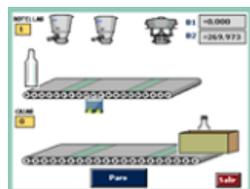
Salida de la caja



0      0      -      80      2

---

Posicionamiento de la  
nueva caja



284.98      284.860      -      150      -

---

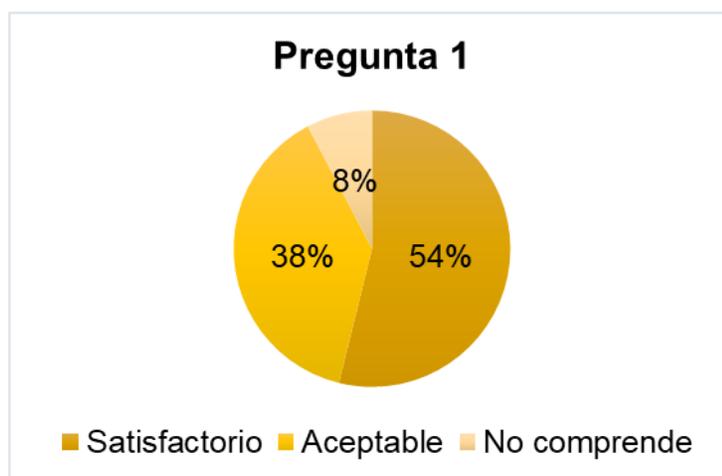
## 4.2 Comprobación de la hipótesis

Una vez culminada la implementación del sistema didáctico, la hipótesis fue comprobada mediante la realización de prácticas en el módulo didáctico por parte de 13 estudiantes de la carrera de Electrónica e Instrumentación, en la que realizaron el control manual en desplazamiento en modo Jog, posicionamiento absoluto, posicionamiento relativo de cada banda, además calcularon el error de

cada movimiento, comprobaron e identificaron las etapas en la simulación del proceso de llenado y empaquetado de las botellas.

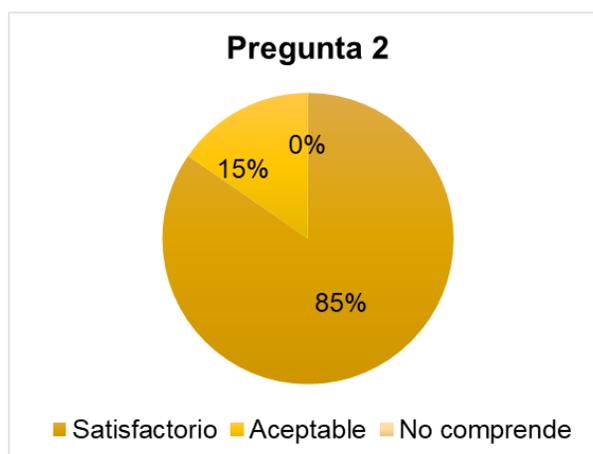
La realización de esta práctica permitió determinar qué tan eficiente es el sistema como herramienta de enseñanza-aprendizaje en control de movimiento, para lo cual se realizaron encuestas a los 13 usuarios, además se planteó las siguientes preguntas, y se evaluaron de forma cualitativa como se observa en las Figuras Figura 118, Figura 119, Figura 120, Figura 121:

1. Explique en que consiste el desplazamiento en modo Jog



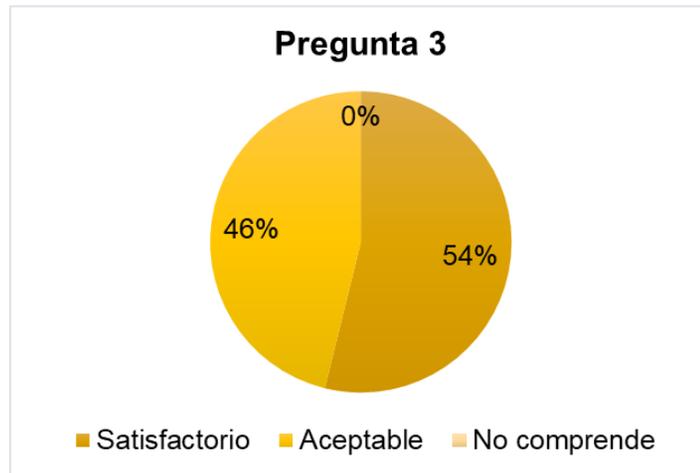
**Figura 118.** Evaluación cualitativa de la pregunta 1

