

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA PARA LA
OPERACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL DE POSICIÓN O VELOCIDAD DEL
LABORATORIO DE ELECTRONICA INDUSTRIAL**

JOSÉ CARLO DÍAZ CASTELLANOS

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
BUCARAMANGA
2015**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA PARA LA
OPERACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL DE POSICIÓN O VELOCIDAD DEL
LABORATORIO DE ELECTRONICA INDUSTRIAL**

**ESTUDIANTE
JOSÉ CARLO DÍAZ CASTELLANOS**

PROYECTO DE GRADO

**DIRECTOR:
PhD. OMAR PINZÓN ARDILA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
BUCARAMANGA
2015**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. MARCO TEÓRICO	11
3.1 SIMATIC S7- 300.....	11
3.2 TIA PORTAL.....	12
3.3 WINCC RUNTIME ADVANCED	12
3.4 CONTROL PID.....	12
3.4.1 ¿Cuándo es suficiente un control PID?.....	14
3.4.2 ¿Cuándo es necesario un control más sofisticado?	14
3.4.3 Aplicaciones del control PID	14
3.5.1 Instrumentos para medir posición	15
3.6 VARIABLE DE VELOCIDAD	16
3.6.1 Instrumentos para medir velocidad.....	17
4. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO	19
4.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	19
4.2 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE.....	21
4.2.1 Configuración del PLC	21
4.2.2 Configuración HMI.....	24
4.3 HARDWARE	27
5. PROGRAMACIÓN.....	29
5.1 ELEMENTOS DEL TIA PORTAL	29
5.2 DIRECCIONES DE ALMACENAMIENTO	33
5.3 PROGRAMA	34
5.3.1 Programación código control de velocidad	34
5.3.2 Programación código control de posición.....	35
5.4 PROGRAMACIÓN EN WINCC RUN TIME ADVANCED	35
6. RESULTADOS	39
6.1 HMI PARA EL CONTROL DE POSICIÓN O VELOCIDAD.....	39

6.2 OPERACIÓN EN LAZO ABIERTO	42
6.3 IDENTIFICACIÓN Y SINTONIZACIÓN	44
6.3.1 Identificación.....	44
6.3.2 Sintonización.....	45
6.4 OPERACIÓN EN LAZO CERRADO	48
7. CONCLUSIONES	49
8. BIBLIOGRAFIA.....	50
9. ANEXOS.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del módulo	19
Figura 2. Pantalla Principal Tia Portal.....	20
Figura 3. Crear Proyecto.....	21
Figura 4. Configuración del dispositivo	22
Figura 5. Referencia PLC S7 – 300 SIEMENS	22
Figura 6. Elementos del PLC S7 – 300 SIEMENS.....	23
Figura 7. Direcciones entradas y salidas digitales	24
Figura 8. Direcciones entradas y salidas análogas.....	24
Figura 9. Referencia HMI.....	25
Figura 10. HMI.....	25
Figura 11. WinnCC RT Advanced.....	26
Figura 12. Conexiones.....	27
Figura 13. Planos Eléctricos del Módulo.....	28
Figura 14. Módulo de posición o velocidad	28
Figura 15. Entrada	29
Figura 16. Salida.....	29
Figura 17. Entrada Negada.....	30
Figura 18. Bloque General.....	30
Figura 19. Timers.....	30
Figura 20. Contadores.....	31
Figura 21. Bloque de transferencia.....	31
Figura 22. Conversión.....	31
Figura 23. Redondear.....	32
Figura 24. Redondear número al siguiente entero	32
Figura 25. Redondear número al entero anterior.....	32
Figura 26. Bloque de truncado.....	33
Figura 27. Bloque de escalado	33
Figura 28. Entorno grafico HMI.....	36
Figura 29. Enlace de Variables.....	37
Figura 30. Enlace de Variables HMI.....	37
Figura 31. Tabla de Variables HMI.....	38
Figura 32. Home	40
Figura 33. HMI control de posición.....	41
Figura 34. HMI control de velocidad.....	42
Figura 35. Operación en lazo abierto para el control de posición	43
Figura 36. Operación en lazo abierto para el control de velocidad	44
Figura 37. Diagramas de bloques del controlador de velocidad en lazo abierto y cerrado.....	46
Figura 38. PID TUNER.....	46
Figura 39. Variables PID	47
Figura 40. Respuesta sistema lazo abierto	47
Figura 41. Respuesta sistema lazo cerrado.....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Entradas y salidas digitales.....	33
Tabla 2. Salidas analógicas	34
Tabla 3. Datos identificación.....	45

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA PARA LA OPERACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL DE POSICIÓN O VELOCIDAD DEL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA INDUSTRIAL.

AUTOR(ES): JOSE CARLO DIAZ CASTELLANOS

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): OMAR PINZON ARDILA

RESUMEN

El presente trabajo de grado, se centra en la implementación de una interfaz hombre máquina para controlar la posición o la velocidad de un motor de inducción haciendo uso de un PLC SIEMENS S7-300. En el proyecto se desarrollaron códigos en escalera para el cálculo de posición y velocidad, los cuales se les adiciona bloques de control PID que ofrece el software TIA Portal de la empresa SIEMENS, posteriormente se desarrolla el diseño de la HMI en WinCC Run Time Advanced y se establece una conexión entre estas plataformas con el fin de enlazar las variables del código con la interfaz gráfica de control. Finalmente se desarrollan cuatro prácticas de laboratorio para el uso del módulo.

PALABRAS CLAVES:

Controlador lógico programable, interfaz humano máquina

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: HUMAN MACHINE INTERFACE FOR POSITION OR SPEED CONTROLLER OF INDUSTRIAL ELECTRONIC LABORATORY.

AUTHOR(S): JOSE CARLO DIAZ CASTELLANOS

FACULTY: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: OMAR PINZON ARDILA

ABSTRACT

This paper is focus in the implementation of the human machine interface for position or speed controller for a induction motor using a programble logic controller SIEMENS S7-300. In this proyect codes were developed by ladder for calculation of position and speed, then this codes were mix with a PID block that is included in TIA Portal. Later the human machine interface was developed in WinCC Run Time Advanced and then this two platforms were connected for the purpose of linking variables of the ladder code to the control graphic interface. Finally were made four laboratory practices to guide how the module opérate.

KEYWORDS:

Programble logic controller, human machine interface

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El sector industrial y su crecimiento acelerado traen consigo innumerables inconvenientes, los cuales se les debe buscar una solución óptima y sencilla al más bajo costo posible. El PLC o controlador lógico programable es una opción muy aceptada industrialmente debido a su eficiencia y versatilidad. Posee grandes ventajas, ya que su programación es sencilla y a su vez se pueden realizar modificaciones sin cambiar el cableado, logrando un mantenimiento económico y a un menor costo.

Conocer la variable medida y los instrumentos que se utilizan para su medición es de alta importancia, ya que esto nos permitirá evaluar varias técnicas y determinar cuál de ellas es la más eficiente para realizar el proceso de medición y control. En la industria en general las variables posición y velocidad son variables secundarias muy utilizadas, estas son fundamentales en el desarrollo de máquinas y herramientas, las cuales son el impulso de la alta productividad de los sectores económicos, por otro lado, en la vida cotidiana nos encontramos varios ejemplos donde se requiere el control de la posición y velocidad como son el ejemplo de los elevadores y las bandas transportadoras. Los elevadores los usamos en el diario vivir y las bandas transportadoras son de vital importancia en la industria [1].

Este es un proyecto educativo con un énfasis industrial que permite conocer la operación de algunos elementos muy usados en la industria como motores de corriente alterna, PLC y variadores de velocidad. El proyecto es un módulo que permite realizar un control de posición o velocidad haciendo uso de un PLC SIEMENS S7-300 con un interfaz gráfico.

En este proyecto se ha configurado el software TIA Portal, se ha establecido una programación para el control de velocidad y el control de posición, posteriormente se estableció una conexión entre dos plataformas (TIA Portal y WinCC Run Time Advanced) para unir la codificación y el interfaz gráfico y por último se puso en operación el módulo en lazo abierto para identificar la planta, sintonizarla y operar en lazo cerrado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar una interfaz hombre máquina para el módulo del control de posición o velocidad utilizando el PLC S7-300 de la empresa Siemens.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Documentar y dibujar el sistema de control de posición o velocidad.
- Proponer un diagrama de flujo funcional de la interfaz HMI.
- Implementar un algoritmo de control PID en el módulo de control de posición.
- Implementar un algoritmo de control PID en el módulo de control de velocidad.
- Desarrollar un interfaz humano maquina (HMI) para el módulo de control de posición.
- Desarrollar un interfaz humano maquina (HMI) para el módulo de control de velocidad.
- Elaborar prácticas de laboratorio para la utilización del módulo.

3. MARCO TEÓRICO

La importancia de los controladores lógicos programables (PLC) en la industria es vital en los procesos productivos. Entre los PLC comerciales se encuentra con el S7-300 de la empresa SIEMENS, que permite una gran variedad de aplicaciones debido a su versatilidad y eficiencia en programación y energía. [2]

3.1 SIMATIC S7- 300

El SIMATIC S7-300 permite soluciones de sistema innovadoras con especial énfasis en la tecnología de fabricación y como sistema de automatización universal constituye una solución óptima para aplicaciones en estructuras centralizadas y descentralizadas.

El SIMATC S7-300 cuenta con potentes módulos centrales con interfaz industrial Ethernet/PROFINET, funciones tecnológicas integradas o versión de seguridad en un sistema coherente que evitan inversiones adicionales.

El S7-300 se puede configurar de forma modular, de hecho no hay ninguna regla de asignación de *slots* para los módulos periféricos. Cuenta con una amplia gama de módulos, tanto para estructuras centralizadas, como para estructuras descentralizadas tales como ET-200M.

El uso de la *Micro Memory Card* como memoria de datos y programa ahorra costos de mantenimiento. Además, en esta tarjeta de memoria se puede guardar un proyecto asociado con símbolos y comentarios para simplificar el trabajo del servicio técnico.

Asimismo, la *Micro Memory Card* permite la actualización sencilla del programa o del firmware sin programadora. Además se puede utilizar durante el funcionamiento para guardar y consultar datos, por ejemplo, para archivar medidas o para procesar recetas.

En este proyecto el software con el que se va a trabajar en el PLC SIEMENS S7-300 utilizando el TIA Portal el cual ofrece un entorno de desarrollo muy novedoso y fácil de usar. [3]

3.2 TIA PORTAL

Es un software que optimiza todos los procedimientos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Con una intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de datos es fácil de utilizar. Los datos y proyectos preexistentes pueden integrarse sin ningún esfuerzo.

Es un editor para configurar hardware, efectuar programaciones lógicas, parametrizar un convertidor de frecuencias o diseñar pantallas de la HMI, los entornos del software tienen un diseño intuitivo, lo que le permitirá ahorrar tiempo. Las funciones, propiedades y librerías se despliegan de forma automática con la vista más intuitiva y apropiada para cada ocasión.

El TIA Portal es una arquitectura de software avanzada diseñada a partir de un esquema de navegación muy sencillo. La ergonomía sofisticada asegura la máxima eficiencia. [4]

3.3 WINCC RUNTIME ADVANCED

Este software se encuentra incluido en los paneles de mando de SIMATIC HMI y ofrece diferentes funciones muy prácticas y fáciles de usar en el diseño de interfaces humano máquina.

