



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL MOVIMIENTO GANTRY DE UNA GRÚA
PORTUARIA STS MEDIANTE PLC Y HMI.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: TIMOTHY ROBERTO GALARZA MACIAS
JESTIN ALFREDO RAMOS PADILLA

TUTOR: ING. LARCO TORRES VÍCTOR DAVID, MSc

Guayaquil – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Timothy Roberto Galarza Macias con documento de identificación N° 0750584047 y
Jestin Alfredo Ramos Padilla con documento de identificación N° 0202188850; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o
parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 14 de febrero del año 2025

Atentamente,



Timothy Roberto Galarza Macias
0750584047



Jestin Alfredo Ramos Padilla
0202188850

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Timothy Roberto Galarza Macias con documento de identificación N° 0750584047 y Jestin Alfredo Ramos Padilla con documento de identificación N° 0202188850, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño y simulación del movimiento gantry de una grúa portuaria STS mediante PLC y HMI.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 14 de febrero del año 2025.

Atentamente,

Timothy Roberto Galarza Macias
0750584047

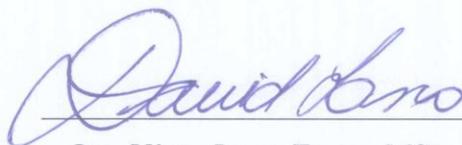
Jestin Alfredo Ramos Padilla
0202188850

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Víctor David Larco Torres con documento de identificación N° 0923270136, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño y Simulación del movimiento gantry de una grúa portuaria STS mediante PLC y HMI, realizado por Timothy Roberto Galarza Macias con documento de identificación N° 0750584047 y Jestin Alfredo Ramos Padilla con documento de identificación N° 0202188850, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 14 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Ing. Víctor Larco Torres, MSc

0923270136

DEDICATORIA

*A Dios, por darme la vida, la fuerza y la sabiduría para seguir adelante. En cada
obstáculo y en cada logro, Su amor ha sido mi mayor refugio.*

*A mis padres, por su amor infinito, su sacrificio y por enseñarme con su ejemplo que los
sueños se construyen con esfuerzo y dedicación. Gracias por creer en mí incluso cuando yo
dudé.*

*A mis hermanos, por ser mi apoyo incondicional, por cada palabra de aliento, por cada
risa compartida y por recordarme siempre que pase lo que pase su amor y su apoyo siempre
estarán conmigo.*

*A mis abuelos, por su cariño, sus enseñanzas llenas de sabiduría y por ser un pilar de
amor y fortaleza en mi vida.*

*Este logro es tan mío como de ustedes. Con todo mi amor y gratitud, les dedico este
trabajo.*

Timothy Roberto Galarza Macias

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis amados padres, hermanas y a mis sobrinos. A mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo y consejos que me han servido de guía en cada paso de mi vida. Su apoyo y motivación ha sido mi base para seguir adelante y conseguir mis logros.

A mi hermana, por estar siempre a mi lado, que a pesar de la distancia siempre me brinda su apoyo.

A mi hermana que partió, cuya fortaleza sigue viviendo en mi corazón. Su recuerdo es mi inspiración y me da fuerzas para seguir adelante cada día.

A mis sobrinos, con la esperanza de que este logro les motive a seguir sus sueños.

A mi tía, por su cariño, sus palabras de aliento y por abrirme las puertas de su hogar, brindándome un espacio de apoyo y tranquilidad en cada momento que lo he necesitado.

A cada uno de ustedes, gracias por apoyarme en este largo camino.

Jestin Alfredo Ramos Padilla

AGRADECIMIENTO

*A Dios, por guiar mi camino, darme fuerzas y permitirme alcanzar este sueño.
A mis padres, por su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional, que han sido el pilar
fundamental en cada paso de este logro. Sin ustedes, nada de esto sería posible.*

Timothy Roberto Galarza Macias

AGRADECIMIENTO

*A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, brindándome sabiduría
y perseverancia para superar cada desafío.*

*A mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo y sacrificio, que han sido el pilar
fundamental en mi vida. A mis hermanos, por su apoyo constante y por estar siempre a mi lado
en cada momento.*

*A mi familia y amigos, quienes con sus palabras de aliento y compañía hicieron que este
proceso fuera más llevadero.*

*A cada persona que, de una u otra manera, ha dejado una huella en mi formación,
brindándome enseñanzas y motivación para alcanzar esta meta.*

Gracias a todos por ser parte de este logro.

Jestin Alfredo Ramos Padilla

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DEL PROYECTO	TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
2025	TIMOTHY ROBERTO GALARZA MACÍAS JESTIN ALFREDO RAMOS PADILLA	ING. LARCO TORRES VÍCTOR DAVID, MGTR	DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL MOVIMIENTO GANTRY DE UNA GRÚA PORTUARIA STS MEDIANTE PLC Y HMI.

En este Trabajo de Titulación se diseña y simula el movimiento Gantry de una grúa portuaria STS utilizando PLC y HMI, el cual es un sistema en el que se proyecta el movimiento Gantry controlado por medio de un sistema de control, también estudia la problemática cuando la grúa inicia el proceso de desembarque en el puerto. Los tiempos de ejecución del movimiento Gantry presenta retrasos en las condiciones de operación de la grúa y necesita de la intervención humana, es por ello que el uso de un control adecuado para el desplazamiento requiere que la programación sea capaz de regular la velocidad de acuerdo al peso que tiene la grúa, permitiendo así que el motor en condiciones de trabajo no presente esfuerzo o fallos en el motor durante la ejecución del movimiento. El uso de un encoder incremental, como parte de controlar el movimiento, ofrece una mejora innovadora que permite solucionar significativamente la problemática de este proceso. El desarrollo del sistema para controlar el movimiento se llevará a cabo en varias etapas, incluyendo una fase de investigación bibliográfica y la realización de pruebas iniciales de simulación, La configuración del Encoder Incremental junto con el Variador de Frecuencia permiten evaluar el comportamiento final del sistema simulado.

Las etapas a desarrollar van desde la programación en TIA Portal para la simulación del movimiento Gantry de la grúa obteniendo una visión detallada de cómo los sistemas de control y monitoreo pueden ser integrados para mejorar procesos y garantizar la eficiencia en entornos portuarios.

Palabras Clave: Movimiento Gantry, PLC, Encoder Incremental, Variador de Frecuencia, TIA Portal

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PRJ. DIRECTOR	SUBJECT
2025	TIMOTHY ROBERTO GALARZA MACÍAS JESTIN ALFREDO RAMOS PADILLA	ING. LARCO TORRES VÍCTOR DAVID, MGTR	“DESIGN AND SIMULATION OF THE GANTRY MOVEMENT OF A STS HARBOR CRANE USING PLC AND HMI”

In this graduation work, the gantry movement of an STS port crane is designed and simulated using PLC and HMI, which is a system in which the gantry movement is projected and controlled by means of a control system, it also studies the problems when the crane starts the disembarkation process in the port. The execution times of the gantry movement presents delays in the operating conditions of the crane and needs human intervention, that is why the use of an adequate control for the movement requires that the programming is able to regulate the speed according to the weight that has the crane, thus allowing the engine in working conditions does not present effort or failures in the engine during the execution of the movement. The use of an incremental encoder, as part of the motion control, offers an innovative improvement that significantly solves the problem of this process.

The development of the system to control the movement will be carried out in several stages, including a phase of bibliographic research and the realization of initial simulation tests. The configuration of the incremental encoder together with the frequency inverter allows to evaluate the final behavior of the simulated system.

The stages to be developed go from programming in TIA Portal to the simulation of the gantry movement of the crane obtaining a detailed view of how control and monitoring systems can be integrated to improve processes and ensure efficiency in port environments.

Key words: Gantry Motion, PLC, Incremental Encoder, Variable Frequency Drive, TIA Portal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	4
FUNDAMENTO TEÓRICO	5
TIA Portal.....	5
PLC S71200	6
HMI (Human Machine Interface).....	7
Variador de Frecuencia Sinamics G120.....	8
Motor Trifásico.....	9
Encoder Incremental.....	10
Sistema de Control	11
Grúa STS	12
MARCO METODOLÓGICO.....	13
Reconocimiento del modelo de PLC con entradas de contadores rápidos.....	14
Interfaz de inicio Software TIA Portal para la configuración del proyecto	15
Creación del proyecto e identificación del hardware	16

Selección de dispositivos y modelos	16
Declaración de bloques para la programación del proyecto.....	17
Bloque de Organización (OB)	18
Bloque de función (FB)	18
Bloque de Datos (DB)	19
Programación en el bloque main del software TIA Portal	19
Inicio del sistema.....	19
Control de movimiento Fijo mediante selectores	22
Uso del encoder Incremental	25
Aplicación del Variador de frecuencia G120	29
Ciclo de interrupción para el bloque PID	32
Bloque de almacenamiento de datos	32
Pruebas de la programación para el control de posición.....	33
ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
Establecer comunicación con TIA Portal y el Variador de Frecuencia G120.....	36
Sintonización del bloque PID.....	37
Pantalla HMI de control	38
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	41
PRESUPUESTO	42
CONCLUSIONES	43

RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	45
ANEXOS	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Software TIA Portal</i>	5
Figura 2. <i>PLC Siemens-Compacto</i>	6
Figura 3. <i>HMI Basic Panel</i>	7
Figura 4. <i>Variador de Frecuencia G120</i>	8
Figura 5. <i>Motor Trifásico</i>	9
Figura 6. <i>Encoder Incremental</i>	10
Figura 7. <i>Sistema de Control PID</i>	11
Figura 8. <i>Grúa Portuaria STS</i>	12
Figura 9. Diagrama de flujo de las etapas para simular el movimiento Gantry.....	14
Figura 10. Descripción general de las características del PLC.....	15
Figura 11. Reconocimiento para inicializar el programa.....	16
Figura 12. Vista previa de la interfaz de TIA Portal.....	17
Figura 13. Bloques de programación en TIA Portal.....	18
Figura 14. Organización de los bloques de programación.....	19
Figura 15. Diagrama ladder para control de grúa.....	20
Figura 16. Ejecución de movimientos.....	21
Figura 17. Información sobre el estado del movimiento.....	21
Figura 18. Proceso de normalizado y escalado.....	22
Figura 19. Control de movimiento a partir de una velocidad fija.....	23
Figura 20. Control de movimiento de tipo manual.....	23
Figura 21. Control de cambio de velocidad.....	24
Figura 22. Transferencia de datos de las lecturas del encoder incremental.....	25
Figura 23. Obtención de RPM a través de los pulsos del encoder.....	26

Figura 24. Obtención de la distancia a través de los pulsos del encoder	27
Figura 25. Bloque de control HSC.....	28
Figura 26. Bloque de control HSC.....	29
Figura 27. Bloque de control para el variador G120	31
Figura 28. Bloque PID_Compact.....	32
Figura 29. Variables de control del sistema.....	33
Figura 30. Accionamiento de control del Variador de Frecuencia	34
Figura 31. Inicialización del bloque PID	35
Figura 32. Comunicación Profinet para el Variador de Frecuencia G120.....	36
Figura 33. Configuración y ajuste del controlador PID en TIA Portal	37
Figura 34. Interfaz HMI para el control del movimiento Gantry	38
Figura 35. Simulación del movimiento Gantry de una grúa STS	39
Figura 36. Supervisión de operación del controlador PID.....	40
Figura 37. Conexión de entradas digitales del PLC.....	48
Figura 38. Estructura para acople entre ejes	49
Figura 39. Conexión Estrella para el arranque del motor trifásico	50
Figura 40. Conexión y prueba para el Variador de Frecuencia G120	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Cronograma del Trabajo de Titulación</i>	41
Tabla 2. <i>Presupuesto del Trabajo de Titulación</i>	42

INTRODUCCIÓN

En el ámbito portuario, las grúas STS (Ship-to-Shore) desempeñan un papel fundamental en las operaciones de carga y descarga de contenedores desde los buques, facilitando la conexión entre el transporte marítimo y terrestre. Estas grúas son componentes esenciales para el funcionamiento eficiente de los terminales portuarios, donde la precisión y el control en sus movimientos son factores clave para mantener la competitividad y reducir los tiempos operativos. Sin embargo, su complejidad técnica demanda un conocimiento profundo en automatización industrial y tecnologías de control, como los Controladores Lógicos Programables (PLC) y las Interfaces Hombre-Máquina (HMI).

El presente Trabajo de Titulación tiene como objetivo principal simular el movimiento Gantry de una grúa portuaria STS mediante un PLC y una HMI. Esta simulación busca reproducir de forma detallada y precisa los desplazamientos de la grúa, incluyendo los mecanismos de control necesarios y la visualización de sus parámetros operativos. Para ello, se abordan aspectos como el diseño de la programación del movimiento Gantry en el PLC, la creación de pantallas interactivas en la HMI, y la implementación de este sistema en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial, proporcionando una herramienta práctica para el aprendizaje.

Este trabajo no tiene como finalidad ser implementado en un entorno real, sino ofrecer una oportunidad para desarrollar habilidades técnicas y teóricas en el campo de la automatización. A través de este enfoque, se busca no solo optimizar procesos industriales, sino también enriquecer la formación académica de los estudiantes, dotándolos de competencias necesarias para enfrentar los desafíos de los sistemas industriales modernos.

PROBLEMA

Los terminales portuarios desempeñan un rol fundamental dentro de la red logística global. Las infraestructuras utilizadas en los muelles del terminal son las Grúas STS, estas son indispensables porque manejan una gran cantidad de contenedores al momento de realizar la desembarcación en el puerto. Durante los procesos operativos se logra identificar que uno de los procesos de operación en la Grúa STS es prolongado por los tiempos de espera al momento de realizar el movimiento Gantry, afectando la eficiencia y productividad del terminal portuario (Bautista Díaz & Correa Méndez, 2024).