2. Explique en que consiste el posicionamiento absoluto



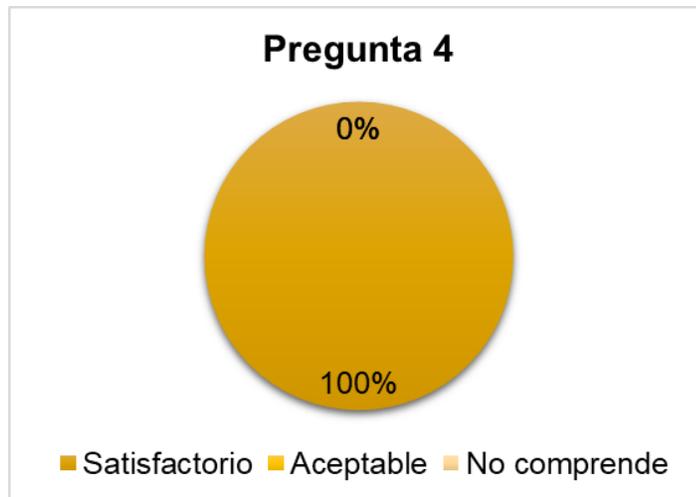
**Figura 119.** Evaluación cualitativa de la pregunta 2

3. Explique en que consiste el posicionamiento relativo



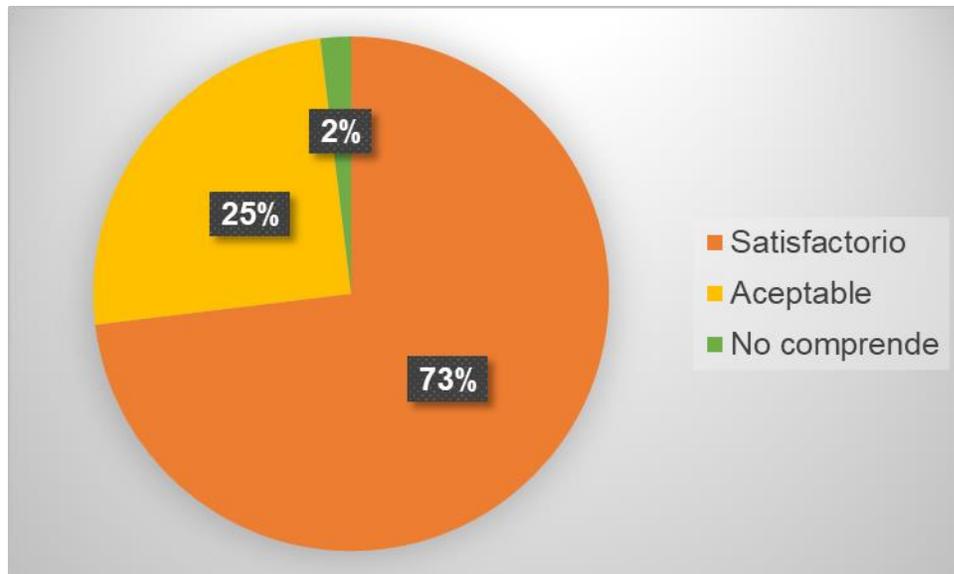
**Figura 120.** Evaluación cualitativa de la pregunta 3

4. Grafique el proceso simulado e identifique las etapas.



**Figura 121.** Evaluación cualitativa de la pregunta 4

Los resultados indican que el sistema didáctico es óptimo para el desarrollo de prácticas con el 98% de comprensión satisfactoria y aceptable como se presenta en la Figura 122. El sistema demostró ser muy intuitivo ya que los estudiantes lograron su manipulación de forma sencilla durante la práctica.



**Figura 122.** Evaluación cualitativa general del sistema didáctico

#### 4.3 Alcances

- El módulo didáctico realiza el control de movimiento individual y sincronizado de dos ejes, por medio de un PLC SIEMENES S7-1200 DC/DC/DC y motores paso a paso Nema 17.
- El sistema implementado permite la realización de prácticas de control de movimiento, ya sea mediante controles manuales o simulando un proceso industrial, lo que permite el aprendizaje de este tipo de control.
- El HMI del módulo didáctico permite la interacción amigable entre la planta y el usuario, ya que cuenta con varias pantallas para cada tipo de movimiento que realizan las bandas, ejecutando desplazamientos en modo Jog, posicionamiento absoluto, posicionamiento relativo y secuencias de comandos.
- El control manual cuenta con indicadores que informan el estado de los ejes, los cuales indican si estos se encuentran habilitados y referenciados, la existencia de errores y la ejecución de los diferentes comandos.