WinCC Runtime Advanced es una solución de manejo y visualización basada en PC para sistemas monopuesto a pie de máquina. Sus ventajas son

- Paquete básico para visualización, señalización y creación de informes, administración de usuarios, ampliable de forma flexible.
- Paquete básico ampliable mediante paquetes opcionales.
- Integrable en soluciones de automatización basadas en redes TCP/IP (*transmission control protocol/ internet protocol*).

3.4 CONTROL PID

El control PID se utiliza de forma casi general en todos los sistemas de control. En casos en el que el modelo de la planta no es conocido, es ahí donde el control PID es más útil y eficiente. Cuando hablamos de sistemas de control industrial, es en este campo donde resalta el control PID ya que ha demostrado ser óptimo para brindar un control muy satisfactorio.

Los controladores PI y PID en particular funcionan bien en procesos industriales, por ejemplo se dice que el 98% de los lazos de control son controlados por controladores PI y que en el control de proceso de aplicaciones, más del 95% de los controladores son de tipo PID. [5]

Los tres componentes del control PID, integral, proporcional y derivativo, cada uno suma al bucle de programación con la finalidad de corregir eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de perturbaciones. [6]

La componente proporcional del controlador consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para minimizar el error, en estado estacionario, pero en la mayoría de los casos, estos valores sólo son óptimos en un determinado rango. Sin embargo, existe un valor límite en que la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobre oscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional no produzca sobre oscilación. En este control existe una relación lineal entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control. La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que estime la variación respecto al tiempo es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error se integra, donde su función es promediar o sumar un período determinado. Posteriormente, la respuesta integral se adiciona al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable en el sistema sin error estacionario. El control integral se utiliza para evitar el inconveniente del *offset* (desviación permanente). [7]

La acción derivativa actúa cuando existe un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "*Set Point*". La función de la acción derivativa consiste en mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente. La deriva con respecto al tiempo se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores (P+I). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador debe responder acordeamente. Cuando el tiempo de acción derivada es grande, se induce a una inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño, la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Esta acción suele ser poco utilizada debido a su sensibilidad al ruido y a las complicaciones que ello

conllea. El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones. [8]

3.4.1 ¿Cuándo es suficiente un control PID?

Es suficiente para procesos donde la dinámica es de segundo orden. Un caso donde la acción derivativa funciona muy bien es cuando la dinámica del proceso está caracterizada por constantes de tiempo que difieren en magnitud. En este caso pueden aumentar la velocidad de la respuesta.

3.4.2 ¿Cuándo es necesario un control más sofisticado?

Se hacen necesarios controles más sofisticados cuando tenemos los siguientes casos:

- Cuando el sistema es un orden mayor a dos.
- Sistemas con grandes retardos.
- Sistemas con modos oscilatorios.
- Sistemas no lineales.

3.4.3 Aplicaciones del control PID

Los controladores PID vienen de distintas formas. Existe un tipo que son los “*stand alone*” que tienen la capacidad de controlar uno o más lazos de control. Los controladores PID son importantes en los sistemas de control distribuido. También pueden venir empotrados como parte del equipo, esto es un control especial.

El control PID tiene unas prestaciones, las cuales son técnicas de comunicación de modos de control y el *antiwindup* que nos brinda un mejoramiento en la acción integral.

En la actualidad se combinan una serie de técnicas como funciones lógicas y funciones secuenciales, adicional a esto los mecanismos y funciones complementarios que permiten adecuarse toda esa clase de exigencias modernas en los sistemas de control y automatización. Lo que da lugar al nacimiento de un control especializado para sistemas de temperatura, velocidad, distribución de energía, transporte, maquinas-herramientas, reacción química, fermentación etc.

Los PID son controladores de nivel bajo, en niveles superiores se encuentran equipos tales como los PLC, supervisores y sistemas de monitoreo. Sin embargo son tan importantes que los ingenieros de control los usan a diario. [9]

Las comunicaciones también han influido en el desarrollo de los controladores PID, específicamente en la comunicación de datos de campo. Esto ha permitido que se ingresen como módulos de gran importancia en los esquemas de control distribuido.

La comunicación de los controladores PID con otros sistemas de control como los PLC son de gran importancia.

En un nivel industrial existen considerables grupos de ingenieros de proceso e instrumentación que coexisten diariamente con los controladores PID, de forma que llevan una práctica continua de instalación, puesta en marcha y operación de sistemas de control con lazos PID, cabe resaltar que existe una cantidad considerable de falta de conocimiento sobre la elaboración del algoritmo. Un signo de ella es que muchos controladores los utilizan en modo manual y los que están en modo automático con frecuencia se encuentran con su acción derivativa desactivada. La razón es porque el ajuste de estos controladores es un trabajo que se torna tedioso y requiere cierto conocimiento sobre los principios de funcionamiento tanto de los procesos físicos como la teoría de control. [10]

Quedan muchas mejoras y ajustes por hacer en el desempeño de procesos industriales, por otra parte la demanda en la industria es muy elevada y requiere de una alta calidad en sus productos y procesos, por lo cual se está obligado a mejorar los lazos de control, lo que a su vez requiere un mayor conocimiento acerca de los procesos y de sus mecanismos de regulación.

En resumen tenemos algunas de las aplicaciones más comunes:

- Lazos de temperatura (aires acondicionados, refrigeradores, calentadores).
- Lazos de nivel (nivel en tanques de líquidos como agua, lácteos, mezclas y crudo).
- Lazos de presión (para mantener una presión determinada en tanques, tubos y recipientes).
- Lazos de flujo (mantienen la cantidad de flujo en una línea o tubo).

- Lazos de movimiento (control de \square y posición).

3.5 VARIABLE DE POSICIÓN

En física, la posición de una partícula indica su localización en el espacio o en el espacio-tiempo [11] y se representa mediante sistemas de coordenadas. La posición de una partícula en el espacio se representa como una magnitud vectorial respecto a un sistema de coordenadas de referencia.

3.5.1 Instrumentos para medir posición

Los instrumentos para medir posición son:

- **Scanner laser**

Es un objeto que emite en una dirección controlada rayos laser seguido de una medición de distancia en cada dirección de puntería.

- **Sensor ultrasónico**

El sensor ultrasónico emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. El impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire. Al encontrar un objeto, es reflejado y vuelve como eco al sensor ultrasónico. Este último calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción del eco. [12]

- **GPS**

Es un sistema global de navegación por satélite que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros, aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

El sistema fue desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El sistema GPS está constituido por 24 satélites y utiliza la triangulación para determinar en todo del globo la posición con una precisión de más o menos metros. [13]

- **Encoder**

Los encoders están acoplados al eje de un motor y su función es la de convertir el movimiento mecánico en pulsos digitales o análogos que pueden ser interpretados por un controlador de movimiento. [14]

3.6 VARIABLE DE VELOCIDAD

La velocidad es una magnitud física, de esta se puede expresar el desplazamiento que realiza un objeto en una unidad de tiempo. Se representa mediante el símbolo V y pertenece al sistema internacional de medidas, se mide en metros sobre segundo [m/s]. La velocidad de un objeto se determina teniendo conocimiento de la dirección y la rapidez. La rapidez se conoce como celeridad. La velocidad es el cambio de posición a través del tiempo, y el cambio de velocidad por unidad de tiempo se denomina aceleración.

Aristóteles fue el primero en estudiar este fenómeno físico, pero no logro definir un concepto claro y conciso de velocidad. De hecho Aristóteles no utilizo las matemáticas como herramienta para su estudio y calculo. [15]

Galileo Galilei es a quien se le atribuye el primer concepto, su experimento lo hizo en un plano inclinado. Newton y Leibntiz hicieron aportes en sus respectivas épocas y se centraron en fórmulas para calcular otros elementos como velocidad instantánea y aceleración.

Dentro de los conceptos que se tienen hoy en día encontramos el de velocidad media, que es un promedio, que permite conocer la velocidad de un objeto en un intervalo específico de tiempo.

3.6.1 Instrumentos para medir velocidad

- **Tacómetro**

Es un dispositivo que mide la velocidad de giro (velocidad angular) de un eje, normalmente la velocidad de giro de un motor. Se mide en revoluciones por minuto (RPM).

- **Tacómetro por corrientes de eddy**

Estos aparatos basan su funcionamiento en la fuerza de arrastre que recibe un disco conductor debido a las corrientes inducidas en él, cuando se encuentra muy cerca de un imán que gira. El movimiento entra por el extremo de un eje, en el otro extremo esta acoplado un imán permanente en forma de U que gira muy próximo a un disco, generalmente de aluminio.

- **Tacómetro centrífugo**

Estos aparatos basan su funcionamiento en la fuerza centrífuga que se genera en una masa giratoria.

- **Tacómetro eléctrico**

Estos aparatos basan su funcionamiento en el crecimiento o disminución del voltaje o la frecuencia de la corriente producida por un generador de corriente alterna al que se le aplica la velocidad de rotación a medir. El voltaje y la frecuencia de la corriente eléctrica producida por un generador, se comporta proporcional a la velocidad de rotación de este.

- **Tacómetros estroboscópicos**

Basan su funcionamiento en el efecto estroboscópico, esto es, en la visualización como estacionarios de los objetos que rotan, si son iluminados con una luz de encendido y apagados rápido sincronizadas con la velocidad de rotación.

- **Tacómetros ópticos**

Estos tacómetros generalmente sin contacto, utilizan un medio luminoso para determinar la velocidad de rotación de las piezas.

- **Medidor de velocidad de efecto Doppler (radar)**

Un radar de control de velocidad emplea el principio Doppler. Estas envían una señal de radio y luego reciben la misma señal que se ha reflejado en el blanco. Los radares Doppler se usan en defensa aérea, control del tráfico aéreo, sondeo de satélites, radar policial de velocidad y en radiología.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

El módulo desarrollado en este proyecto se compone por un PLC S7-300 SIEMENS, un encoder incremental, un tacómetro, un variador de velocidad, un sensor inductivo y un motor de corriente alterna. Estos se conectan entre sí de la siguiente manera: las salidas del encoder se conectan a las entradas digitales del PLC, la salida analógica del PLC se comunica con la entrada del variador de velocidad y la salida de este se conecta a la entrada trifásica del motor de corriente alterna, por su parte el sensor inductivo está asociado a una entrada digital del PLC y el tacómetro está conectado al PLC. Ver la figura 1.