La actividad comercial de Ecuador, impulsada a través de los terminales portuarios, representa un papel clave en el crecimiento y fortalecimiento de su economía. En este contexto, el Terminal Portuario de Guayaquil (TPG) destaca significativamente, debido a que el comercio exterior se realiza por vía marítima. Estas embarcaciones son descargadas mediante las Grúas STS que operan en el puerto, resaltando que deben llevar un control óptimo del movimiento Gantry sin interrupciones (CAMAE, 2023).

En este puerto, la mercancía se almacena en contenedores que son trasladados al centro logístico del terminal. Dentro de las operaciones portuarias, se emplean varios tipos de grúas, a pesar de ello la grúa STS es la que más se utiliza para el manejo de contenedores, ya que se encarga de iniciar el proceso de descarga de las embarcaciones que arriban al puerto (CAMAE, 2024).

En la asignatura de Automatización Industrial de la Carrera de Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana de la Sede Guayaquil, no se tiene la descripción y simulación del proceso de funcionamiento de una grúa portuaria (STS) esto se corrobora al evidenciar que en el repositorio institucional de la Universidad no hay un trabajo de titulación referente a este proceso.

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo tiene una importancia académica, no solo por abordar un tema clave en la automatización industrial, sino también por su importancia dentro del contexto académico de nuestra universidad. La monitorización de los movimientos y valores operativos de una grúa portuaria STS mediante el uso de PLC y HMI es un paso fundamental para comprender y optimizar el funcionamiento de sistemas industriales complejos, como los utilizados en el sector portuario. Este enfoque ofrece una visión detallada de cómo los sistemas de control industrial pueden ser mejorados mediante un monitoreo constante, contribuyendo a una mejor toma de decisiones y a la optimización de los procesos operativos.

Es fundamental que los estudiantes comprendan los sistemas de control y seguridad de la grúa, los cuales se desarrollan mediante programación y automatización. Mediante el monitoreo continuo de parámetros como la velocidad, la posición y la carga, se puede asegurar un mantenimiento predictivo y optimizar los procesos operativos. Este enfoque no solo contribuye a mejorar la eficiencia en el sector portuario, sino que también representa una valiosa oportunidad de aprendizaje práctico para los estudiantes de ingeniería y automatización, enriqueciendo su formación académica.

OBJETIVOS

Objetivo general

Simular el movimiento Gantry de una grúa portuaria STS mediante PLC y una interfaz HMI

Objetivos específicos

- Diseñar la programación del movimiento Gantry de una grúa portuaria STS en el PLC considerando los sensores y actuadores dentro del proceso.
- Diseñar las pantallas del proceso de movimiento Gantry de la grúa en HMI.
- Implementar la programación del PLC y HMI en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial.

FUNDAMENTO TEÓRICO

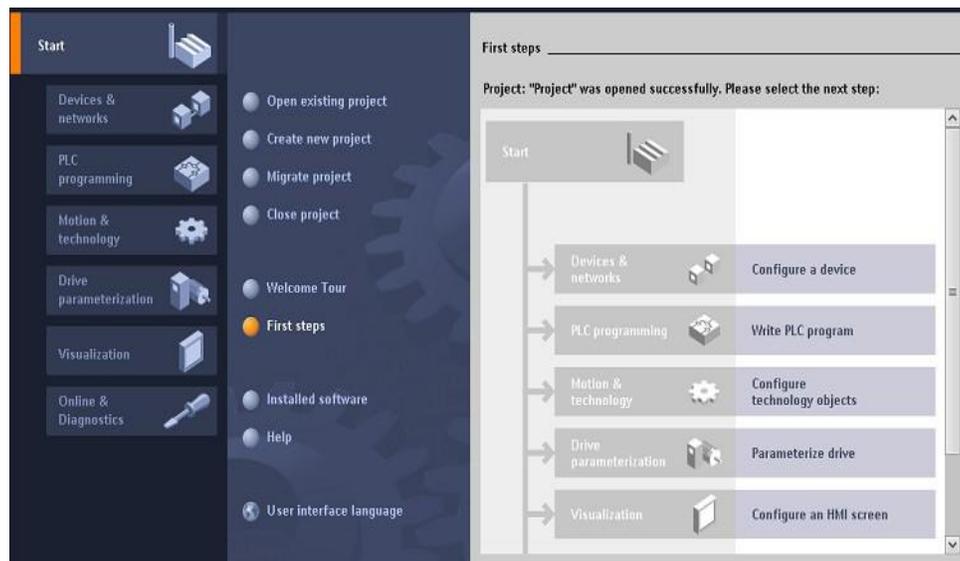
TIA Portal

TIA Portal V18 es un software de automatización industrial de Siemens, que posee diversas herramientas para el diseño y programación de procesos industriales. Una de sus características incluye una interfaz que permite sincronizarse con diferentes dispositivos de automatización, permitiendo su conexión e integración, así como mejoras en los procesos y conectividad por medio de protocolos de red (Villalta Chiquito & Lucas Pacheco, 2024).

El software TIA Portal permite crear bloques de programación por medio del lenguaje LAD, FBD, STL y SCL que contienen algoritmos que permiten regular variables para reducir tiempos de desarrollo en un proceso industrial (Salazar & Arango, 2017). Como se muestra en la Figura 1, TIA Portal permite configurar y seleccionar dispositivos para realizar sistemas de control.

Figura 1.

Software TIA Portal



Nota. Entorno de programación a nivel industrial ideal para controlar procesos. Fuente: (SIEMENS, 2024)

PLC S71200

Un autómata programable dentro de la pirámide de la automatización es un dispositivo a nivel de control diseñado específicamente para su uso en entornos industriales. Su función principal es gestionar, controlar y registrar procesos, asegurando un rendimiento óptimo y versátil capaz de cumplir diversas necesidades que requiera en un proceso de producción, gracias a su robustez para operar entornos industriales exigentes. Estos equipos se caracterizan por su alta capacidad de procesamiento para manejar datos e interactuar con dispositivos externos, lo que les permite manejar operaciones complejas en tiempo real (Zapata, Topón-Visarrea, & Tipán, 2021). En la Figura 2, se muestra un ejemplo de un modelo compacto de PLC Siemens, ampliamente utilizado por su versatilidad y robustez en aplicaciones industriales.

Figura 2.

PLC Siemens-Compacto



Nota. PLC s71200 equipo compacto para realizar aplicaciones industriales. Fuente: (SIEMENS, 2024)

HMI (Human Machine Interface)

HMI cumple la función de otorgar una interfaz gráfica de un sistema de automatización o de control facilite la supervisión del proceso o el estado de trabajo de una máquina representándolo visualmente. HMI en conjunto con el PLC permite procesar entradas por parte del operador para llevar a cabo el proceso, con la posibilidad de observar el comportamiento de trabajo de cada dispositivo por medio de gráficas (Rosas, 2018). Como se observa en la Figura 3, el HMI se encarga de proporcionar una interfaz.

Figura 3.

HMI Basic Panel



Nota. Interfaz operador-máquina que representa los sistemas de control. Fuente: (SIEMENS, 2024)

Variador de Frecuencia Sinamics G120

El Variador de Frecuencia SINAMICS G120 es un dispositivo empleado para controlar de manera precisa y regular la velocidad del motor trifásico. Su uso es esencial, debido a que proporcionan al motor únicamente el voltaje necesario para cumplir con la velocidad que se requiera (Sánchez Tapia & Sichiqli Velecela, 2022).

El Variador de Frecuencia SINAMICS G120 está conformado por dos módulos operativos:

Unidad de Control (CU): Administra el Módulo de Potencia y facilita la comunicación con un controlador.

Módulo de Potencia (PM): Encargado de suministrar la energía al motor trifásico.

Adicionalmente el VFD G120 cuenta con un panel que facilita la configuración de los valores de funcionamiento del motor y el diagnóstico de fallas (SIEMENS, 2024). En la Figura 4 se observa las partes que conforman al variador de frecuencia SINAMICS G120.

Figura 4.

Variador de Frecuencia G120



Nota. Variador de Frecuencia usado para la regular la velocidad en motores trifásicos. Fuente: (Vignola, 2024)

Motor Trifásico

El Motor Trifásico de inducción es un tipo de motor que trabaja con corriente alterna, la cual funciona mediante un campo magnético producido al momento de ser energizado por una corriente trifásica. Este procedimiento se realiza mediante inducción electromagnética, siendo capaz de ser utilizado en aplicaciones industriales para el control de arranque y parada (news, 2021).

Por lo general, los motores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica, siendo así compatible con varios tipos de sistemas que requieran el trabajo de un motor trifásico (Farina, 2018). La Figura 5 presenta una representación del motor eléctrico de tres fases

Figura 5.

Motor Trifásico



Nota. Motor trifásico de inducción, utilizado comúnmente en aplicaciones industriales. Fuente: (ABB)

Encoder Incremental

Un codificador incremental es un sensor que convierte el movimiento rotacional con respecto a un eje en señales de pulsos y así obtener valores deseados. Estas señales consisten en generar cierta cantidad de pulsos por cada giro completo del eje. Sus salidas vienen dadas por tres canales, los cuales son (A, B, Z) (DYNAPAR, 2018).

La aplicación de un Encoder incremental es transformar el movimiento mecánico del giro de su eje de un motor y transformarlo en señales digitales en forma de pulsos. Dichos pulsos pueden ser interpretados y utilizados por un controlador para realizar controles en retroalimentación de velocidad (Sebastián Narváez, 2019). En la figura 6 se muestra el encoder incremental.

Figura 6.

Encoder Incremental



Nota. Encoder incremental óptico utilizado para la medición de posición y velocidad en sistemas que requieran un control de movimiento. Fuente: (AUTONICS, 2024)

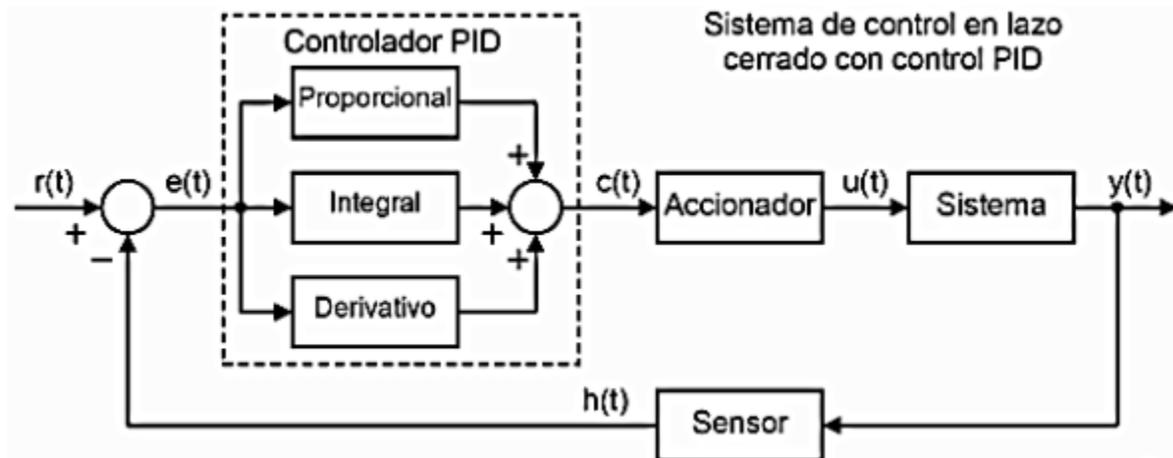
Sistema de Control

Un sistema de control PID es un modelo utilizado para controlar un sistema dinámico, manteniendo una sola variable del proceso permitiéndole alcanzar una salida específica con respecto al valor deseado. Este tipo de controlador se basa en tres componentes fundamentales: la acción Proporcional, la Integral y la Derivativa, las cuales trabajan en conjunto para optimizar el comportamiento del sistema (PICUINO, 2024).

Un sistema de control como lo es PID permite corregir errores en el sistema con retroalimentación, ajustando regularmente la señal enviada al control para lograr estabilidad y precisión deseada en su funcionamiento (Araujo Sánchez & Sanaguano Pincay, 2020). A continuación, se presenta en la Figura 7 el funcionamiento de un controlador PID.

Figura 7.

Sistema de Control PID



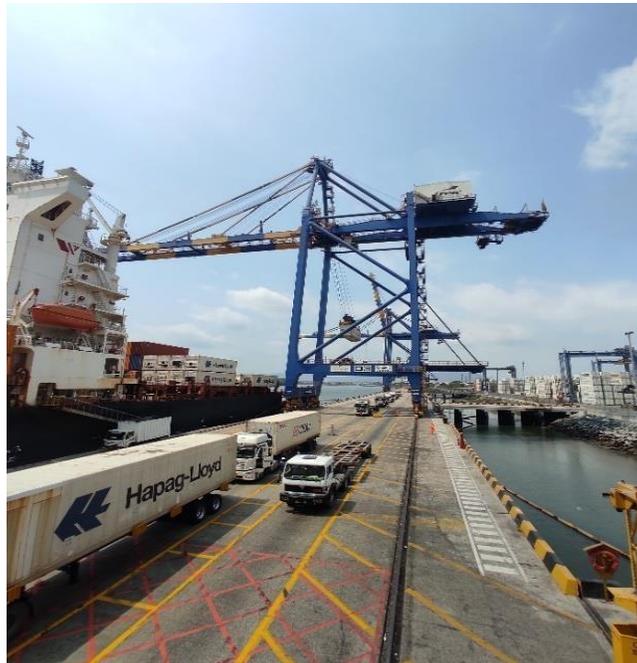
Nota. Diagrama de un controlador PID en lazo cerrado. La señal de error se calcula a partir de la referencia y salida del sistema. Fuente: (Araujo Sánchez & Sanaguano Pincay, 2020)

Grúa STS

La grúa STS es un tipo de grúa portuaria instalada sobre rieles en el muelle y alimentada por una fuente de energía externa, la cual le permite ubicarse en la posición deseada por el operador. Esta grúa cuenta con 16 motores eléctricos: 8 identificados del lado tierra y 8 en el lado agua, los cuales facilitan su desplazamiento durante el desembarque de los contenedores, trasladándolos de un punto a otro dentro de la posición permitida por el muelle (Bou Porta, 2018). Tal como se ilustra en la Figura 8, la grúa STS presenta una estructura funcional y adaptable para su operación.