#### **4.4 Limitaciones**

- El sistema requiere el uso de una fuente adicional para la implementación de los dos motores paso a paso.
- Debido al número de salidas transistorizadas del PLC S7 1200 DC/DC/DC se implementó el control de movimiento únicamente para dos motores paso a paso ya que se necesitan dos salidas por eje (pulso y dirección).
- El tiempo mínimo de muestreo de la pantalla táctil KTP-600 es de 1 segundo por lo que en la simulación se puede observar un pequeño retardo.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La investigación realizada ayudó en el diseño e implementación del sistema didáctico, en base a información y esquemas eléctricos de control de movimiento, lo que permitió desarrollar la metodología para el funcionamiento del módulo didáctico.
- El sistema didáctico implementado, permite realizar tareas de movimiento de alta precisión con dos grados de libertad, con indicación local y visualización en un HMI.
- El sistema didáctico implementado, fue desarrollado en base a las normativas ISA 5.1 e ISA 5.4; en el controlador se desarrollaron los algoritmos para el control en: modo manual, posicionamientos y la simulación de un proceso industrial de envasado y empaquetado de botellas, proporcionando la información necesaria para que los usuarios obtengan conocimientos prácticos sobre este tipo control.
- Realizadas las pruebas de funcionamiento del sistema de control en lazo cerrado, se obtiene los siguientes errores: modo manual error absoluto de 0.06558, control de posicionamiento error absoluto 0.16112, y en la simulación del proceso error de 0.19385. Lo que indica el correcto funcionamiento del sistema didáctico en lazo cerrado.
- El sistema didáctico es intuitivo y de fácil utilización, esto se verifico en base al resultado de las encuestas cualitativas realizadas a los usuarios del sistema (estudiantes del noveno nivel de la carrera de Ingeniería en

electrónica e instrumentación) de donde se obtiene un 98% de respuestas satisfactorias y aceptables.

## **5.2 Recomendaciones**

- Es necesario verificar la corriente que se suministra al motor, debido a que el trabajo que este realiza no necesita de un torque alto, por lo tanto, una corriente elevada causa vibraciones en el sistema.
- La incorrecta nivelación de las poleas puede afectar al funcionamiento de las bandas y encoders causando un desgaste mecánico y mal funcionamiento del sistema.
- Para la obtención de datos a través de un OPC es necesaria la activación de la casilla "Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto".

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Automation Direct. (s.f.). *Automation Direct*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de [https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/sensors\\_-\\_z-\\_encoders/optical\\_rotary\\_encoders/light\\_duty\\_incremental\\_encoders\\_\(quadrature\)/6mm\\_solid\\_shaft\\_npn\\_open\\_collector\\_\(trd-s\\_series\)/trd-s360-bd?fbclid=IwAR3BXaF\\_uY4A3O9y5gCGHg\\_bHpi6IJ1GTQLXWgv1](https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/sensors_-_z-_encoders/optical_rotary_encoders/light_duty_incremental_encoders_(quadrature)/6mm_solid_shaft_npn_open_collector_(trd-s_series)/trd-s360-bd?fbclid=IwAR3BXaF_uY4A3O9y5gCGHg_bHpi6IJ1GTQLXWgv1) TRD-S360-BD:
- Automation Direct. (s.f.). *Automation Direct*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de <https://cdn.automationdirect.com/static/specs/encoderId.pdf?fbclid=IwAR2NqhQC8dO7t0FBPH2fJnFRozrD28KnVxyGKmbBEM3EPpuWtOEBzmmvNSw> Light Duty Incremental Encoders:
- Automation Technology Inc. (06 de Junio de 2019). *Automation Technology Inc.* Recuperado el 25 de 08 de 2018, de <https://www.automationtechnologiesinc.com/products-page/3d-printer-machine-parts/nema17-stepper-motor-3/>
- Automatización Industrial. (28 de Abril de 2018). *Motion control (PTO) con Siemens S7-1200*. Recuperado el 06 de Junio de 2019, de <http://automatizacioncavanilles.blogspot.com/2018/04/motion-control-ptoc-on-siemens-s7-1200.html>
- Brico Geek. (s.f.). *Brico Geek*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de [https://tienda.bricogeek.com/controladores-motores/992-controlador-de-motores-paso-a-paso-35a-tb6600.html?fbclid=IwAR2MaN7MSe9SZfDBdcji6Hvf\\_SzCw8m4ZS3vsOqSXqOM-zzyt8lJh6ou9Hw](https://tienda.bricogeek.com/controladores-motores/992-controlador-de-motores-paso-a-paso-35a-tb6600.html?fbclid=IwAR2MaN7MSe9SZfDBdcji6Hvf_SzCw8m4ZS3vsOqSXqOM-zzyt8lJh6ou9Hw) Controlador de motores paso a paso 3.5A (TB6600):
- Contec. (06 de Junio de 2019). *Contec*. Obtenido de <https://www.contec.com/support/basic-knowledge/daq-control/motion->