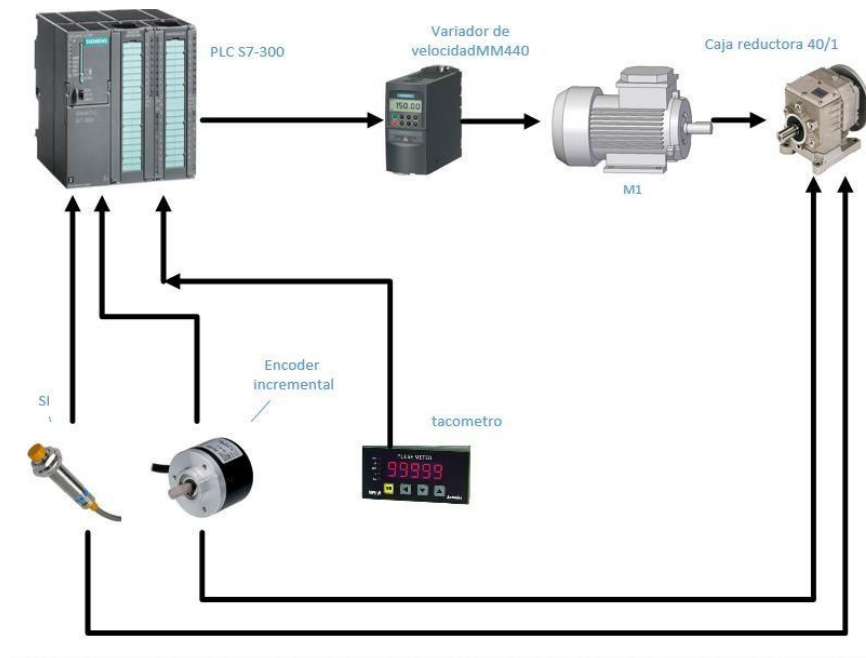


Figura 1. Diagrama de bloques del módulo.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software utilizado en este trabajo se denomina TIA Portal, el cual permite realizar procesos de automatización. Este software permite la optimización de todos aquellos procesos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Con una interfaz de usuario muy intuitiva, la sencillez de sus funciones y la transparencia de datos lo hacen fácil de usar.

El entorno grafico del TIA Portal es sencillo, en su primera pantalla se observan tres opciones bastante claras las cuales son abrir un proyecto existente, crear uno nuevo y migrar un proyecto.

Para iniciar un nuevo proyecto se abre el software TIA Portal donde se observara un IDE (entorno integrado de desarrollo) que se muestra en la figura 2, una vez ahí se selecciona crear proyecto.

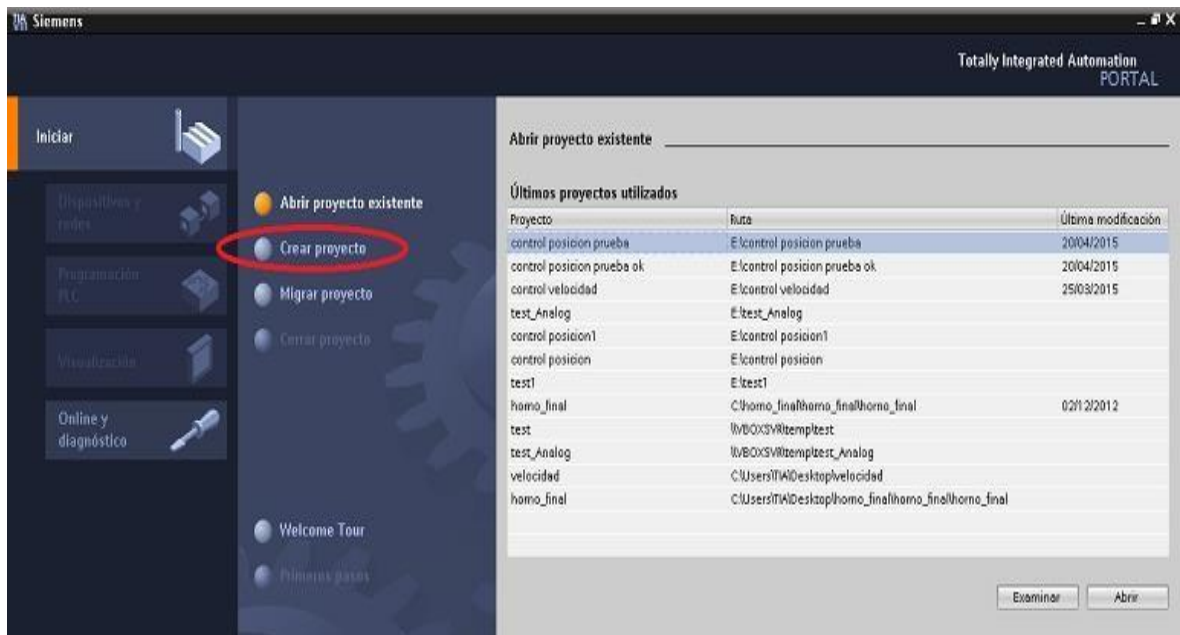


Figura 2. Pantalla Principal Tia Portal.

Se procede a escribir el nombre del proyecto y el lugar donde se desea guardar el proyecto, tal y como se muestra en la Figura 3.

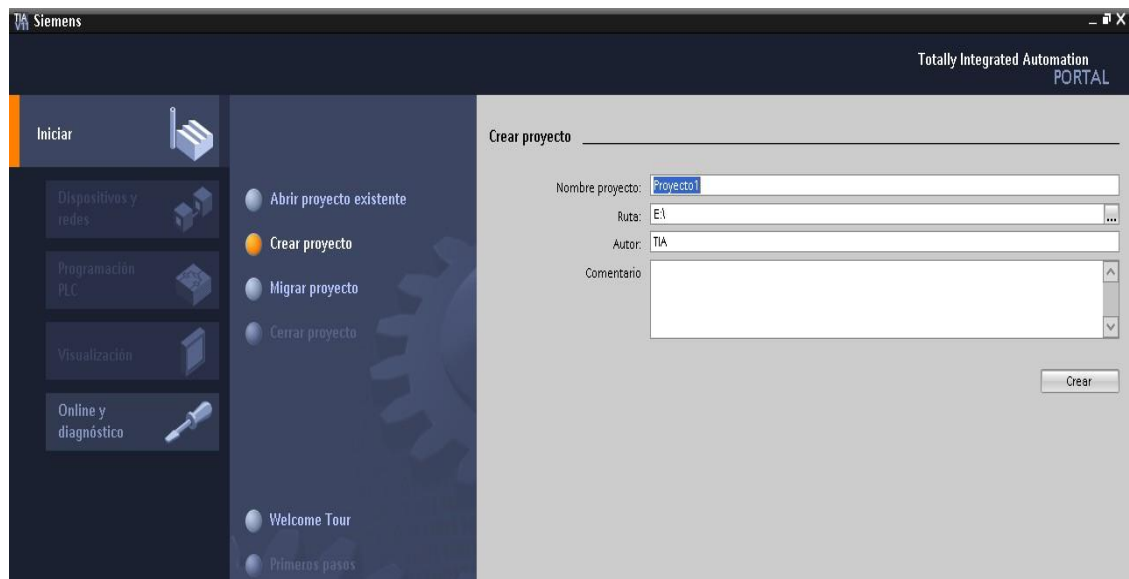


Figura 3. Crear Proyecto.

Una vez creado el nuevo proyecto, el software TIA Portal muestra una interfaz en la que brinda varias opciones: configuración, escribir el programa, configuración de HMI y la vista general.

4.2 CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE

4.2.1 Configuración del PLC

Seleccioné la opción de configurar el dispositivo que se muestra en la figura 4. Para dar inicio a la configuración del programa.

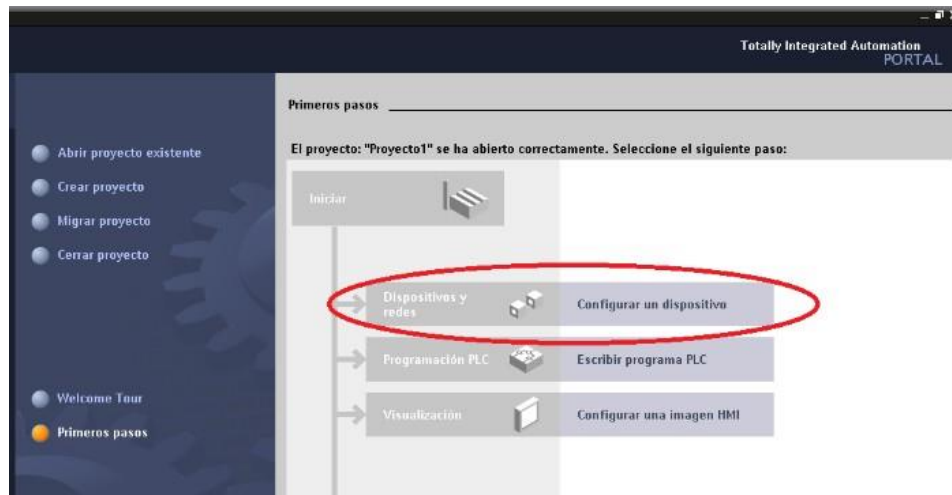


Figura 4. Configuración del dispositivo.

Una vez seleccionada esta opción se procede a agregar el PLC que se va a utilizar, en este caso se utiliza un SIMATIC S7-300 con la referencia 315F-2 PN/DP. Ver figura 5.

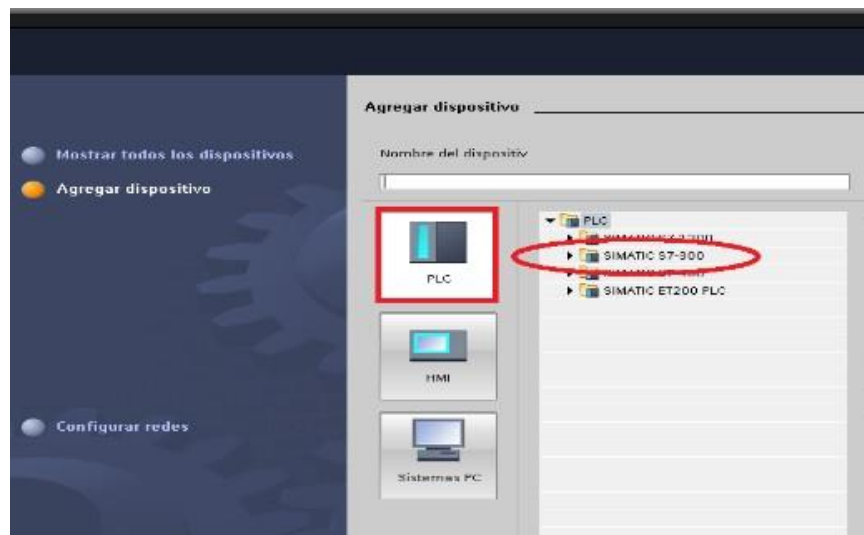


Figura 5. Referencia PLC S7 – 300 SIEMENS

El siguiente paso consiste agregar la fuente de alimentación del PLC, las entradas y salidas tanto analógicas como digitales. Estas se encuentran al desplegar la ventana del catálogo del hardware, la referencia de la fuente de alimentación es PS 307 5A_1, la referencia de las entradas y salidas digitales es DI 16/ DO16 x 24 / 323-1BL00-0AA0 y la referencia de las entradas y salidas analógicas es AI 14/ AO 2 8 bits_1 / 334 OCEO1 0AA0. Una vez identificado cada elemento se procede a arrastrar estos al lado del SIMATIC S7-300, como se evidencia en la figura 6.