Figura 8.

Grúa Portuaria STS



Nota. Grúa STS permite la carga y descarga de contenedores realizando el movimiento Gantry.

MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo de este Trabajo de titulación utilizará una metodología investigativa y experimental, las cuales se integran de manera complementaria para la obtención de resultados esperados y conclusiones acertadas del proceso. Inicialmente, se utiliza una metodología investigativa, que consiste en la búsqueda de información acerca del movimiento Gantry en una grúa STS y cuáles son los factores que intervienen en este proceso. Este enfoque permite establecer una base teórica acerca de que componentes conforman para lograr el movimiento Gantry. Proporcionando los conceptos previos necesarios para el diseño funcional del sistema.

Al desarrollarse, este análisis se mezcla con la metodología experimental que consiste en realizar pruebas en el laboratorio, la cual toma importancia en la selección y disposición de los componentes. Aquí se ejecutan pruebas para comprobar la correcta combinación de los elementos del Trabajo de Titulación, asegurando su funcionamiento apropiado. La experimentación es fundamental para identificar los errores y realizar correcciones necesarias antes de llegar a las etapas finales. Además, permite evaluar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones de operación establecidas.

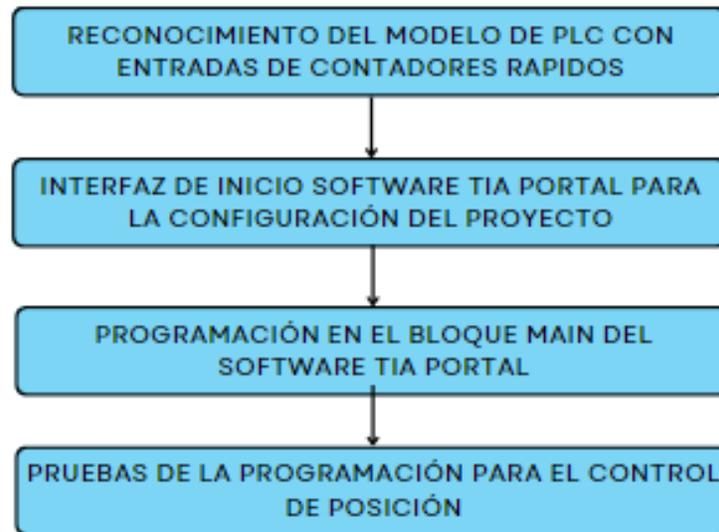
La elaboración de este Trabajo de Titulación se divide en las siguientes etapas:

- Reconocimiento del modelo de PLC compatible con el encoder incremental
- Interfaz de inicio software TIA Portal para la configuración del proyecto
- Programación en el bloque main del software TIA Portal
- Pruebas de la programación para el control de posición

En la Figura 9 se muestra las etapas de desarrollo para ejecutar el Trabajo de Titulación

Figura 9.

Diagrama de flujo de las etapas para simular el movimiento Gantry



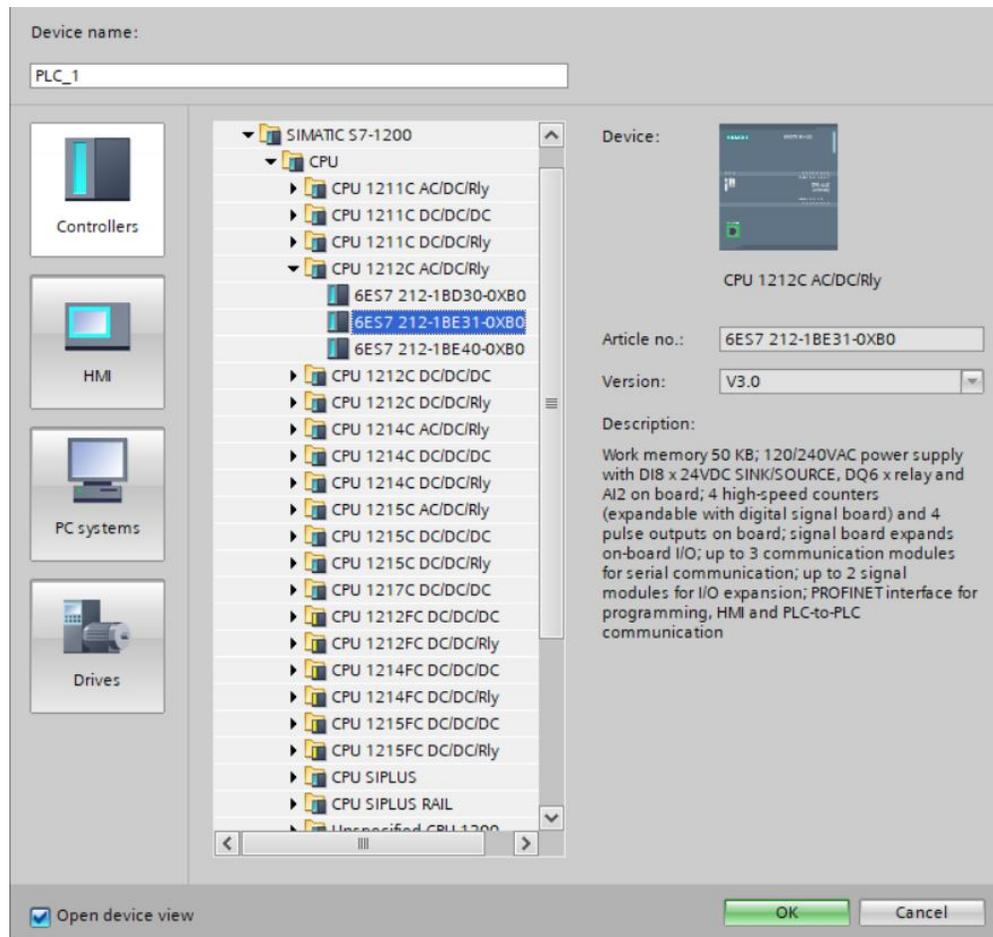
Nota. Explica las etapas a desarrollar el diseño y simulación del movimiento Gantry de una grúa STS.

Reconocimiento del modelo de PLC con entradas de contadores rápidos

En los laboratorios de automatización industrial II de la Universidad Politécnica Salesiana existe un módulo que cuenta con un PLC de tipo compacto. Dicho PLC compacto es de modelo S71200 1212C AC/DC/RLY. Es importante reconocer el modelo debido a que la información del equipo dentro del software de programación TIA Portal en la descripción del equipo menciona las características que cuenta el PLC. Entre ellas se menciona que cuenta con 4 contadores rápidos, permitiendo la conexión con el encoder incremental. En la Figura 10 se muestra las características y funcionalidades del PLC.

Figura 10.

Descripción general de las características del PLC



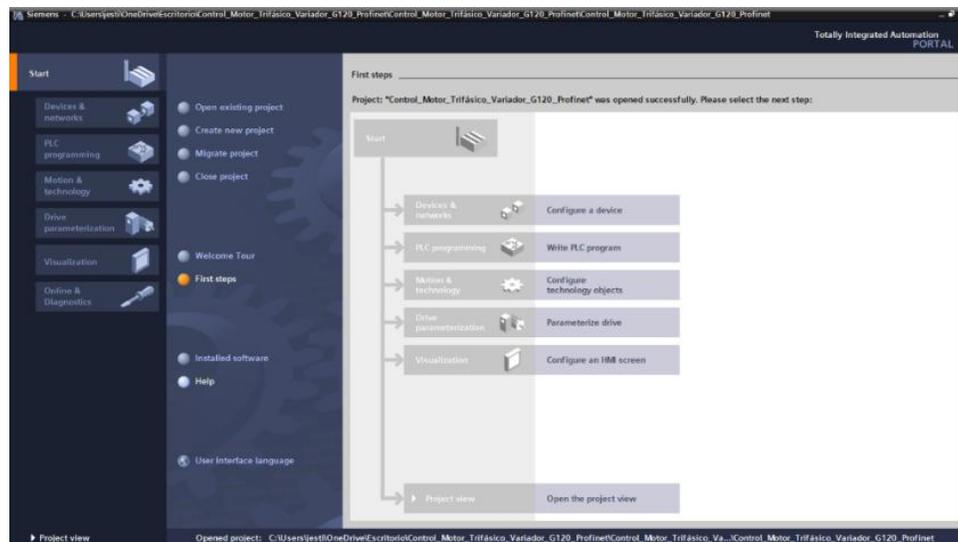
Nota. El software de automatización industrial TIA Portal permite observar las características de los equipos en base a sus versiones.

Interfaz de inicio Software TIA Portal para la configuración del proyecto

La interfaz de TIA Portal cuenta con diversas funciones que facilitan el desarrollo de proyectos de automatización, el programa cuenta con varias versiones. Para este Trabajo de Titulación la versión que se usará es TIA Portal V18, el cual cuenta con características y herramientas que permitirán desarrollar este proyecto, en la Figura 11 se describe el interfaz de inicialización del programa.

Figura 11.

Reconocimiento para inicializar el programa



Nota. El software muestra una pantalla inicial en donde permite realizar diferentes pasos previos a la programación.

Creación del proyecto e identificación del hardware

Al momento de iniciar el software, en el área del árbol de proyecto es el punto de partida para agregar dispositivos y diseñar la programación para el PLC. Esta área ofrece una interfaz sutil que permite a los usuarios las características que se pueden configurar en el entorno del software. A continuación, se describe el procedimiento a utilizar dentro del entorno virtual.

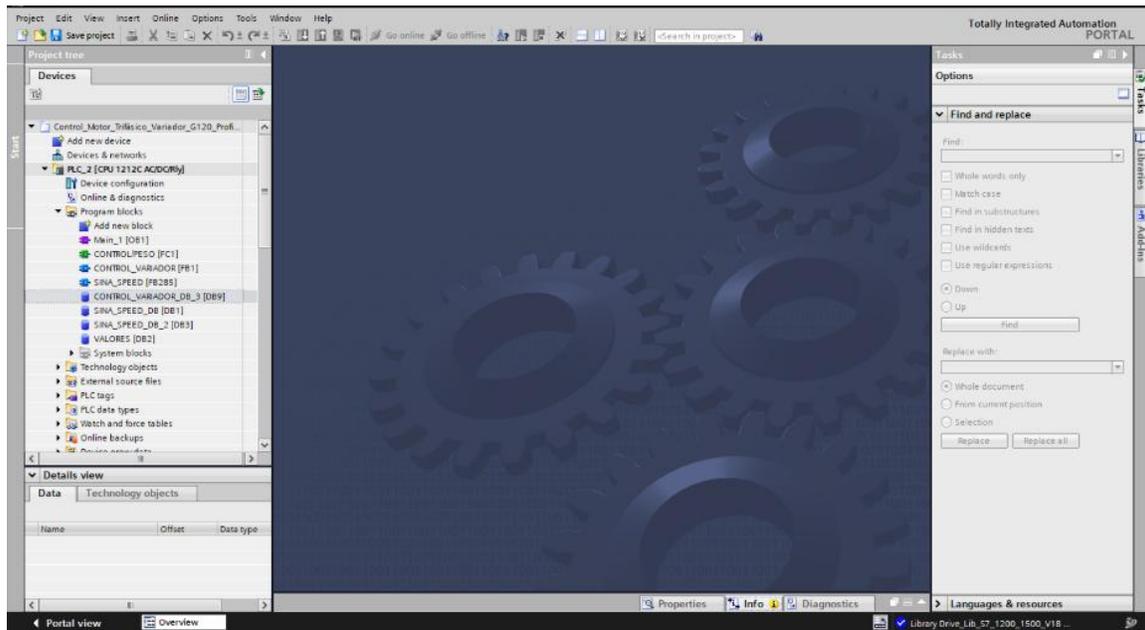
Selección de dispositivos y modelos

En la parte superior del árbol de proyectos, se agrega el dispositivo controlador PLC S71200, la pantalla HMI KTP700 Basic PN y por último el gestor Drive para controlar el Variador de Frecuencia G120, para este caso el uso de un PLC S7-1200 del modelo de CPU 1212C AC/DC/RLY. Es ideal usarlo porque cuenta con un contador de alta velocidad o HSC, lo cual es

una característica compatible para hacer el uso del encoder incremental, la Figura 12 muestra la selección del dispositivo controlador.

Figura 12.

Vista previa de la interfaz de TIA Portal



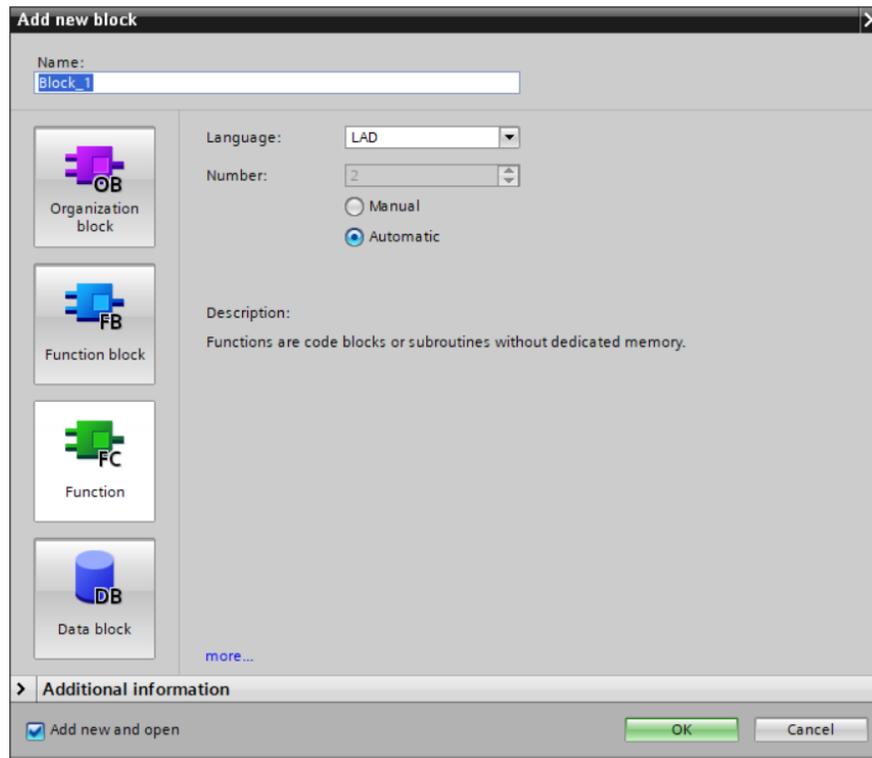
Nota. Interfaz principal del software de programación TIA Portal, mostrando los elementos disponibles para el usuario.