- control/?fbclid=IwAR2tZBfGmz-  
\_5c1DYFA\_fxL7Hb4AF3P04X9igQ5HUNg08Ay9EEklzGMOIXc#anc-07
- Conti, F. (25 de 03 de 2005). *Motores paso a paso*. Buenos Aires, Argentina: Alsina. Recuperado el 25 de 08 de 2018, de DAQ: <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Electronilab. (s.f.). *Electronilab*. Recuperado el 07 de Junio de 2019, de Driver Microstepper Motor Paso a Paso – TB6560 – 3A 10-35VDC: <https://electronilab.co/tienda/driver-microstepper-motor-paso-paso-tb6560-3a-10-35vdc/?fbclid=IwAR0Bu9StUkWRISKhYlXqH2SolCPiDQpYUCBkGD67BVIBc3qthywOQm37d-k>
- Gürocak, H. (21 de 11 de 2016). *Industrial Motion Control*. Vancouver, USA: Wiley. Recuperado el 25 de 05 de 2018, de NI: <http://www.ni.com/tutorial/7450/en/>
- Hinnli CO., LTD. (06 de Junio de 2019). *Hinnli Manufacturer & Exporter*. Recuperado el 21 de 05 de 2018, de Simulation and Modeling of Systems of Systems: <http://www.maquinas-conversion-tissue.com/index.php?IDM=9&IDN=26&mpal=2&alias=>
- Molina, M. (2015). *Automatización del sistema de control de la máquina empaquetadora de blisters en la farmacia Prophar*. Ambato, Ecuador.
- Navas, C. (17 de 01 de 2017). *Implementación de un laboratorio de Motion Control: Motor síncrono 1FT7 con accionamiento SINAMICS S110*. Cuenca, Ecuador. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de USN.
- Oriol, B., Guillem, C., Daniel, H., & Joan, R. (2008). ¿Qué se entiende por "motion control"? *Automática e Instrumentación*, 126-140.
- Panchi, S., & Herrera, W. (2015). *Diseño y construcción de un módulo didáctico de un sistema de automatización de llenado y embasado de sólidos, utilizando sensores fotoeléctricos, ultrasónicos, capacitivos, encoders, galgas extensiométricas y brazos robóticos, para el laboratorio*. Latacunga, Ecuador.

- Petrella, R., & Tursini, M. (19 de Septiembre de 2008). An Embedded System for Position and Speed Measurement Adopting Incremental Encoders. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 44(5), 1436 - 1444.
- SANDOROBOTICS. (s.f.). SANDOROBOTICS. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de SANDOROBOTICS: <https://sandorobotics.com/producto/hr0711/?thc-month=202205>
- SANDOROBOTICS. (s.f.). SANDOROBOTICS. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de SANDOROBOTICS.
- SIEMENS. (Noviembre de 2009). SIMATIC S7 - 1200. Recuperado el 06 de Junio de 2019, de Controladores Modulares: [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF?fbclid=IwAR3pA9P4MBGikYzGdIH HQvxDKvsH0Xc9MpEPPM2S-44EIB2UZ61q-aM\\_--w](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF?fbclid=IwAR3pA9P4MBGikYzGdIH HQvxDKvsH0Xc9MpEPPM2S-44EIB2UZ61q-aM_--w)
- Siemens. (Abril de 2012). Siemens. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de SIMATIC HMI Paneles de operador: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/678/31032678/att\\_25341/v1/hmi\\_basic\\_panels\\_operating\\_instructions\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/678/31032678/att_25341/v1/hmi_basic_panels_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf)
- SIEMENS. (2016). *S7-1200 Motion Control V6.0 en el TIA Portal V14*. Alemania: Siemens AG.
- Siemens. (06 de Marzo de 2019). Siemens. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de Siemens: <https://support.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?format=pdf&mlfbs=6AV6647-0AC11-3AX0&language=en&caller=SIOS>
- Vallejo, H. (2019). PLC Los Controladores Lógicos Programables. *Saber Electrónica*, 166, 3-11.

# **ANEXOS**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA  
CARRERA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas Alejandra Estefanía Carrillo Sánchez y Susan Dayanara Zurita Tapia

En la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de Julio del 2019.

Aprobado por:

Ing. Edwin Pruna  
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Amparo Meythaler  
DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca  
SECRETARIO ACADEMICO