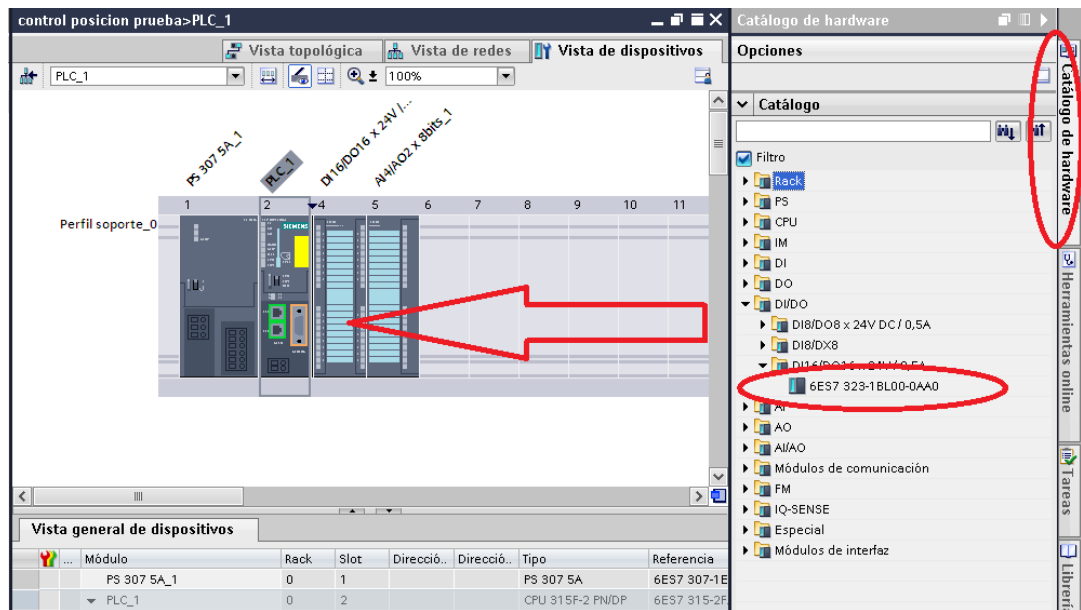


Figura 6. Elementos del PLC S7 – 300 SIEMENS.

Con los elementos que se van a utilizar en este módulo, el siguiente paso es configurar las direcciones de las entradas y salidas. Seleccione el módulo de entradas y salidas digitales, una vez seleccionado en la parte inferior de la pantalla se puede observar una ventana etiquetada general haciendo doble clic para que aparezcan las direcciones. En las direcciones de entrada y salida introduzca el número 4 en la dirección inicial y observe que el software entrega la dirección final. Se utiliza el número 4 para que la dirección inicial concuerde con su conexión física. Ahora seleccione el módulo de entradas y salidas analógicas, repitiendo el mismo procedimiento pero ahora establezca la dirección inicial en el 288.

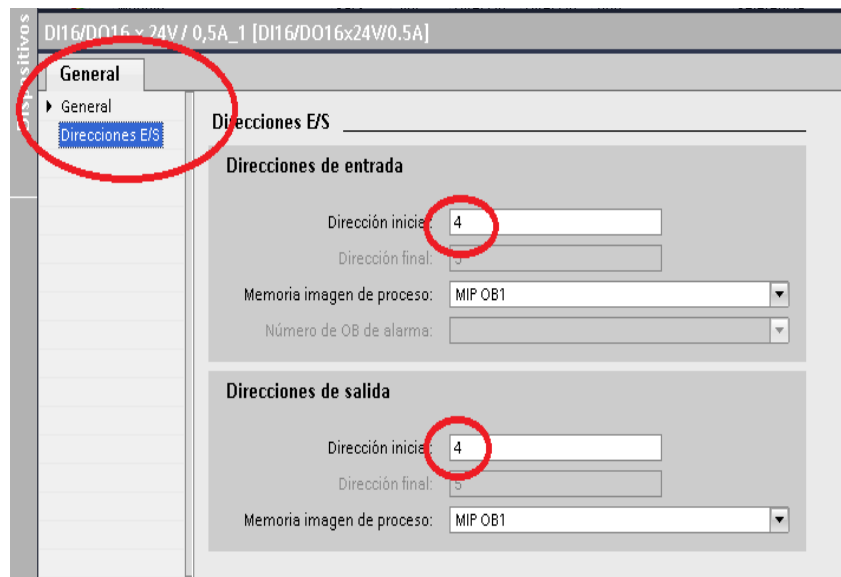


Figura 7. Direcciones entradas y salidas digitales.

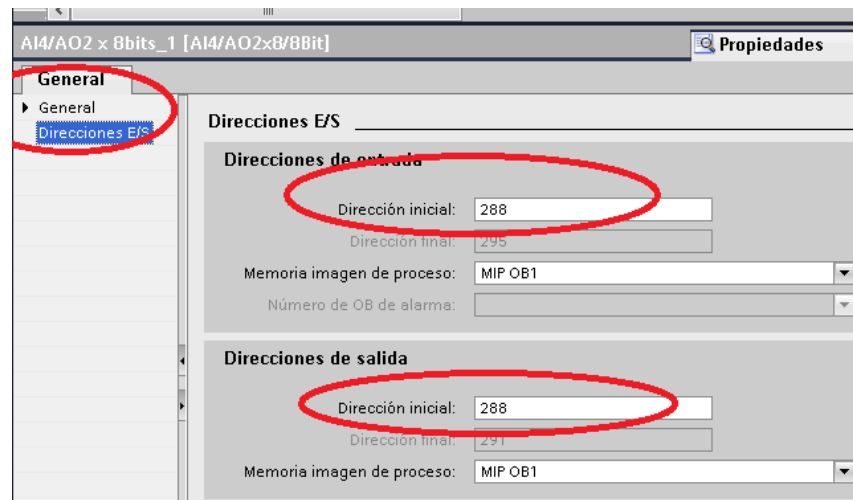


Figura 8. Direcciones entradas y salidas análogas.

La dirección IP del PLC debe ser consecuente con su dirección de conexión física y debe estar dentro de la misma subred de la dirección IP a la cual se encuentra conectado el equipo.

4.2.2 Configuración HMI

Al TIA Portal se le puede agregar una estación de WinCC Run Time Advance, el cual permite diseñar interfaces humano maquina (HMI).

En la pantalla de inicio de TIA Portal se hace clic en agregar dispositivo y se escoge la opción sistemas de PC. Ver la figura 9.



Figura 9. Referencia HMI.

Se procede a desplegar el icono PC general y se selecciona la opción de estación PC. Ver la figura 10.

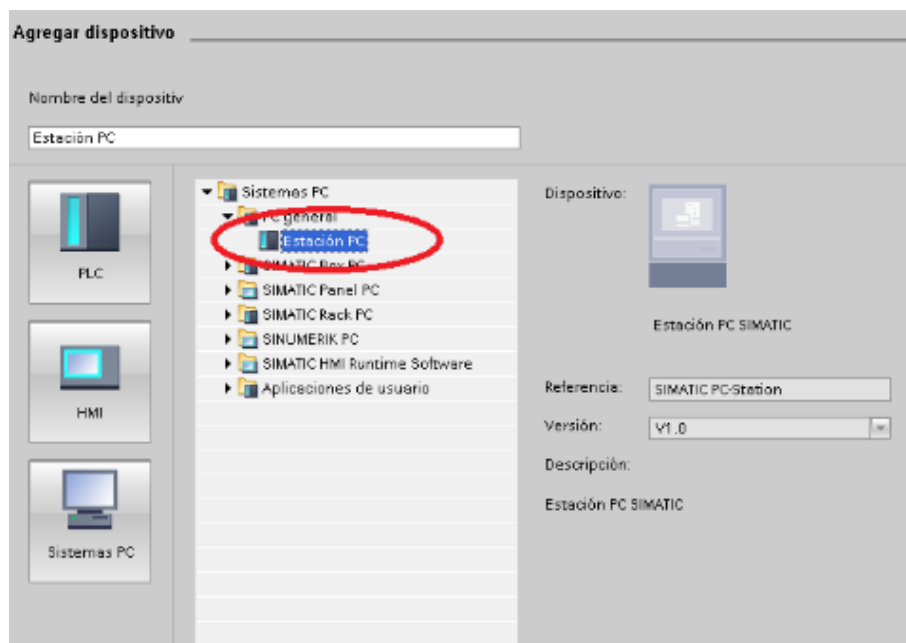


Figura 10. HMI.

Lo siguiente es ir a la vista de redes donde se observara la CPU del PLC y la estación que se acaba de agregar. En la parte superior derecha de la pantalla se encuentra una barra de catálogo de hardware, seleccione la siguiente ruta: estación PC / *Simatic HMI Runtime Software* / *WinnCC RT Advanced*.

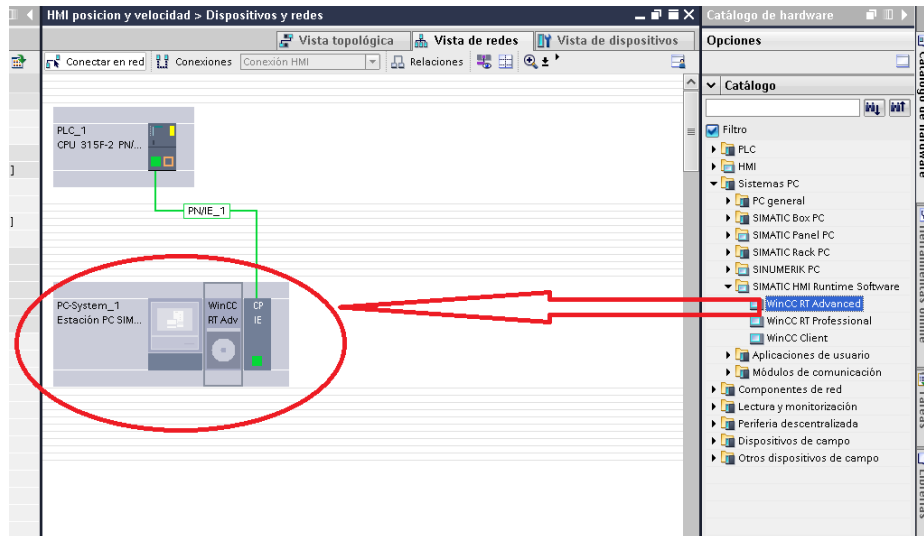


Figura 11. WinnCC RT Advanced.

A continuación se realiza el mismo procedimiento en catálogo de hardware pero utilizando la siguiente ruta: sistemas PC/módulos de comunicación/Profinet/Ethernet/IE general. Se desliza IE general hacia la estación PC y se conecta a la CPU del PLC como se muestra en la figura 11.

En visualización se despliega la opción que dice HMI y se hace clic en conexiones, una vez ahí se crea la conexión HMI y se le escoge el PLC con el cual se está trabajando Simatic S7-300/400. En la figura 12 se observa el estado de la conexión.