Declaración de bloques para la programación del proyecto

Dentro de la programación de bloques, el entorno virtual permite agregar bloques, los cuales son OB, FB y DB. Estos bloques permiten tener una estructura organizada al momento de implementar un sistema complejo. Al usar la programación en bloques específicos, se facilita la implementación de un control para lograr el movimiento Gantry, en la Figura 13 muestra los tipos de bloque que se puede utilizar en TIA Portal.

Figura 13.

Bloques de programación en TIA Portal



Nota. El software de automatización industrial permite distintos bloques de programación facilitando la estructuración del código.

Bloque de Organización (OB)

Para este proyecto se utilizó el bloque OB que controla la ejecución del programa PLC siguiendo cada ciclo creado en los network, este bloque OB también presentan otros eventos como lo es el ciclo de interrupción que se encarga de iniciar el programa en un periodo de intervalo de tiempo.

Bloque de función (FB)

El bloque de función es implementado en este proyecto porque almacena los datos entre ciclos del programa creado, estos datos son almacenados y enviados para controlar el variador de frecuencia

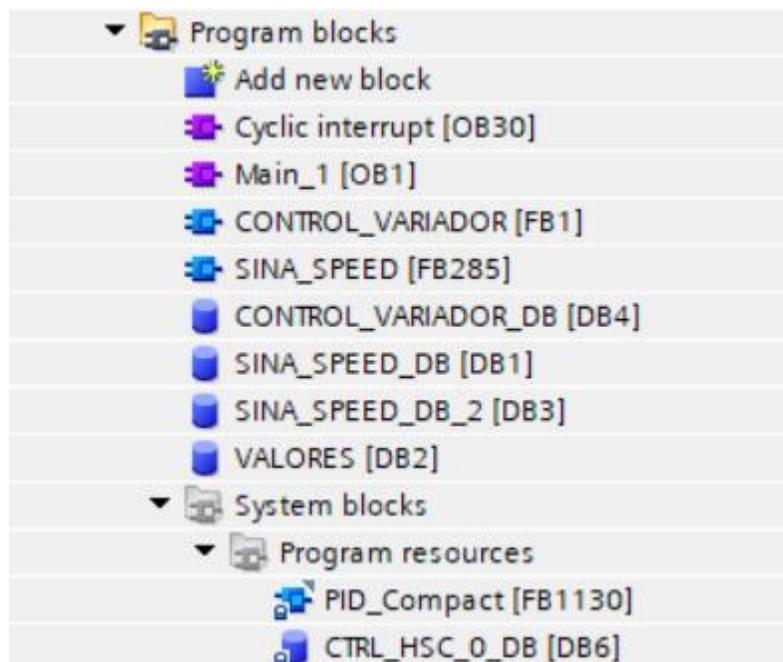
Bloque de Datos (DB)

El bloque de datos utilizado en la programación se utiliza para almacenar parámetros que deban mantenerse para configuraciones del sistema y estados operación estandarizados.

En la Figura 14 se muestra el uso de bloques de programación para el funcionamiento real del sistema.

Figura 14.

Organización de los bloques de programación



Nota. Presenta la distribución de los bloques de programa dentro de TIA Portal, con bloques específicos para el manejo de datos.

Programación en el bloque main del software TIA Portal

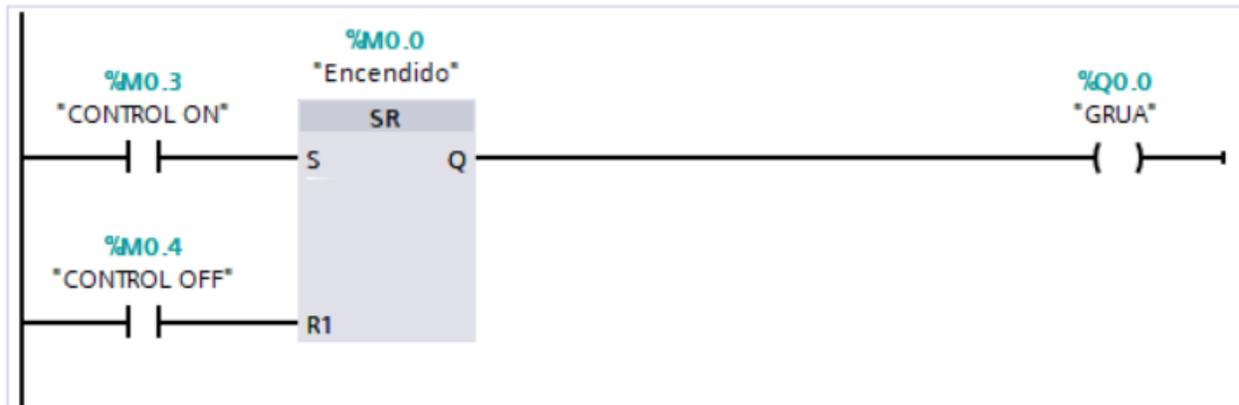
Inicio del sistema

Dentro del programa TIA Portal la programación inicia con un control de encendido y apagado por medio de marcas que son configuradas y accionadas desde una pantalla HMI mandando una señal a un bloque set/reset dando paso a la bobina de nombre grúa con el objetivo de dar un aviso por

medio de una luz piloto de que la grúa ha sido encendida, en la Figura 15 se muestra el inicio y arranque de todo el sistema.

Figura 15.

Diagrama ladder para control de grúa

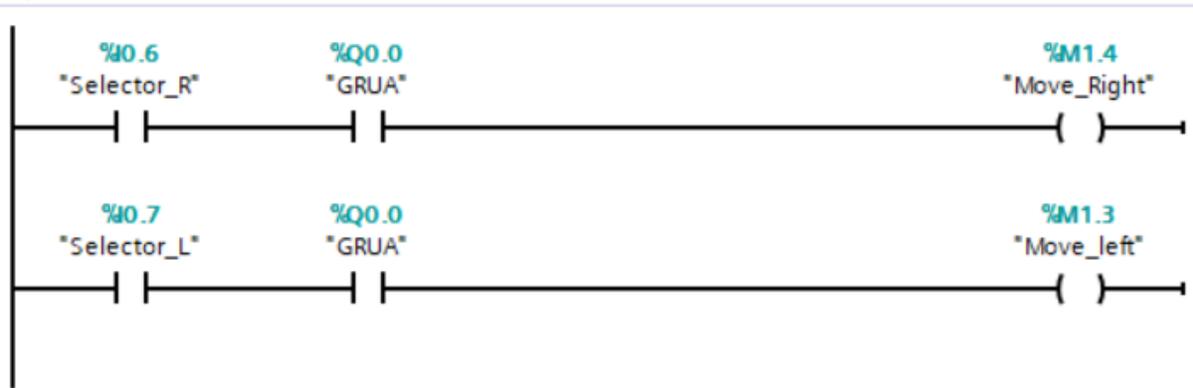


Nota. Representación en lenguaje Ladder de un sistema de control para una grúa.

Al momento de activarse la bobina llamada grúa, esta manda una señal hacia los contactos abiertos que tiene de nombre la misma variable de salida esperando a ser activado completamente por selectores de dos posiciones las cuales comandan el movimiento Gantry, teniendo una luz piloto de aviso en cuanto se ponga en marcha el selector hacia la izquierda o el selector hacia la derecha. En la Figura 16 se puede observar que variables de entradas se están utilizando para accionar el control del movimiento Gantry.

Figura 16.

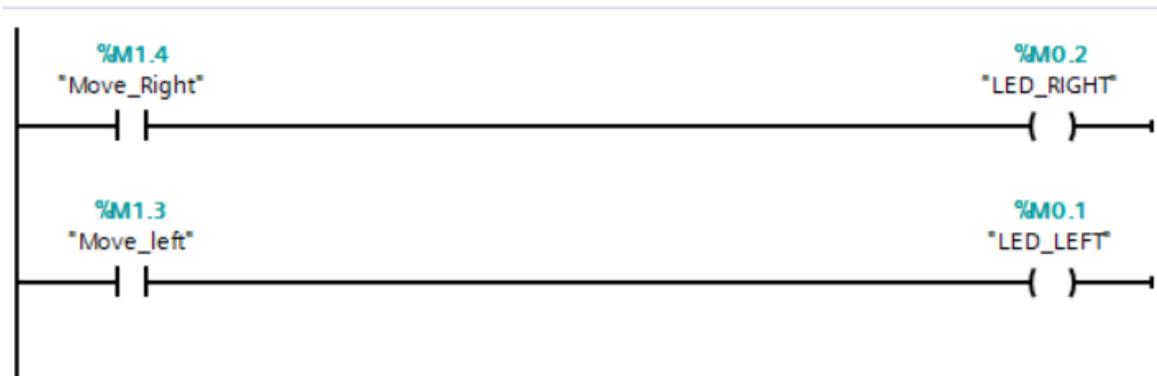
Ejecución de movimientos



Nota. Diagrama de control de grúa mostrando selectores para movimiento a la derecha e izquierda. Después de haber activado las bobinas de salida correspondiente a su movimiento, estas variables registradas en el software mandan a cerrar dos contactos dentro del software de acuerdo al movimiento deseado. Teniendo así marcas de salida dentro del software que son enviados a un panel HMI en donde simula la luz piloto que indica y representa cada dirección del movimiento Gantry simulado. En la Figura 17 se realiza la programación para que la ejecución sea enviada a una pantalla HMI.

Figura 17.

Información sobre el estado del movimiento



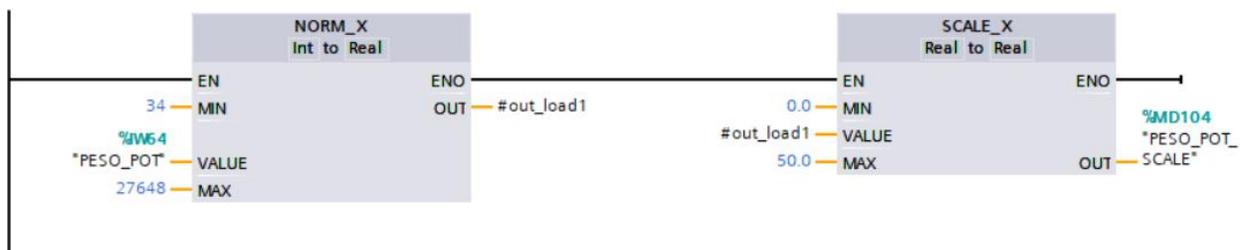
Nota. Salidas hacia las luces piloto que indica la dirección del movimiento.

Control de movimiento Fijo mediante selectores

El sistema de control del movimiento de la grúa constará por un movimiento fijo por medio de selectores que permite realizar el movimiento de la grúa de acuerdo a su condición de peso simulado a través de un potenciómetro en escala de 0 a 50, debido a que está es una señal analógica se debe utilizar en la programación bloques de normalizado y escalado para que sea interpretado por el PLC, en la Figura 18 se muestra cómo se utiliza la señal analógica del potenciómetro para simular el peso del sistema.

Figura 18.

Proceso de normalizado y escalado

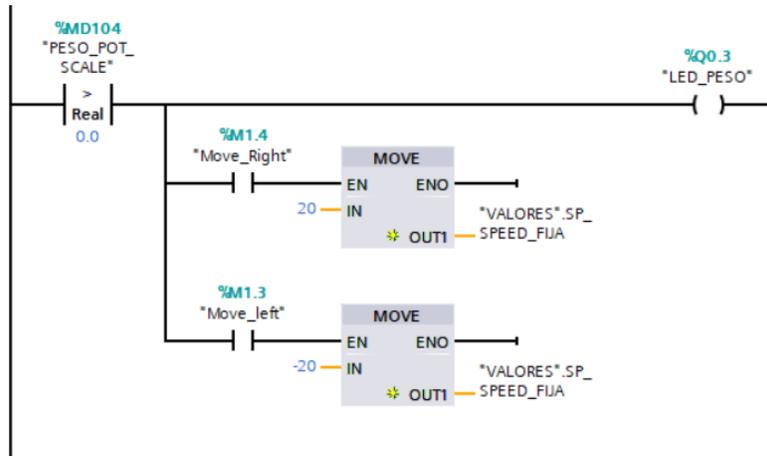


Nota. Transformación de la señal analógica del potenciómetro a través de los bloques de normalizado y escalado.

La operación del comparador permite habilitar el movimiento hacia la derecha e izquierda cuando se registre un peso. Por medio de esta señal el selector en donde en su primera posición envía una señal para dar paso a los movimientos de izquierda y derecha de acuerdo al porcentaje que se desee. En este caso se coloca que utilice el 20% de toda la velocidad del motor enviando este valor a la entrada del variador de frecuencia G120 para que este controle la velocidad del motor. En la Figura 19 se muestra cómo se realizó el control para el movimiento Gantry de manera manual.

Figura 19.

Control de movimiento a partir de una velocidad fija

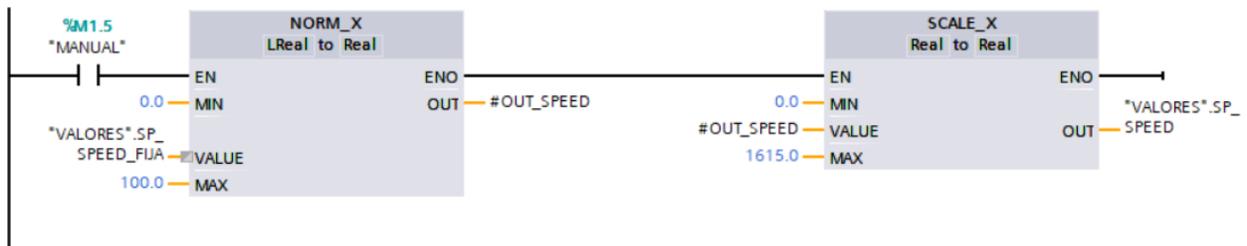


Nota. La activación del movimiento se envía valores de un porcentaje de velocidad.