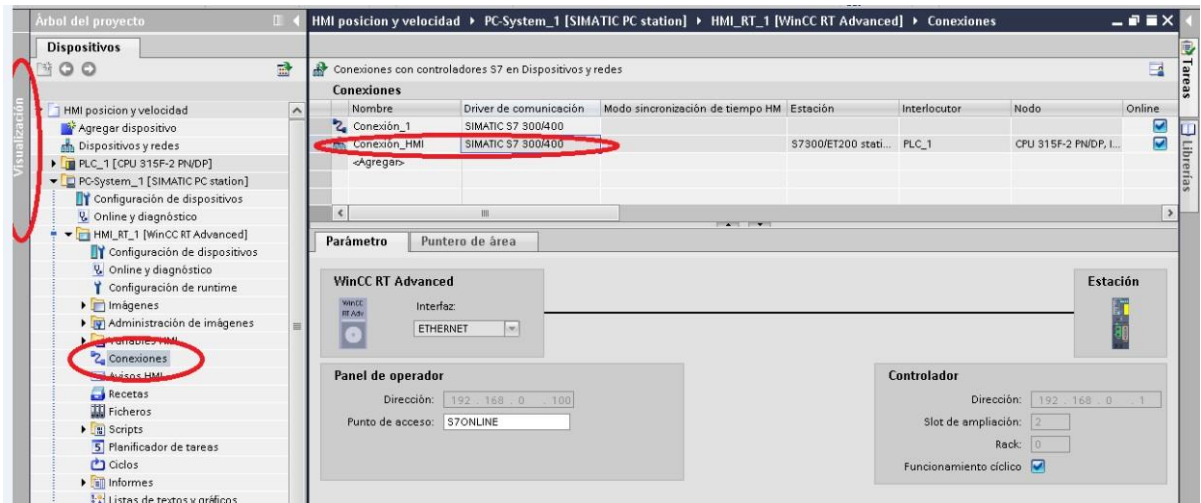


Figura 12. Conexiones.

Una vez hecho este procedimiento se verifica que *WinCC Run Time Advanced* esté conectado con el PLC, con esto queda finalizada la configuración del HMI.

4.3 HARDWARE

El modulo se compone por un motor A.C, variador de velocidad, encoder incremental, sensor inductivo de carácter resistivo y un tacómetro. El motor posee una caja reductora de 40 a 1 [rpm], a este se encuentra conectado un encoder incremental que a su vez está asociado a las entradas digitales del PLC, el variador de velocidad está conectado al motor y asociado a una salida analógica del PLC. De la caja reductora del motor sale un eje que tiene una muesca metálica con el fin de activar y desactivar el sensor inductivo. La distribución interna de esta planta se muestra en el esquema de la figura 13.

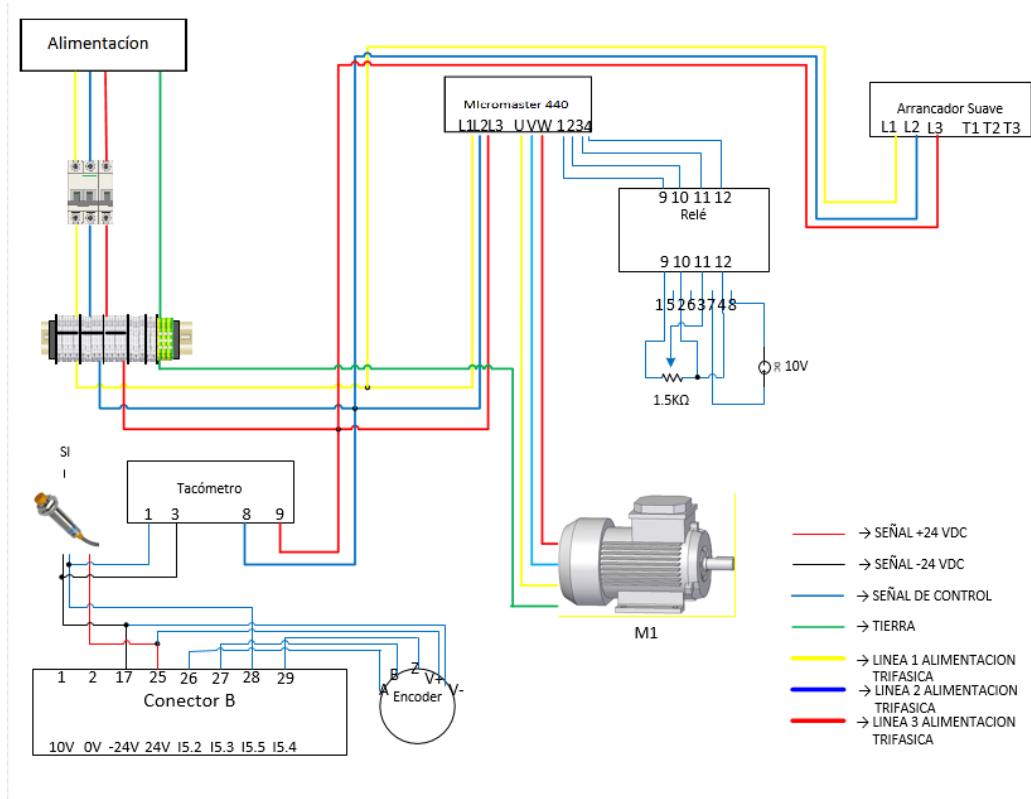


Figura 13. Planos Eléctricos del Módulo.

En la figura 14 se puede observar el módulo de control de posición o velocidad que se encuentra en el Laboratorio de Electrónica Industrial.

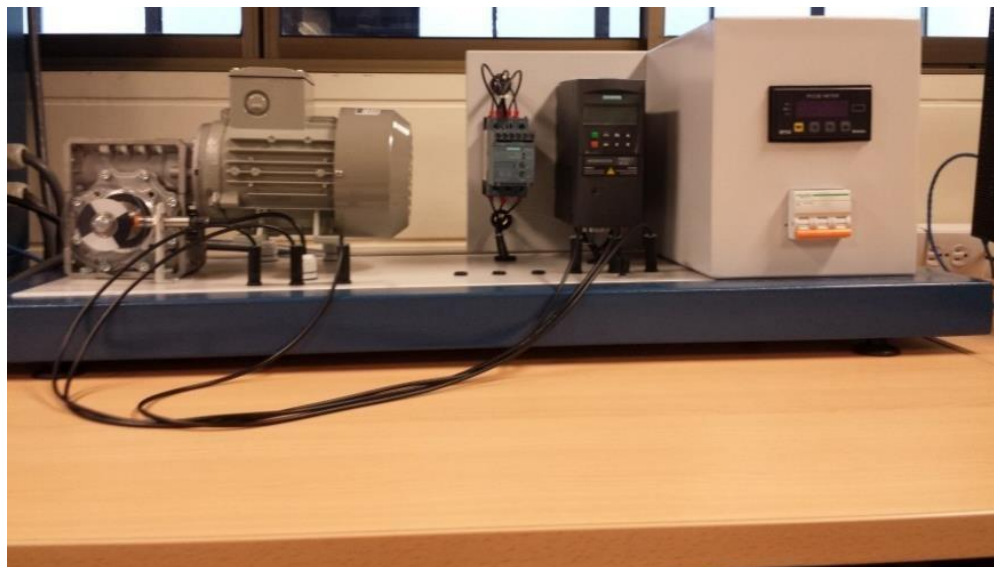


Figura 14. Módulo de posición o velocidad.

5. PROGRAMACIÓN

Para dar inicio a una programación se deben conocer los elementos generales que el TIA Portal ofrece, además de los esquemas de conexión del módulo en los que se observan las direcciones donde se encuentran conectadas entradas / salidas digitales y análogas.

5.1 ELEMENTOS DEL TIA PORTAL

Los elementos que se encuentran en TIA Portal se dividen en varios grupos conformados según su función. A continuación se muestran los de mayor uso.

- **General**

En el grupo general se encuentra entradas, salidas, entradas negadas y un bloque en general. Ver figuras 15, 16, 17 y 18.

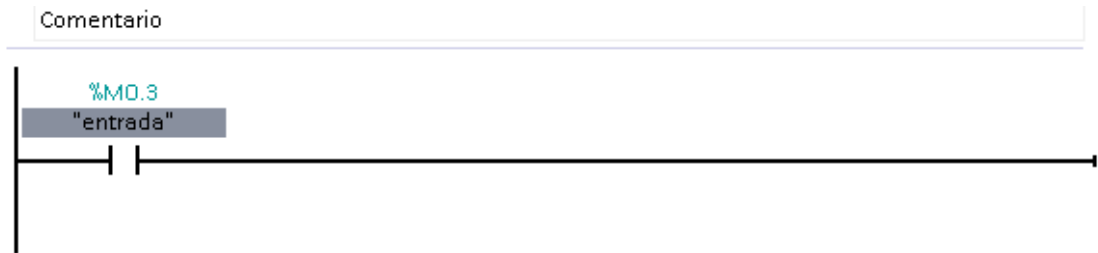


Figura 15. Entrada.

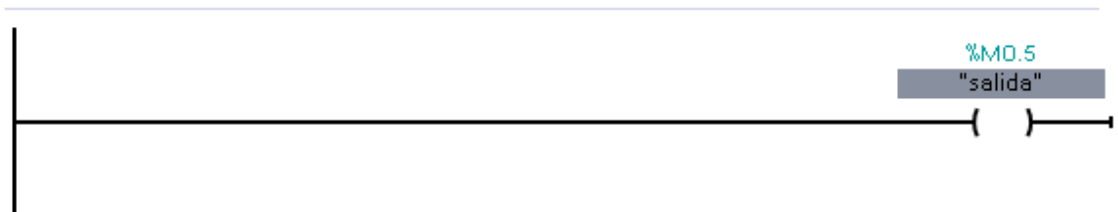


Figura 16. Salida.



Figura 17. Entrada Negada.

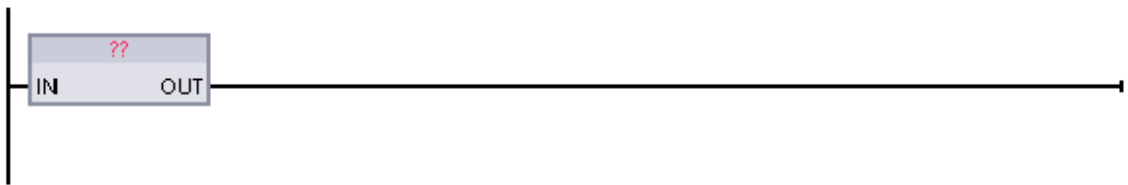


Figura 18. Bloque General.

- **Timers**

Este software ofrece tres tipos de timer. El primero es llamado TP, que es un timer que responde por retardo a un impulso, el timer TON o de retardo a la conexión este cuenta el tiempo establecido cuando está activa la entrada de habilitación. El último es el timer TOFF o retardo al desenergizar que retarda la desactivación de la salida Q por el tiempo programado en PT. Ver figura 19.

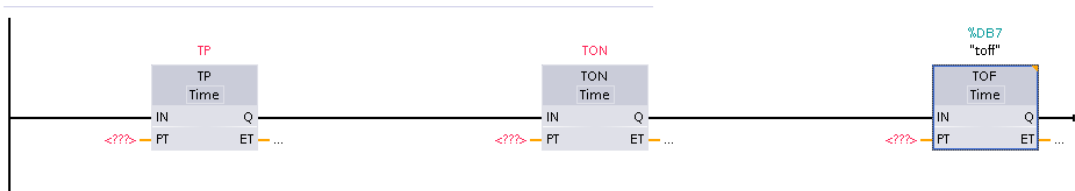


Figura 19. Timers.

- **Contadores**

Existen tres tipos de contadores ascendente, descendente y ascendente descendente, los cuales se activan cuando sus entradas de habilitación están activas. Ver figura 20.

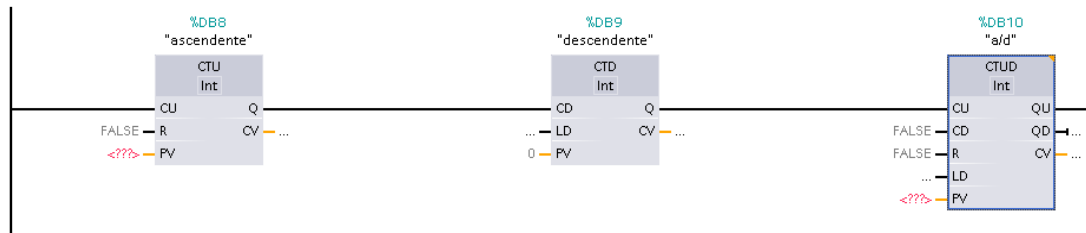


Figura 20. Contadores.

- **Transferencia**

Se encuentra el bloque MOVE que copia una variable en otra diferente. Observar figura 21.

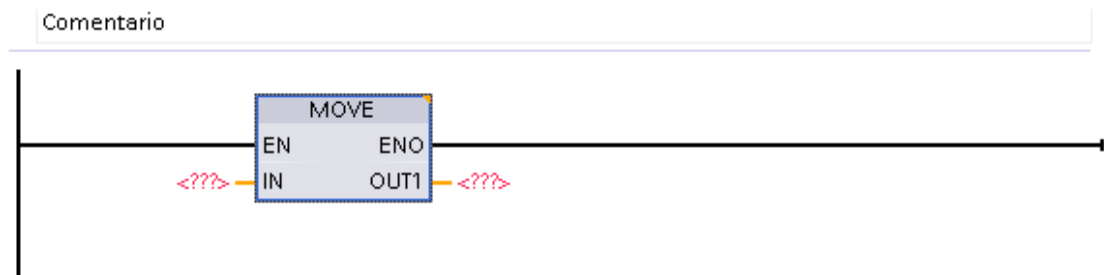


Figura 21. Bloque de transferencia.

- **Conversiones**

En conversiones se cuentan con opciones como son los bloques de conversión, redondeo, *floor*, *ceil* y truncado.

El bloque de conversión (CONV) tiene diferentes opciones de uso, que son convertir una variable del tipo entero (Int) a otra doble entero y bcd16 bits, de doble entero (DInt) a real y bcd 32 bits, bcd16 bits a Int y de bcd32 bits a DInt. El bloque se observa en la figura 22.

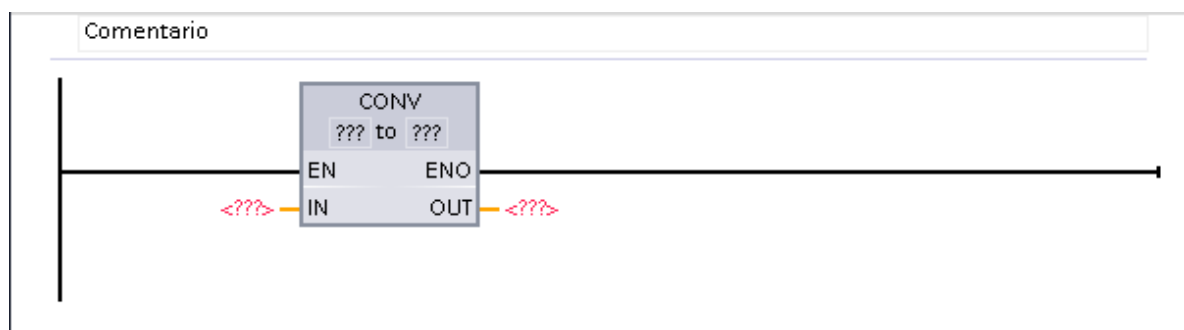


Figura 22. Conversión.

El bloque de redondeo tiene como función redondear una variable que se encuentra en coma flotante. La variable que se desee redondear debe ser del tipo real y será llevada a una variable del tipo doble entero (Dint). Ver figura 23.

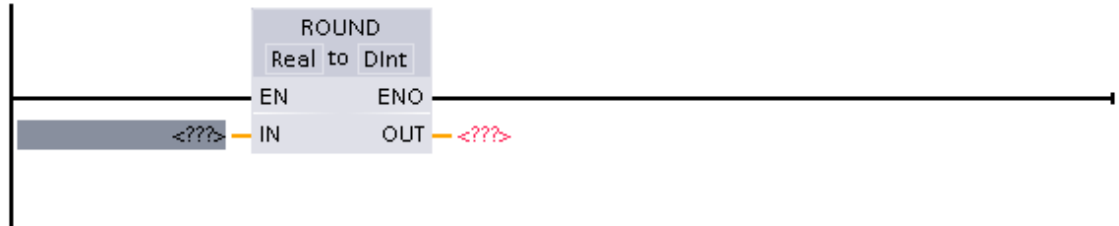


Figura 23. Redondear.

La función CEIL redondea un número de coma flotante al siguiente entero superior. Su entrada debe ser del tipo real y la salida será una variable tipo doble entero (Dint).

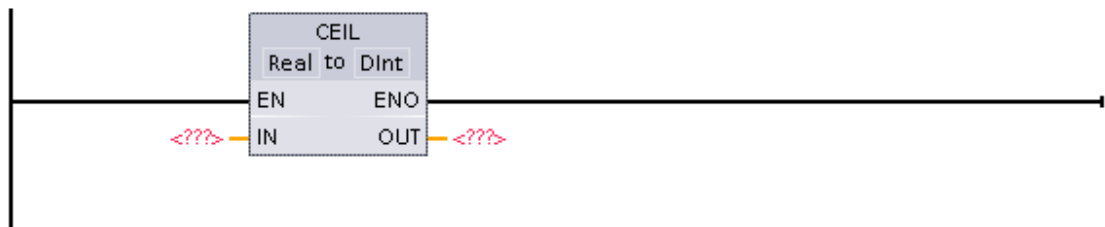


Figura 24. Redondear número al siguiente entero

El bloque de función FLOOR redondea un número de coma flotante al siguiente entero inferior, la variable de entrada es tipo real y la salida es doble entero (Dint).

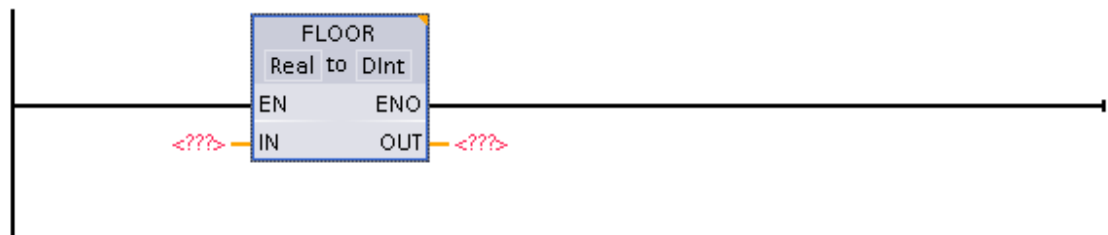


Figura 25. Redondear número al entero anterior.

El bloque TRUNC selecciona solo la parte entera de la entrada y la deposita sin decimales en la salida. Observar figura 26.

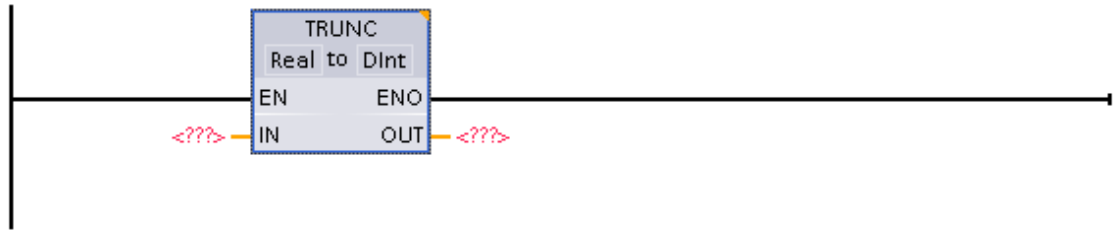


Figura 26. Bloque de truncado.

- **Escalado**

Dentro de esta sección se encuentra el bloque SCALE el cual tiene la función de convertir un número entero en un número en coma flotante que se escala en unidades físicas dentro de un límite superior y uno inferior definidos en los parámetros HI_LIM y LO_LIM. Ver figura 27.

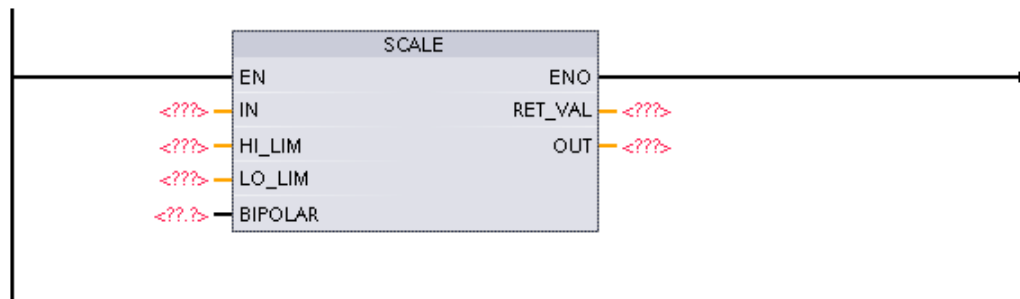


Figura 27. Bloque de escalado.

5.2 DIRECCIONES DE ALMACENAMIENTO

El direccionamiento es la acción de asignar una dirección de memoria a un conjunto de datos. En las tablas 1 y 2 se muestran las direcciones asignadas a las variables de salida y entrada tanto digitales como analógicas.

Tabla 1. Entradas y salidas digitales

Entradas Digitales		Salidas Digitales	
Entrada	Dirección	Salida	Dirección
PB1	I4.0	Y11	Q4.0
PB2	I4.1		
PB3	I4.2	Y12	Q4.1
A	I5.2		
B	I5.3		
Z	I5.4	Y13	Q4.2
S.I	I5.5		

5.3.2 Programación código control de posición

En este caso en particular la unidad seleccionada para mostrar la posición del eje del motor es en grados.

Al igual que el código de velocidad se tienen las mismas herramientas y datos. Una vuelta completa corresponde a 1024 pulsos, es decir, cada 360° se tienen 1024 pulsos.

El cálculo del valor de posición se hace a través de un regla de 3 como se muestra en la siguiente ecuación.

$$g \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \hline \end{array} = \frac{P^* \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \hline \end{array}}{\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ \hline \end{array}} \quad (5.4)$$

Es importante resaltar que el encoder utilizado es incremental, por lo tanto se debe pensar en una referencia para el punto de partida que es cero grados [0°], en este caso se utilizara como referencia una señal digital del encoder Z que le asigna dirección I5.4.