Para este modo de operación se activa el contacto de nombre manual a través de la pantalla HMI para activar los bloques de normalizado y escalado, inicialmente la variable Speed Fija es enviada por el bloque DB, normalizando el valor de 0% a 100% y realizando un escalamiento de 0 a 1615 con respecto a las revoluciones máximas del motor, obteniendo así una salida que es controlada por el variador de frecuencia. En la Figura 20 se observa el control para el modo de operación manual.

Figura 20.

Control de movimiento de tipo manual

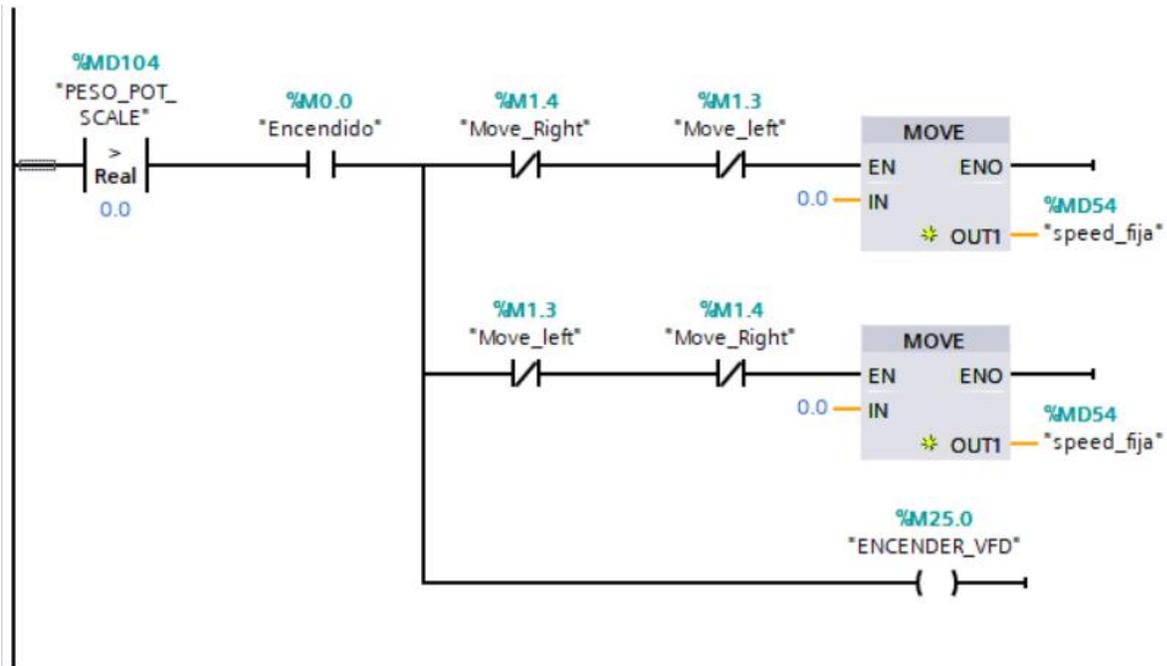


Nota. Muestra el proceso de control manual de velocidad, incluyendo la normalización y escalado de la señal de entrada.

De igual manera la operación del comparador cuando el peso sigue siendo mayor a cero se activa una salida que efectúa el encendido/apagado del variador de frecuencia por medio de la bobina Encender_VFD, y al mismo tiempo activa los contactos para dar paso a los selectores haciendo que los contactos cerrados se abran y estos envíen valores cuando el selector regresa a su posición inicial. Estos valores representan el 0% enviando a que se almacene en el DB y se envíe al variador de frecuencia haciendo que no se desee realizar el movimiento Gantry. En la Figura 21 muestra cómo se controla el envío de datos almacenadas en un bloque DB vinculado a las entradas del variador de frecuencia G120.

Figura 21.

Control de cambio de velocidad



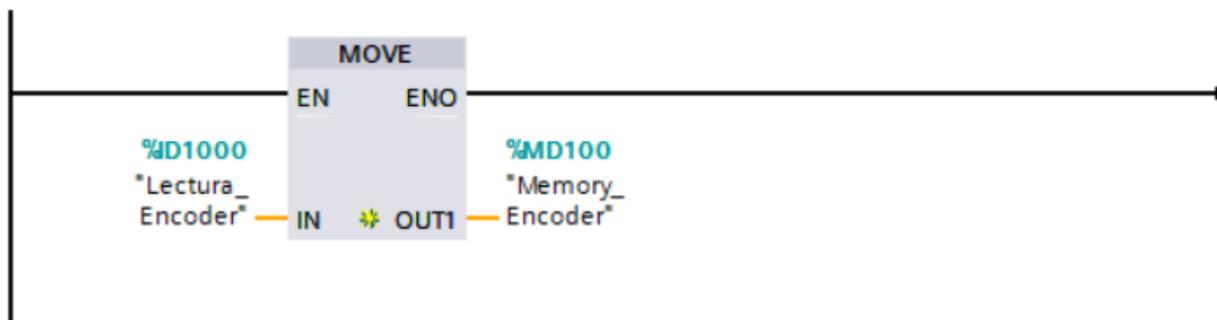
Nota. Lógica de control de movimiento y velocidad para detener el movimiento del sistema manual.

Uso del encoder Incremental

Para el uso del encoder incremental es necesario activar la configuración del contador rápido HSC que permite el PLC S71200, este es llamado por una dirección predeterminada que en este caso inicia con ID1000. Hecho esto el encoder incremental mostrará el valor de los pulsos enviados al PLC, por medio del bloque MOVE este recibe el dato y lo transfiere a una marca de salida de tipo Real. En la Figura 22 se observa el uso del bloque Move para convertir la variable UDINT a REAL.

Figura 22.

Transferencia de datos de las lecturas del encoder incremental



Nota. Network utilizado para transferir los pulsos del encoder a una variable de memoria.

De igual manera, se vuelve a utilizar la entrada que muestra el valor de los pulsos generados por el encoder enviados a un bloque DIV en el que se encargará de dividir los pulsos para 100 dando como respuesta la variable llamada RPM que representa la velocidad de giro del motor.

Por otro lado, el valor almacenado en la variable Memory Encoder es evaluado en dos condiciones de rango.

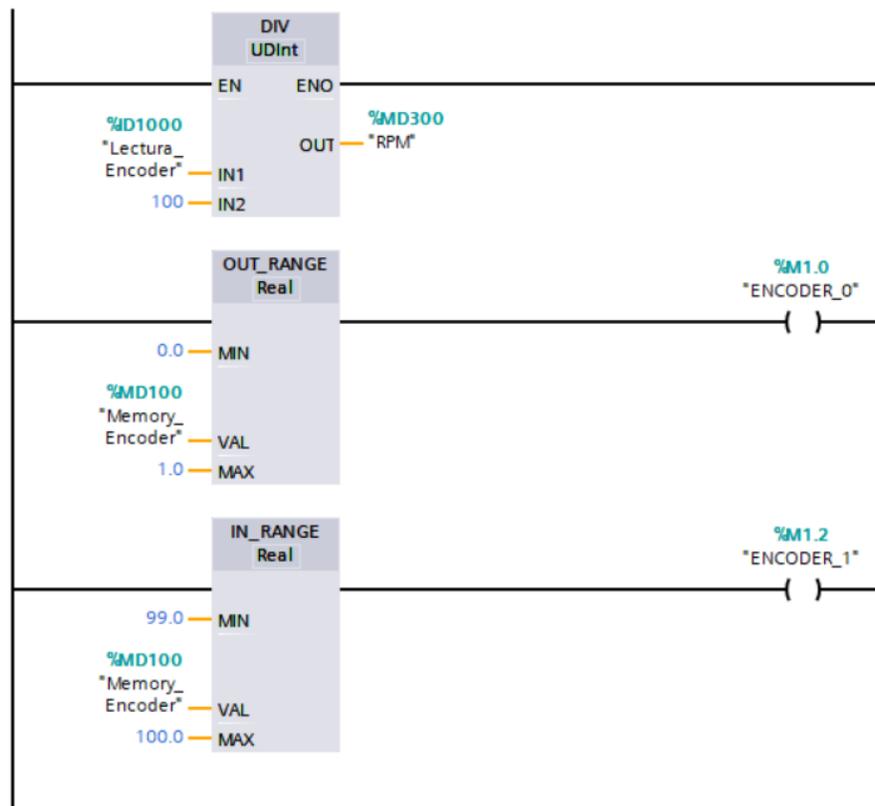
El primer bloque comprueba si la marca Memory Encoder está fuera de rango entre los valores de 0.0 a 1.0. Si esto ocurre se activa la marca de salida llamada Encoder_0.

Para la segunda condición el segundo bloque comprueba si la marca Memory Encoder está dentro del rango de 99.0 a 100.0. Si esto ocurre se activa la marca Encoder_1.

El uso de estos bloques de rango permite monitorear si el valor del encoder está fuera de un rango crítico o dentro de un umbral específico para control ciertos procesos en el sistema de control. En la Figura 23 se observa el uso de bloques para obtener la velocidad del motor y que estas se mantengan dentro de un rango de lectura del encoder incremental.

Figura 23.

Obtención de RPM a través de los pulsos del encoder



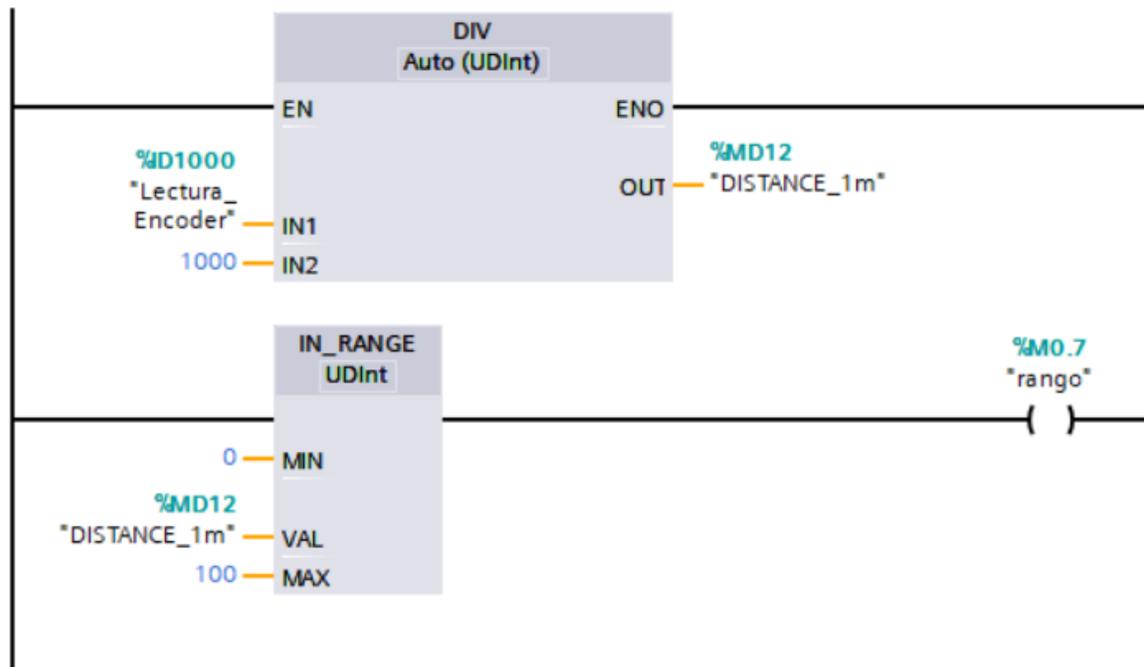
Nota. Muestra el proceso de conversión de la señal del encoder para calcular y mostrar las RPM.

De acuerdo a los valores que envía el encoder a las entradas digitales del PLC S71200 se utiliza esta lectura para obtener datos de distancia, es por eso que utilizando el bloque DIV utiliza la

lectura del encoder en la primera entrada y en la segunda entrada se coloca un valor constante que servirá como divisor, haciendo un registro de que cada mil pulsos otorgados por el encoder corresponderán a 1 metro de distancia, siendo este valor almacenado en una marca de memoria llamada “Distance_1m”, siendo útil para tener referencia el desplazamiento que realiza el eje del motor. En la Figura 24 se muestra el uso de los pulsos del encoder para obtener datos de referencia con respecto a la distancia.

Figura 24.

Obtención de la distancia a través de los pulsos del encoder



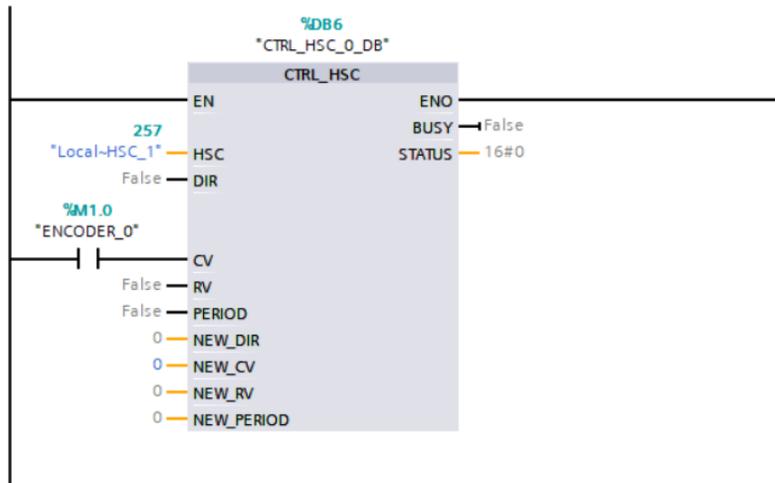
Nota. Proceso de cálculo de distancia a partir de la lectura del encoder, incluyendo que la distancia debe estar entre los rangos 0 y 100.