Para el funcionamiento adecuado de éste código es necesario inicialmente dirigirse al punto de referencia (0°) y luego buscar la consigna ingresada, es decir, los grados que desee posicionarse el usuario.

Para lograr esto se programa primero la buscar la referencia 0° y una vez finalizada se inicia el conteo, la conversión de pulsos a grados y finalmente se introduce este valor al controlador PID.

5.4 PROGRAMACIÓN EN WINCC RUN TIME ADVANCED

En el entorno de trabajo de TIA Portal se observa en la parte superior izquierda de la pantalla donde se encuentra el árbol del proyecto, ahí se selecciona la HMI, y se despliegan varias opciones, una de ellas son las imágenes, en esta opción es donde se trabaja en el diseño de la pantalla. Una vez seleccionada la imagen 1 que aparece por defecto el software muestra el entorno de trabajo como se observa en la figura 28.

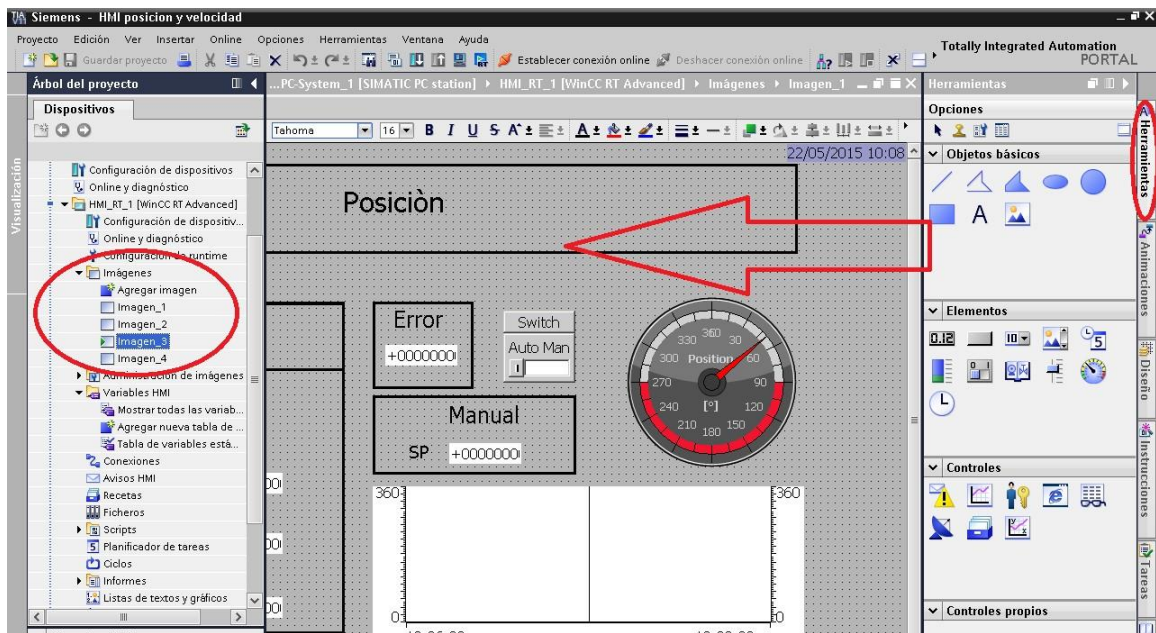


Figura 28. Entorno grafico HMI.

El diseño se desarrolla arrastrando los elementos de la barra de herramientas hacia la pantalla, ver figura 28. El software cuenta con herramientas de diseño y estas se dividen en tres grupos que son: objetos básicos, elementos y controles.

Los objetos básicos son líneas, triángulos, cuadrados, espacios para agregar imágenes y espacios para agregar textos.

En los elementos encontramos campos de ingreso de datos, botones, hora y fecha, barras, deslizadores, selectores y elementos de control.

Los controles contienen gráficas y avisos.

Los elementos que se arrastran a la pantalla requieren ligarse a alguna variable para que puedan efectuar acciones en la pantalla, ya sean variables creadas en la HMI o variables del programa principal. Para enlazar la variable al objeto que se desee es necesario ir a las propiedades de este, tal y como se observa en la figuras 29 y 30.

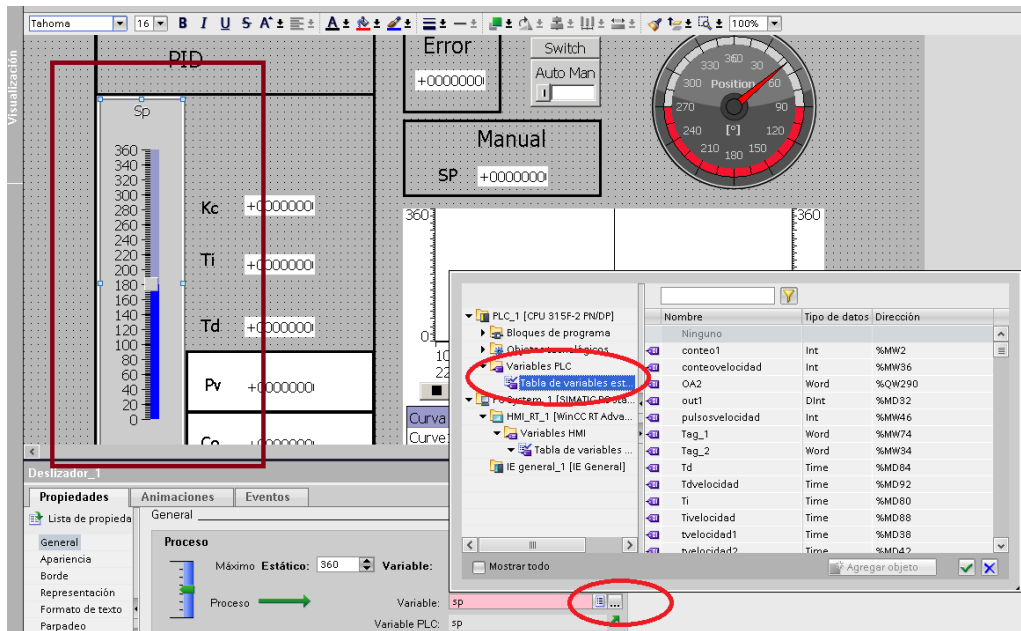


Figura 29. Enlace de Variables.

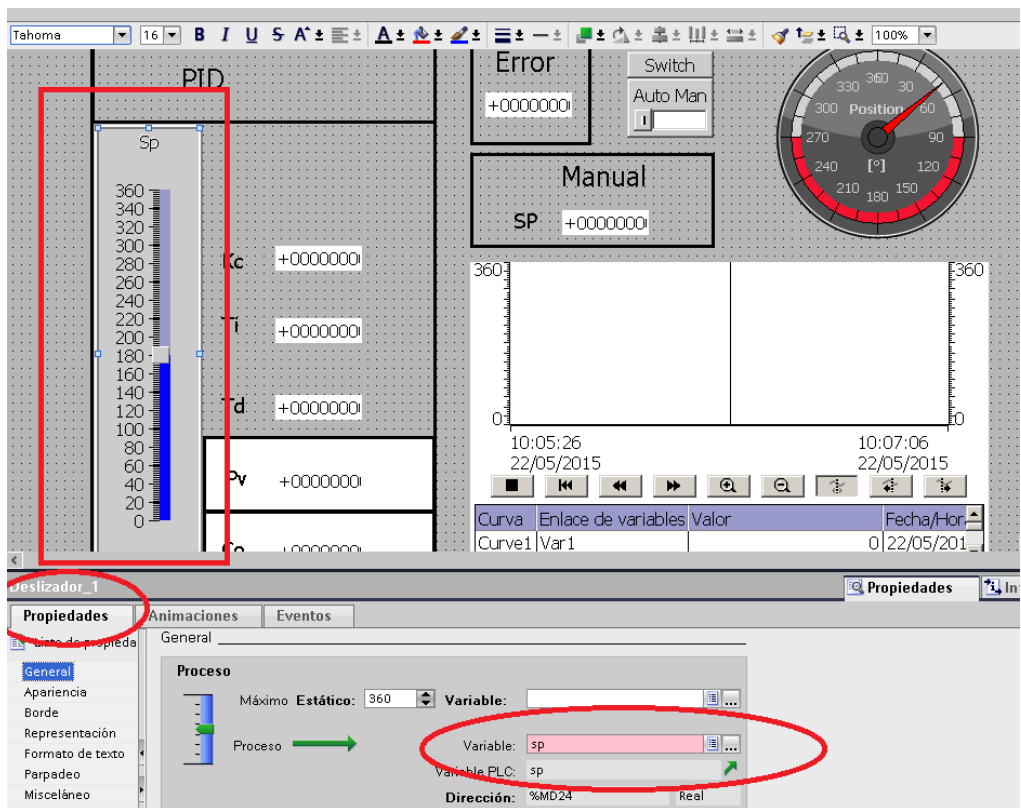


Figura 30. Enlace de Variables HMI.

Para crear variables, se seleccionan las variables HMI en el árbol del programa y se agregan en la tabla que se observa en la figura 31. En esta tabla también se encontrarán aquellas variables del PLC que se han asignado a algún campo en la pantalla, se pueden identificar porque son variables del PLC con una conexión HMI. Las variables del PLC no deben asignarse nuevamente por el usuario, una vez están enlazadas con algún campo de la pantalla estas se agregan por defecto a la tabla de variables de la HMI.

Variables HMI						
Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre de PLC	Variable PLC	Dirección
3CR	Tabla de variables estándar	Bool	Conexión_HMI	PLC_1	3CR	%M0.1
5CR	Tabla de variables estándar	Bool	Conexión_HMI	PLC_1	5CR	%M0.3
6CR	Tabla de variables estándar	Bool	Conexión_HMI	PLC_1	6CR	%M0.5
conteo velocidad	Tabla de variables estándar	Int	Conexión_HMI	PLC_1	conteo velocidad	%MW36
er	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	er	%MD20
error velocidad	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	error velocidad	%MD68
gain	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	gain	%MD28
gain velocidad	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	gain velocidad	%MD76
grados	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	grados	%MD12
lmm	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	lmm	%MD16
lmm velocidad	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	lmm velocidad	%MD64
sp	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	sp	%MD24
sp manual	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	sp manual	%MD96
sp manual vel	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	sp manual vel	%MD100
sp velocidad	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	sp velocidad	%MD60
star	Tabla de variables estándar	Bool	Conexión_HMI	PLC_1	star	%M0.6
star vel	Tabla de variables estándar	Bool	Conexión_HMI	PLC_1	star vel	%M1.0
stop	Tabla de variables estándar	Bool	Conexión_HMI	PLC_1	stop	%M0.7
stop vel	Tabla de variables estándar	Bool	Conexión_HMI	PLC_1	stop vel	%M1.1
Td	Tabla de variables estándar	Time	Conexión_HMI	PLC_1	Td	%MD84
Td velocidad	Tabla de variables estándar	Time	Conexión_HMI	PLC_1	Td velocidad	%MD92
Ti	Tabla de variables estándar	Time	Conexión_HMI	PLC_1	Ti	%MD80
Ti velocidad	Tabla de variables estándar	Time	Conexión_HMI	PLC_1	Ti velocidad	%MD88
vel rpm	Tabla de variables estándar	Real	Conexión_HMI	PLC_1	vel rpm	%MD56
<Agregar>						

Figura 31. Tabla de Variables HMI.