El uso del PLC S71200 cuenta con entradas de conteo rápido (HSC) que pueden operar en diferentes modos con frecuencia de conteo de hasta 100 KHz siendo útil para tener un control preciso al momento de efectuar la simulación del movimiento Gantry. Sabiendo que el PLC cuenta con estos contadores rápidos, es esencial el uso del bloque CTRL_HSC en donde la entrada HSC

se especifica que contador rápido habilitado del PLC que se está utilizando. Por otro lado, se utiliza un contacto abierto llamado Encoder_0, este se cierra si los pulsos del encoder están fuera de rango del conteo, en la Figura 25 se muestra el uso del bloque CTRL_HSC para utilizar adecuadamente el conteo del pulso del encoder incremental.

Figura 25.

Bloque de control HSC

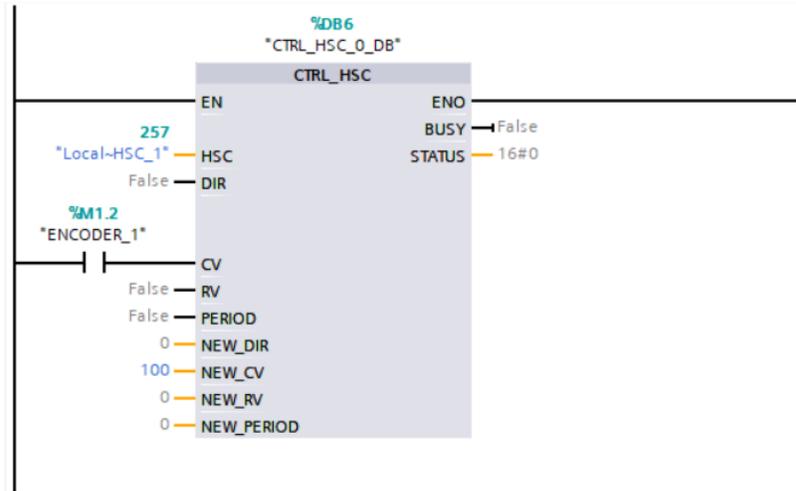


Nota. Muestra el uso del bloque CTRL_HSC en que las señales de lectura del encoder es manejado por el bloque cuando la lectura esta fuera de rango.

Además, se utiliza el bloque CTRL_HSC en donde la entrada HSC se especifica que contador rápido habilitado del PLC que se está utilizando. Sumado a esto, se utiliza un contacto abierto llamado Encoder_1, este se cierra si los pulsos del encoder sobrepasa al rango de conteo, en la Figura 26 se muestra el uso del bloque CTRL_HSC para utilizar adecuadamente el conteo del pulso del encoder incremental.

Figura 26.

Bloque de control HSC



Nota. Muestra el uso del bloque CTRL_HSC en que las señales de lectura del encoder es manejado por el bloque cuando los pulsos de lectura sobrepasan al rango.

Aplicación del Variador de frecuencia G120

En la simulación del movimiento Gantry es necesario utilizar el variador de frecuencia G120, la cual para hacer el uso de este equipo se utilizará la librería SIEMENS SINAMICS para la comunicación y control del variador por medio del protocolo de comunicación PROFINET.

Para el uso de la librería "SINA_SPEED" se crea el uso de un bloque de función (FB) la cual estará almacenada la librería que controla la velocidad del variador y permite el monitoreo de su estado. De igual manera se crea un bloque de función (FB) en donde estará almacenado el bloque llamado por la librería "SINA_SPEED", mediante la cual permite colocar contactos en relación al funcionamiento del bloque para este caso se agregan contactos para diferentes acciones que debe ejecutar el variador, haciendo que la memoria Eeprom cambien en función a los valores de entradas enviados.

La entrada de EnableAxis accionado por un selector en la cual indica que el eje este habilitado para dar paso al movimiento. Asimismo, la entrada AckError proporciona información desde el

variador sobre posible fallo en el sistema y es accionado por un selector para quitar fallas en el variador.

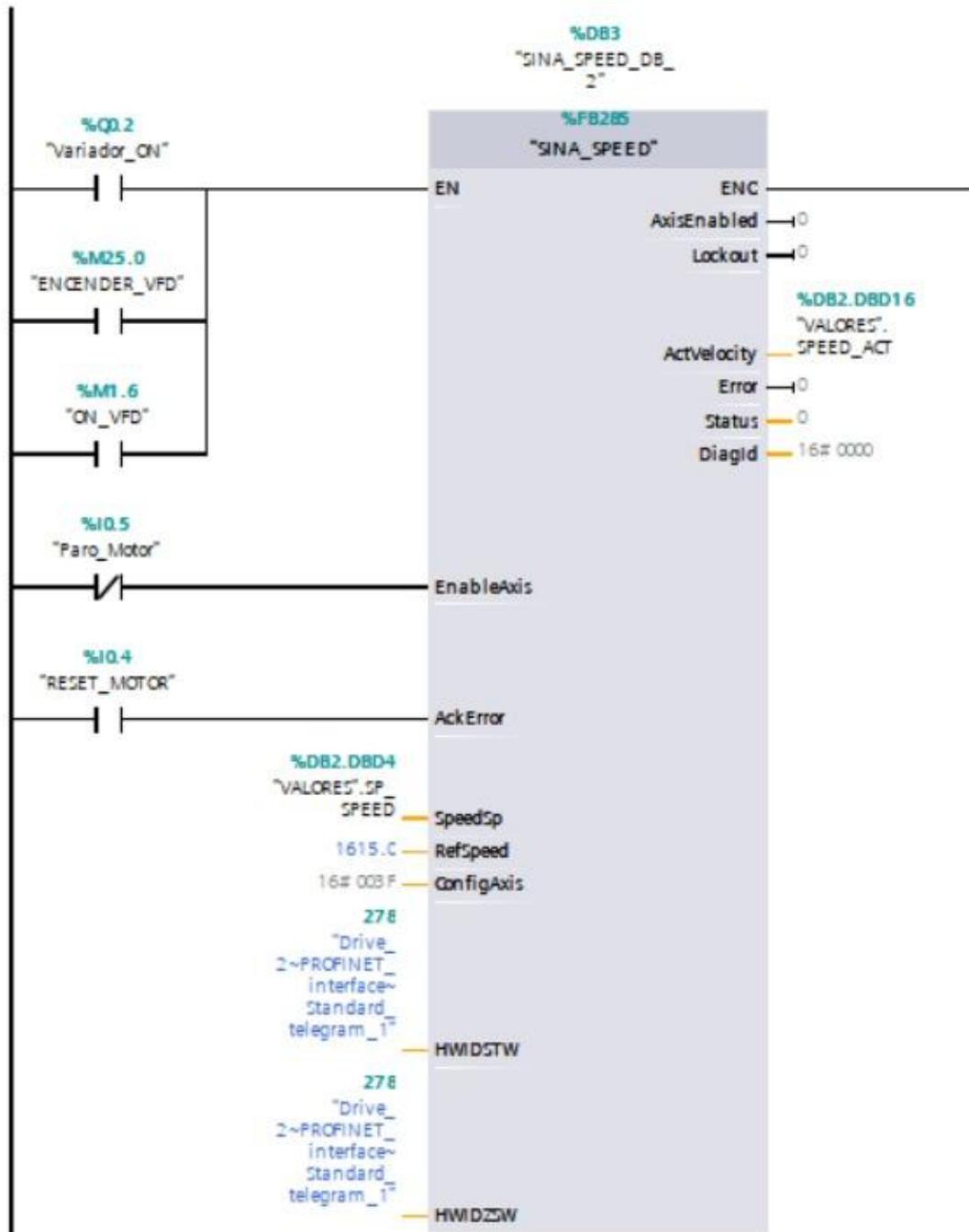
Al mismo tiempo en el bloque SINA_SPEED se envía a la entrada SpeedSp el valor del setpoint almacenado en un bloque DB en donde se actualizará cada vez que se haga un cambio en la variable, que a su vez sigue la entrada RefSpeed la cual se coloca el valor de las revoluciones máxima que puede ir el motor.

Por otro lado, las entradas HWIDSTW y HWIDZSW son utilizadas para la comunicación vía Profinet.

Por último, este bloque cuenta con una salida llamada ActVelocity la cual se utiliza bloque DB llamado Valores la cual almacenará la salida de la velocidad controlada por el variador. En la Figura 27 se muestra la configuración de las entradas del variador de frecuencia.

Figura 27.

Bloque de control para el variador G120



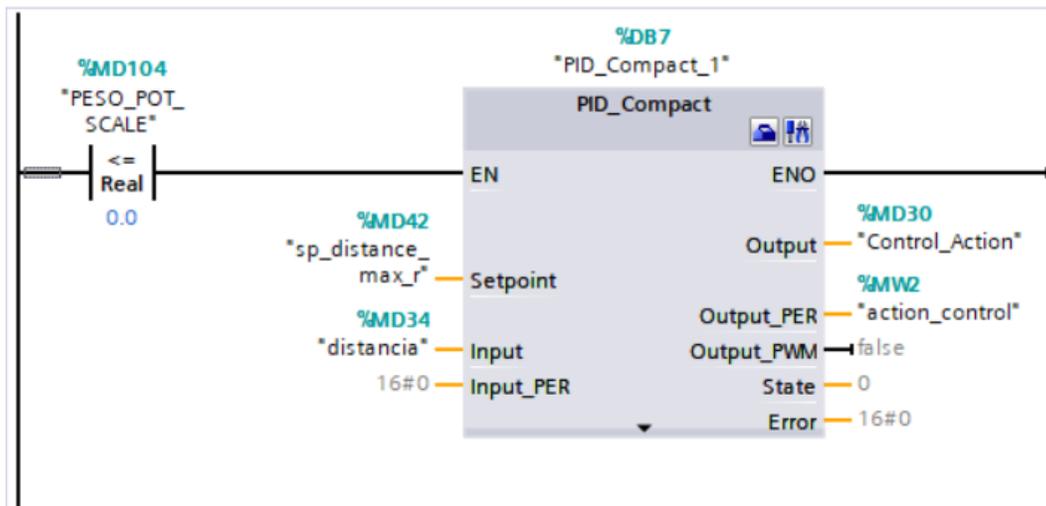
Nota. Este bloque se encarga de controlar las entradas para habilitar el control del variador.

Ciclo de interrupción para el bloque PID

En esta sección de control del sistema se crea un bloque de interrupción OB en el que será necesario para la implementación del bloque PID_Compact. Su función dentro del control que se quiere realizar es regular la variable de proceso. En este caso será la distancia, haciendo que el valor se mantenga lo más cerca posible de la variable del setpoint. La salida de este bloque realiza la acción de control por medio de “fine tunning” y utiliza una salida analógica para regular el sistema y mantener la distancia deseada. En la Figura 28 se muestra el uso del bloque PID y las declaraciones de sus entradas y salidas.

Figura 28.

Bloque PID_Compact



Nota. Uso del bloque PID_Compact en la que se muestra la entrada del proceso, el setpoint, la salida del PID y las variables de control utilizadas para sintonizar el sistema.

Bloque de almacenamiento de datos

Este bloque de datos DB llamado valores dentro de la programación permite realizar una estructura organizada, en la que se almacenan diferentes variables utilizadas para el control y monitoreo del sistema. Este bloque facilita el acceso a variables, como setpoints de posición y valores medidos,

permitiendo que distintos bloques de programación accedan a los mismos datos sin necesidad de duplicarlos. En la Figura 29 se observa el uso de un data block utilizado para organizar las variables sin que estas sean duplicadas.

Figura 29.

Variables de control del sistema

VALORES								
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...
1	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	SP_POSITION	Real	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	SP_SPEED	Real	4.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	LOAD_KG	Real	8.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	PV_POSITION	Real	12.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	SPEED_ACT	Real	16.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	AMP_ACT	Real	20.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	TORQ_ACT	Real	24.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	KW_ACT	Real	28.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	SP_SPEED_FIJA	Int	32.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	SP_SPEED_PID	Real	34.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	LOAD_KG_SCALE	Real	38.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	SP_SPEED_FIJA_2	Int	42.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Speed_indicador	Int	44.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Ingreso_value	Real	46.0	-1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

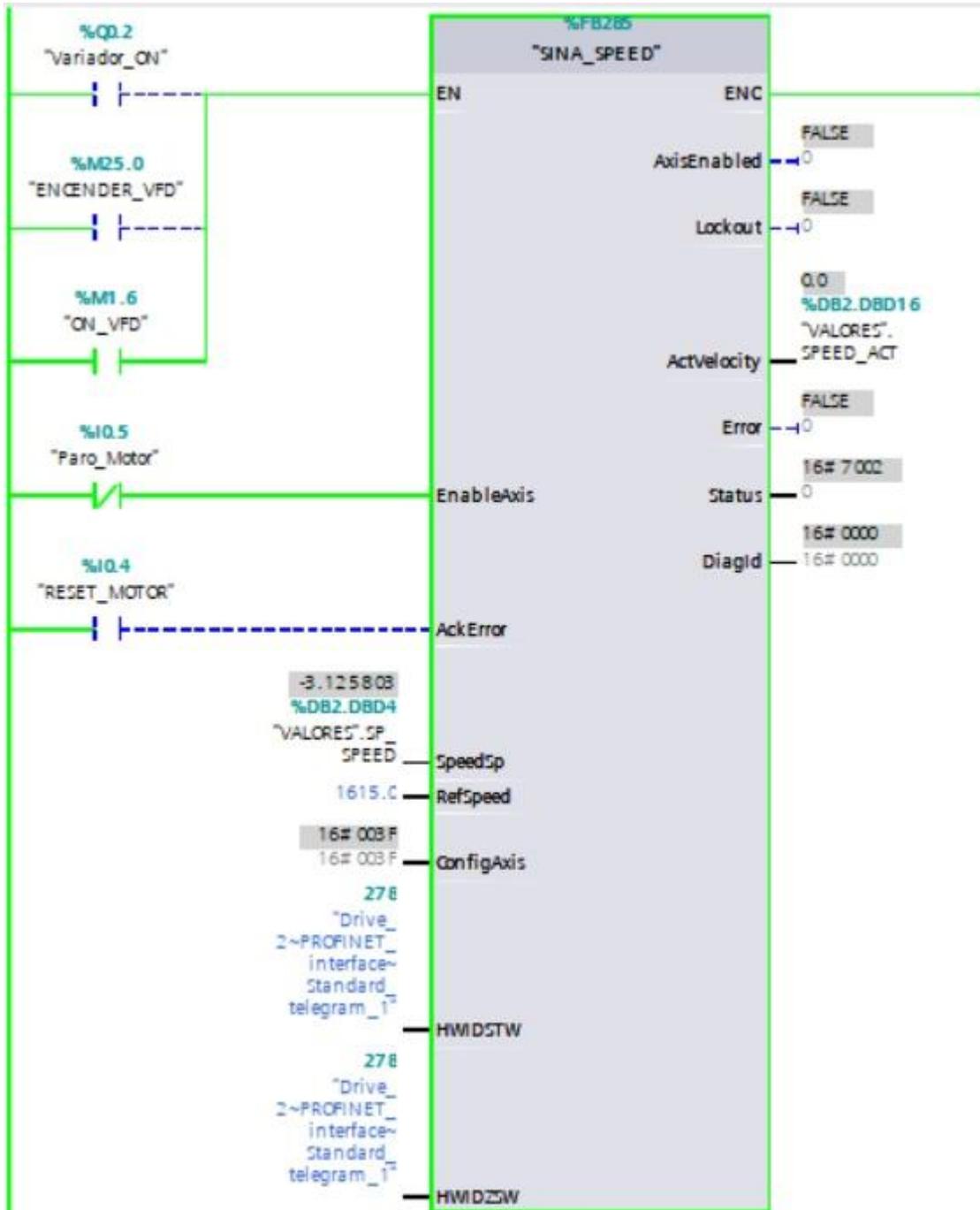
Nota. Lista de variables almacenadas en un DB y utilizadas para el control de posición, velocidad y carga del sistema.

Pruebas de la programación para el control de posición

En esta sección de esta etapa, se procede a realizar las pruebas y verificación de la programación para el control de movimiento deseado. Inicialmente se empezó por comprobar si el variador de frecuencia envía las variables de velocidad en el modo de operación manual. Verificando que los valores de velocidad en porcentaje sean iguales a los que recibe el variador de frecuencia. En la Figura 30 se muestra la simulación de funcionamiento del variador de frecuencia.

Figura 30.

Accionamiento de control del Variador de Frecuencia

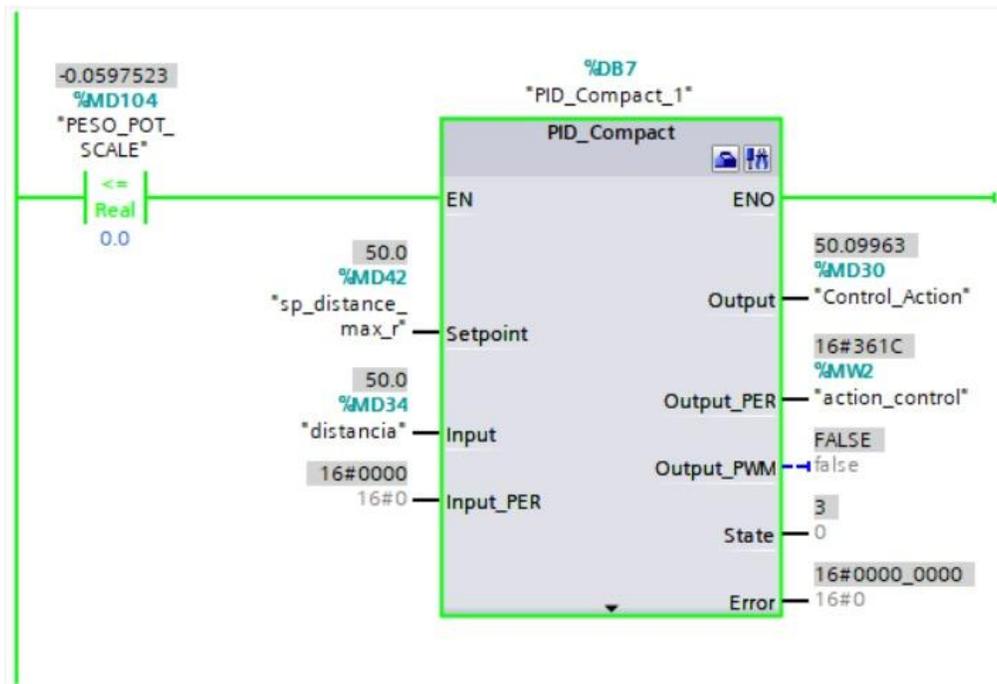


Nota. Se observa las señales de habilitación del sistema de control para los distintos modos de operación, junto con la configuración de velocidad.

Una vez comprobado que se envía los datos para la ejecución del modo manual, se realiza el paro del funcionamiento manual y se activa un contacto llamado automático, en el que entra en funcionamiento por medio del bloque PID en donde se realiza la configuración interna del bloque y se hace pruebas utilizando la funcionalidad de fine tuning del PID, el cual trata de ajustar los valores de los controladores para que cumplan con los requisitos de diseño y alcance la posición determinada otorgada por el setpoint. En la Figura 31 se ilustra la simulación del bloque PID_Compact

Figura 31.

Inicializacion del bloque PID



Nota. Implementación de un controlador PID en TIA Portal, con la finalidad de mantener variables dentro de un rango óptimo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se enfoca en la etapa de pruebas y análisis de la simulación del movimiento Gantry de una grúa STS, utilizando herramientas de automatización y control en un entorno de simulación industrial. Se detallan las pruebas y procedimientos realizados para evaluar el desempeño del sistema considerando distintas condiciones de operación.

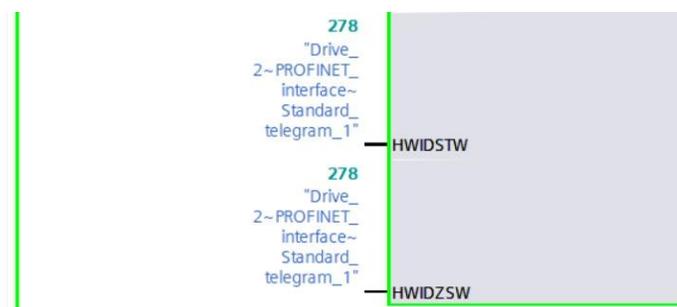
Además, se verifica el comportamiento del variador de frecuencia en la regulación y control de la velocidad del movimiento Gantry y la correcta interpretación de las señales del encoder para el control del movimiento. A través del análisis de datos obtenidos en la simulación, examinando el cumplimiento de los parámetros establecidos en las consignas deseadas al posicionamiento final.

Establecer comunicación con TIA Portal y el Variador de Frecuencia G120

En esta sección se realizó la conexión del variador de frecuencia G120 con el software TIA Portal a través de la librería SINA_SPEED, teniendo la capacidad de usar un bloque relacionado con la programación de la librería. Este bloque, llamado SINA_SPEED, fue almacenado en un bloque de función denominado Control Variador. En la Figura 32 se muestra el uso de telegrama estándar para la comunicación del Variador

Figura 32.

Comunicación Profinet para el Variador de Frecuencia G120



Nota. Uso de las variables HWIDSTW y HWIDZSW, utilizadas para la comunicación del Variador de Frecuencia G120 a través de Profinet.

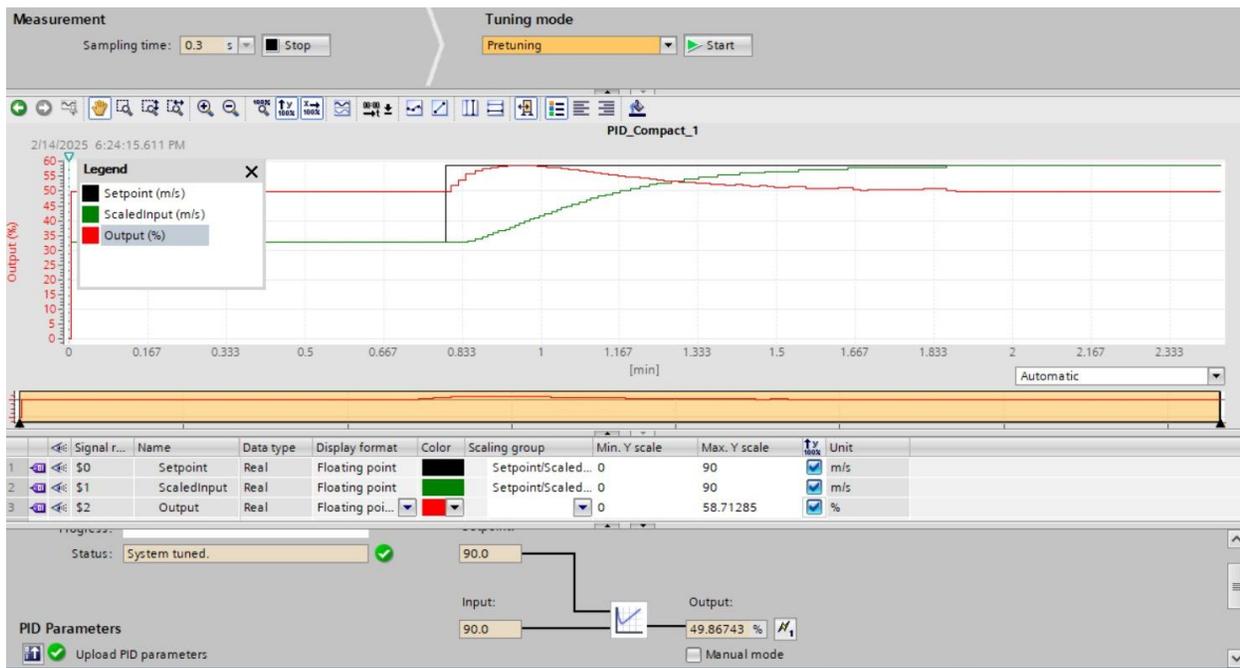
Sintonización del bloque PID

Para esta etapa del proceso el bloque PID fue configurado internamente, teniendo en cuenta el tipo de variable utilizaría el controlador, las variables que se usaron para el valor de setpoint, el parámetro de entradas y salidas, y los límites de la gráfica a mostrar.

Una vez realizado esto se ejecutó el bloque en funcionamiento automático, la cual se establecieron valores de setpoint a los extremos de los movimientos y por medio del modo de ajuste de fine tuning que permite el bloque PID ejecutar el controlador en modo automático, dando como resultado los parámetros de ajuste para ser utilizados para el control del movimiento. En la Figura 33 se observa la ventana de funcionamiento del bloque PID

Figura 33.

Configuración y ajuste del controlador PID en TIA Portal



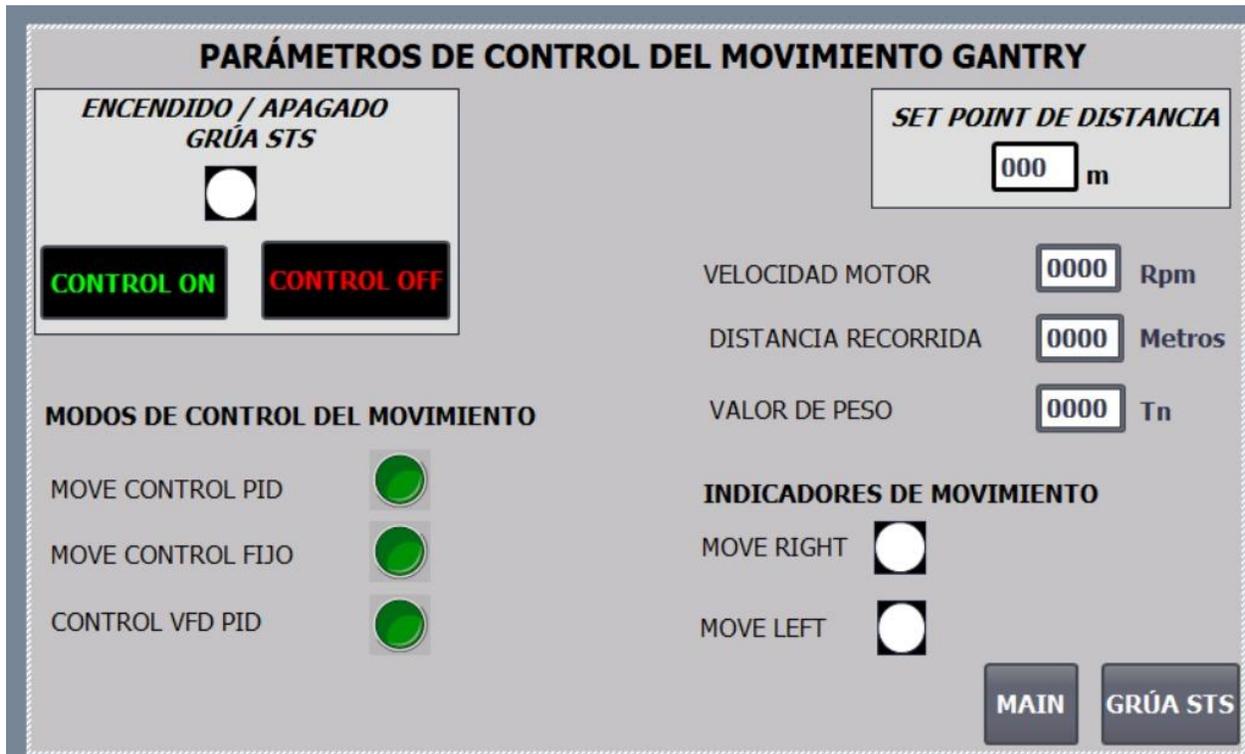
Nota. El gráfico muestra la interfaz de ajuste y sintonización del controlador PID que se encuentra en modo automático.

Pantalla HMI de control

En esta sección se crearon pantallas HMI, la cual se muestra el encendido de la grúa, los parámetros a controlar dentro del sistema de control, controles que comandan el movimiento tanto manual por medio de selectores y automático por medio de la acción del controlador PID. Asimismo, indicadores generales donde se podrá observar el setpoint, la distancia que recorre la grúa y cuantas revoluciones usa el motor eléctrico. En la Figura 34 se muestra el uso de la pantalla HMI para mostrar los parámetros del proceso.

Figura 34.

Interfaz HMI para el control del movimiento Gantry



Nota. La figura muestra el uso de la pantalla HMI para supervisar el control del movimiento Gantry de una grúa STS.

Adicionalmente se utiliza otra pantalla que se mostrará el movimiento Gantry simulado de acuerdo a la distancia que se requiera llegar utilizando tanto el movimiento de control manual como el movimiento de control automático. En la Figura 35 se muestra el uso de otra pantalla HMI para el movimiento de la grúa STS en tiempo real.

Figura 35.

Simulación del movimiento Gantry de una grúa STS

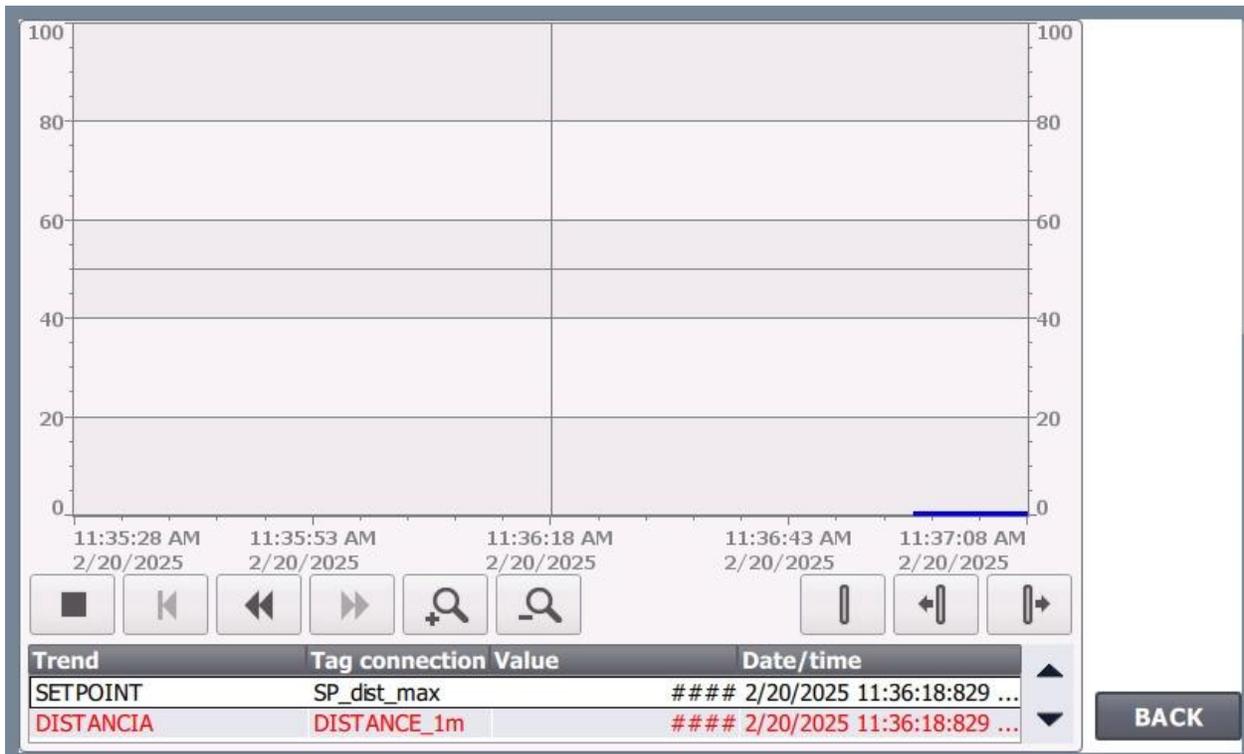


Nota. Interfaz gráfica de simulación del movimiento gantry en una grúa STS, con indicadores de distancia y velocidad.

Por último en la navegación entre pantallas del HMI se agrega una pantalla donde se observa los rangos de operación y estabilización del sistema en cuanto al accionamiento del movimiento por el controlador PID. En la Figura 36 se observa el uso de un gráfico de tendencias para el monitoreo de variables.

Figura 36.

Supervisión de operación del controlador PID



Nota. Se utilizo un gráfico de tendencias para demostrar los rangos de operación en tiempo real del movimiento gantry de la grúa STS.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En el desarrollo del Trabajo de Titulación, se ha diseñado un cronograma de actividades distribuido semanalmente, abarcando un periodo que inicia en octubre y concluye en diciembre, alineándose con el periodo académico vigente. Este cronograma es una herramienta importante porque en ella se establece en cómo se organizará el progreso en cada etapa del Trabajo de Titulación. La planificación tiene como objetivo coordinar la ejecución de las tareas de manera estructurada, permitiendo que todas las actividades programadas se completen en el tiempo estipulado. Como se observa en la Tabla 1, se espera finalizar todas las actividades para la primera semana de enero, coincidiendo con la fecha prevista para la presentación del Trabajo de Titulación.

Tabla 1.

Cronograma del Trabajo de Titulación

Actividades	OCTUBRE				NOVIEMBRE					DICIEMBRE			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4
Desarrollo del Anteproyecto													
Análisis de Requerimientos y Diseño Conceptual													
Integración Inicial del Trabajo de Titulación													
Programación del PLC en el laboratorio de la UPS													
Desarrollo de la Interfaz HMI													
Pruebas Integrales del Sistema													
Revisión de la documentación													
Entrega final del Trabajo de Titulación													

Nota. se realizó un cronograma detallado de las actividades para el desarrollo del Trabajo de Titulación

PRESUPUESTO

La implementación del Trabajo de Titulación se llevará a cabo en un módulo disponible en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad Politécnica Salesiana, por lo cual el presupuesto está diseñado para reflejar los aspectos esenciales que aseguren el desarrollo impecable del Trabajo de Titulación. Estos costos incluyen elementos fundamentales que permitirán al desarrollo de la simulación, los cuales son indispensables para la ejecución del Trabajo de Titulación. A continuación, en la Tabla 2 se muestra a detalle los elementos y el presupuesto estimado.

Tabla 2.

Presupuesto del Trabajo de Titulación

DETALLE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	MONTO TOTAL
Horas de Ingeniería	60	\$2.87	\$172.2
Estructura para el acople del Encoder	1	\$65	\$65
Encoder Incremental	1	\$113.16	\$113.16
TOTAL			\$350.36

Nota. Se describen los costos que se realizaron para desarrollar el Trabajo de Titulación.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó la programación del movimiento Gantry de la grúa portuaria STS en el PLC. Por ello se utilizó el software TIA Portal en la cual se consideraron sensores y actuadores que puede ser controlador por la programación permitiendo controlar de manera precisa y eficiente el movimiento de la grúa, haciendo que este control mediante el PLC permita modos de operación manual y automático por medio de PID.
- Se crearon pantallas HMI para mostrar los parámetros del proceso que interviene al momento de ejecutar el movimiento Gantry de la grúa. La navegación entre las pantallas creadas en el HMI proporcionó información en cuanto a la distancia, velocidad y modos de uso para el control del movimiento Gantry. Además, se mostró el movimiento de la grúa la cual es importante al momento de cambiar de posición.
- La programación del PLC y el uso de las pantallas HMI se implementó utilizando un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial. La cual permitió comprobar y verificar el correcto funcionamiento del control.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el rendimiento del sistema de control en cuanto a velocidad de respuesta de acuerdo a las distancias de movimiento con la posibilidad de realizar ajustes en la programación.
- Se recomienda continuar con la implementación del sistema de control en cuanto se requiera agregar componentes extras como sensores, la cual intervienen en el movimiento Gantry.
- Se debe considerar utilizar diferente hardware compatible con el uso del encoder para implementar el sistema de control de movimiento.
- Se recomienda utilizar un Gateway para mantener la comunicación entre dispositivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABB. (s.f.). *Baja tensión*. Recuperado el 31 de Enero de 2025, de Motores de aplicación general en hierro fundido:

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105713A3906&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>

Araujo Sánchez, Á. P., & Sanaguano Pincay, D. E. (2020). *Diseño e implementación de controlador PID para un balancín de dos grados de libertad*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

AUTONICS. (31 de Enero de 2024). *Encoders rotativos incrementales de 50mm (tipo flecha)*. Obtenido de E50S8-100-3-T-24: <https://www.autonics.com/es/model/E50S8-100-3-T-24>

Bautista Díaz, X. U., & Correa Méndez, A. X. (2024). *Propuesta de mejora logística para recepción, almacenamiento y despacho de contenedores Reefer en terminal portuaria de Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

Bou Porta, J. Á. (7 de Septiembre de 2018). Obtenido de Modernización del sistema de control de una grúa portacontenedores STS: <http://hdl.handle.net/10251/106789>

CAMAE. (14 de Noviembre de 2023). *Camará Marítima del Ecuador* . Obtenido de TPG se consolida como el puerto de mayor movimiento de carga en Ecuador: <https://www.camae.org/tpg/tpg-se-consolida-como-el-puerto-de-mayor-movimiento-de-carga-en-ecuador/>

CAMAE. (29 de Enero de 2024). *Cámara Marítima del Ecuador*. Obtenido de Movimiento de contenedores en la Terminal Portuaria de Guayaquil, en aumento: de 487.904, en el 2022, pasó a 507.223, en el 2023: <https://www.camae.org/contenedores/movimiento-de-contenedores-en-la-terminal-portuaria-de-guayaquil-en-aumento-de-487-904-en-el-2022-paso-a-507-223-en-el-2023/>

DYNAPAR. (9 de Marzo de 2018). *DYNAPAR*. Obtenido de Codificadores incrementales: https://www.dynapar.com/technology/encoder_basics/incremental_encoder/

Farina, A. L. (Abril de 2018). *Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento*. Obtenido de https://www.editores.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf

news, G. (28 de Junio de 2021). *MOTORES ASÍNCRONOS Y SÍNCRONOS*. Obtenido de MOTORES ASÍNCRONOS Y SÍNCRONOS: <https://www.generaldrivermotor.com/motores/motores-asincronos-y-sincronos/>

PICUINO. (22 de Enero de 2024). *Control de Sistemas*. Obtenido de Controlador PID: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>

Rosas, A. O. (2018). *Universidad Autónoma de Occidente*. Obtenido de Programación de PLC, HMI y comunicaciones en la industria: <http://hdl.handle.net/10614/11026>

Salazar, J. Á., & Arango, J. G. (2017). *TIA PORTAL. APLICACIONES DE PLC*. Colombia : Fondo Editorial ITM. Obtenido de TIA PORTAL. APLICACIONES DE PLC.

Sánchez Tapia, J. C., & Sichiqli Velecela, K. I. (2022). *Estudio del variador de frecuencia G-120 y de las interfaces de comunicación PROFINET y PROFIBUS CU250S-2 y desarrollo de un manual de prácticas orientadas al aprendizaje de los sistemas de*

movimiento para la industria bajo el contexto de las comunicacion. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Sebastián Narváez, A. (2019). *Estimación de la velocidad y aceleración de un servomotor a partir de las medidas de un encoder incremental.* Valencia: Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/130526>

SIEMENS. (12 de Diciembre de 2024). Obtenido de Convertidores estándar SINAMICS G120: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10215579#Sinopsis>

SIEMENS. (31 de Enero de 2024). *Basic Controller S7 1200.* Obtenido de CPU Estandar: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10045649?tree=CatalogTree>

SIEMENS. (12 de Noviembre de 2024). *SiePortal.* Obtenido de TIA Portal - An Overview of the Most Important Documents and Links - Controller: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/65601780/tia-portal-an-overview-of-the-most-important-documents-and-links-controller?dti=0&lc=en-EC>

SIEMENS. (30 de Julio de 2024). *SIMATIC HMI Panels.* Obtenido de Machine-level operator control and monitoring: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels.html#BasicPanels>

Vignola. (31 de Enero de 2024). *Variador SINAMICS.* Obtenido de VARIADOR SINAMICS G120: <https://www.vignola.cl/producto/variador-sinamics-g120/>

Villalta Chiquito, A. J., & Lucas Pacheco, K. H. (2024). *Diseño y simulación de un sistema de control y calidad para transformadores monofásicos mediante TIA Portal.* Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29085>

Zapata, M., Topón-Visarrea, L., & Tipán, E. (2021). *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Ecuador: Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica.

ANEXOS

En esta sección se presentan los anexos que complementan el desarrollo del trabajo de titulación, permitiendo evidenciar los elementos claves que conformaron para el control de movimiento de una grúa portuaria STS.

La Figura 37 se muestra el modelo de PLC utilizado en las pruebas con el encoder.

Figura 37.

Conexión de entradas digitales del PLC



Nota. Uso del PLC S71200 con una fuente de 24v DC, necesaria para la conexión del encoder incremental.

Figura 38. Se muestra la adaptación del acople entre el eje del motor y el eje del encoder incremental.

Figura 38.

Estructura para acople entre ejes



Nota. la imagen muestra una estructura de acoplamiento flexible entre el eje del motor y el eje del encoder incremental.

Figura 39. Se observa la configuración de conexión del motor, donde se distinguen los terminales de conexión identificado con su respectivo etiquetado

Figura 39.

Conexión Estrella para el arranque del motor trifásico



Nota. Conexión estrella-serie para el arranque del motor trifásico, adaptándose a la configuración del variador.

Figura 40. Se observa el uso del tablero didáctico para la alimentación del variador de frecuencia G120

Figura 40.

Conexión y prueba para el Variador de Frecuencia G120



Nota. La figura muestra un sistema de distribución de dos líneas, utilizadas para la alimentación del Variador de Frecuencia G120