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el trabajo fueron una interfaz hombre maquina tanto para el controlador de posición como para el controlador de velocidad, las cuales permiten dos modos de trabajo, uno para el control en lazo abierto y el otro para el control en lazo cerrado. En lazo abierto permite la toma de datos necesarios para la identificación y sintonización del mismo y el modo lazo cerrado permanente que servirá para comprobar el correcto funcionamiento del diseño que se implementó para estos dos controladores PID.

En el diagrama de flujo funcional de la interfaz se observan los procedimientos que se sigue en cada caso. Para el control de posición se realiza la conversión de pulsos a grados, se ingresa al controlador este la compara con el *setpoint* y la acción de control. En velocidad se cuentan pulsos cada cien milisegundos se convierten los pulsos en revoluciones por minuto y se ingresan al controlador, el cual compara con el *setpoint* y envía la señal de control, es decir, está enviando señales de control cada cien milisegundos.

6.1 HMI PARA EL CONTROL DE POSICIÓN O VELOCIDAD

La interfaz cuenta con cuatro pantallas, una principal y tres secundarias. La pantalla principal muestra el título del proyecto, el logo de la universidad, el autor y permite escoger el sistema de posición o el de velocidad. Está distribuida de la siguiente forma el título se encuentra ubicado en la parte superior de la pantalla, debajo de este están presentes dos botones con las opciones de velocidad y posición, en la parte inferior izquierda está ubicado el logo de la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, en la esquina inferior derecha el autor y debajo de este un botón para parar el *Run Time*.

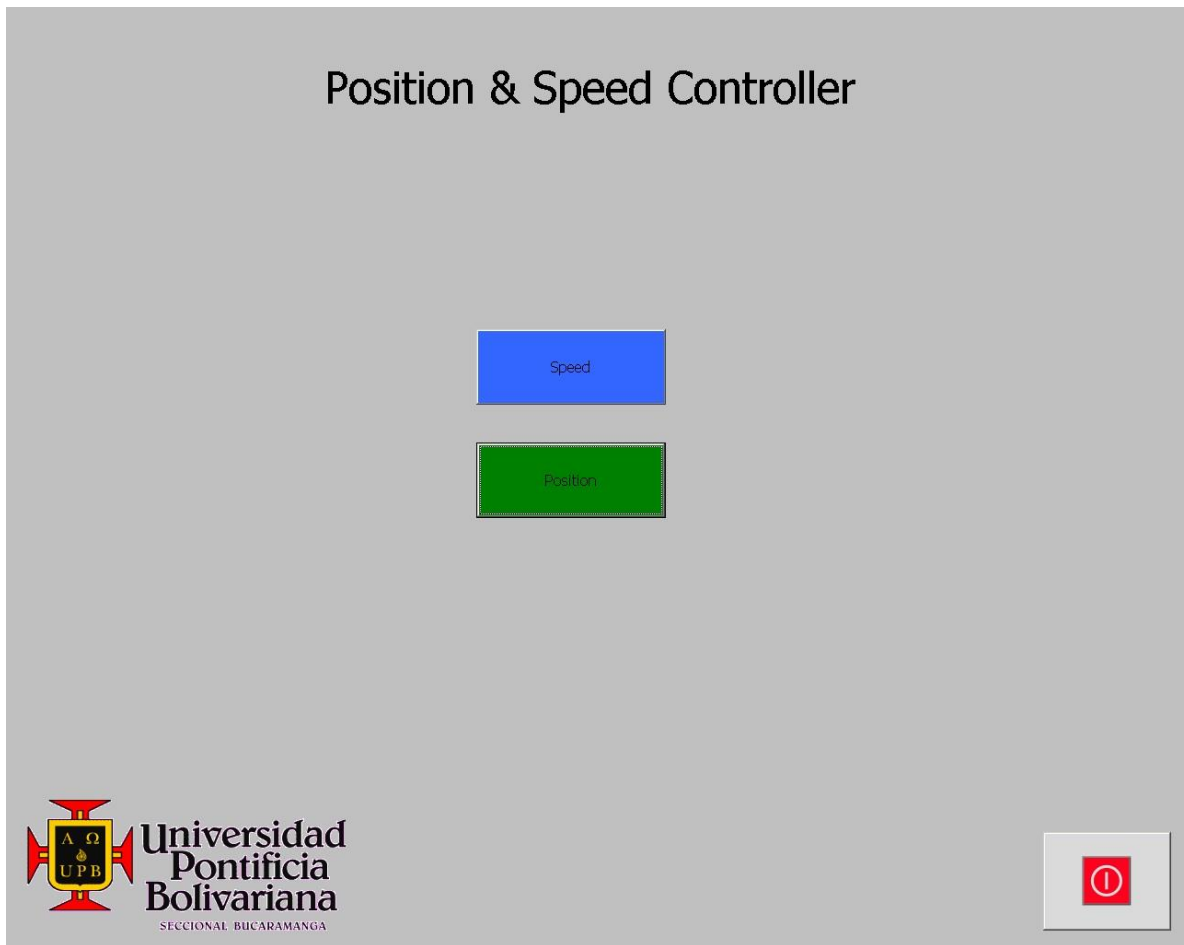


Figura 32. Home.

En la pantalla de control de posición se observa el título “*Position Control*” centrado en la parte superior, detallando la pantalla de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Se encuentran dos barras de deslizamiento que corresponden al *setpoint* y a la variable manipulada, siendo editable el *setpoint*, a su izquierda se encuentra los espacios para introducir las constantes del PID que son la constante proporcional (K_p), el tiempo integral (TI) y el tiempo derivativo (T_d). También se observa el valor manipulado, la señal de control y el error, estos campos no son editables. Siguiendo hacia la izquierda está un interruptor que permite acceder a los modos manual y automático del controlador además de un cuadro para el modo manual, el cual posee un campo para escribir el *setpoint* manual, a su izquierda un tacómetro con una unidad en grados de límite inferior cero y límite superior treientos sesenta. Debajo una gráfica donde se observan la variable manipulada, *setpoint* y señal de control a la izquierda de esta tres botones el primero con un color verde es el botón de inicio (*start*), el segundo corresponde al botón de parada (*stop*) y el tercero es un botón para regresar a la pantalla principal. Ver figura 33.

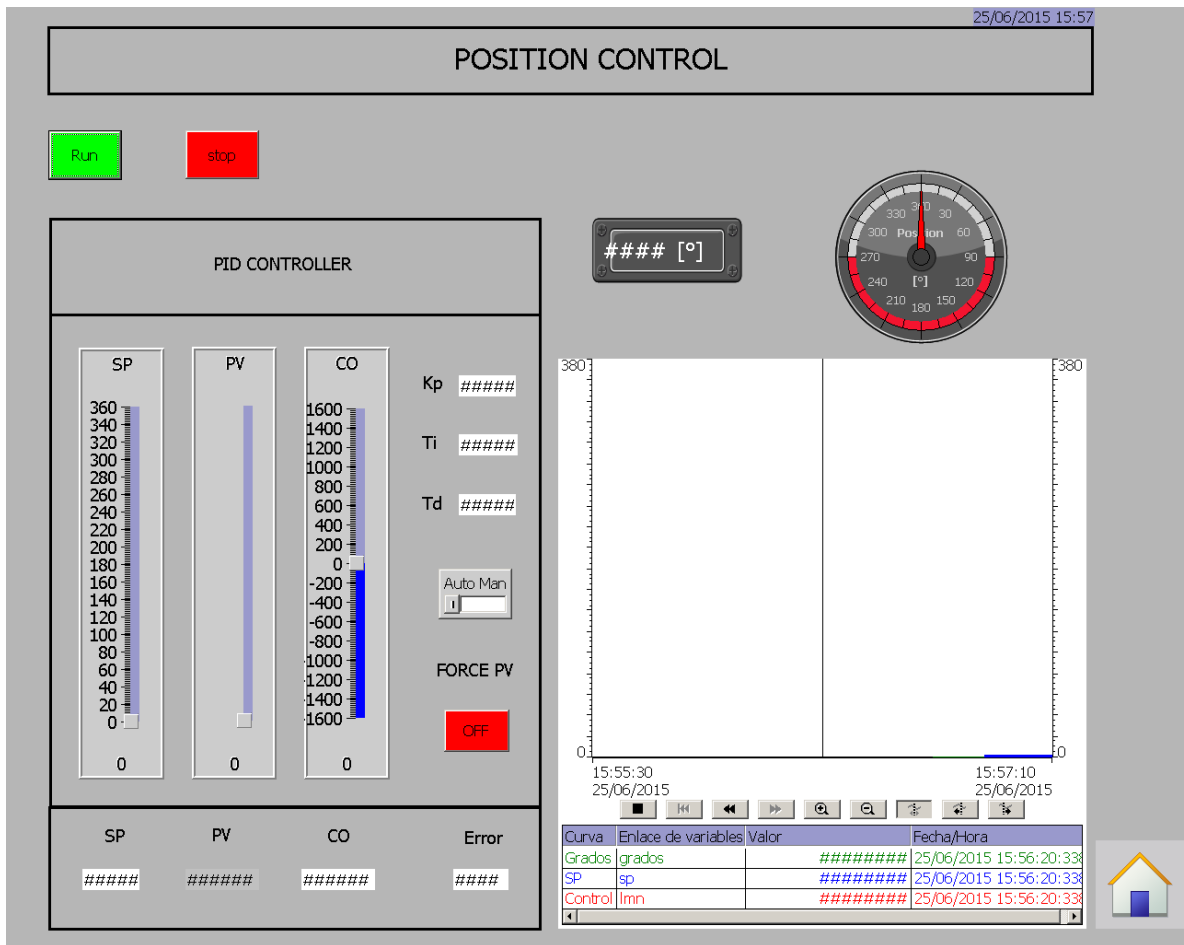


Figura 33. HMI control de posición

Para la parte de velocidad se tiene el título centrado en la parte superior “*Speed Control*” observando de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo se tienen en primera instancia dos barras de deslizamiento que corresponden al *setpoint* y a la variable manipulada, el *setpoint* es editable y la variable manipulada es de salida solo se puede observar. A su izquierda las constantes del controlador PID, el control y un campo para la variable manipulada, siguiendo hacia la izquierda el error, un interruptor y un cuadro para el modo manual. El interruptor permite pasar del modo automático al manual y viceversa, en el cuadro del modo manual se encuentra el campo editable para el *setpoint* y a su izquierda se encuentran dos tacómetros uno digital y otro análogo con límites superiores e inferiores que van desde las veinte revoluciones por minuto hasta las menos veinte revoluciones por minuto respectivamente. Debajo encontramos la gráfica que muestra la variable manipulada, *setpoint* y señal de control y a su izquierda cuatro botones teniendo uno de inicio (*start*), parada (*stop*), graficar (*graphics*) y el botón de regresar a la pantalla principal. El botón de grafica envía a otra pantalla donde se encuentra la misma grafica que en la pantalla de velocidad pero en un tamaño más grande permitiendo así una mejor visualización de las variables y un botón para regresar a la pantalla de velocidad. Ver figura 34.

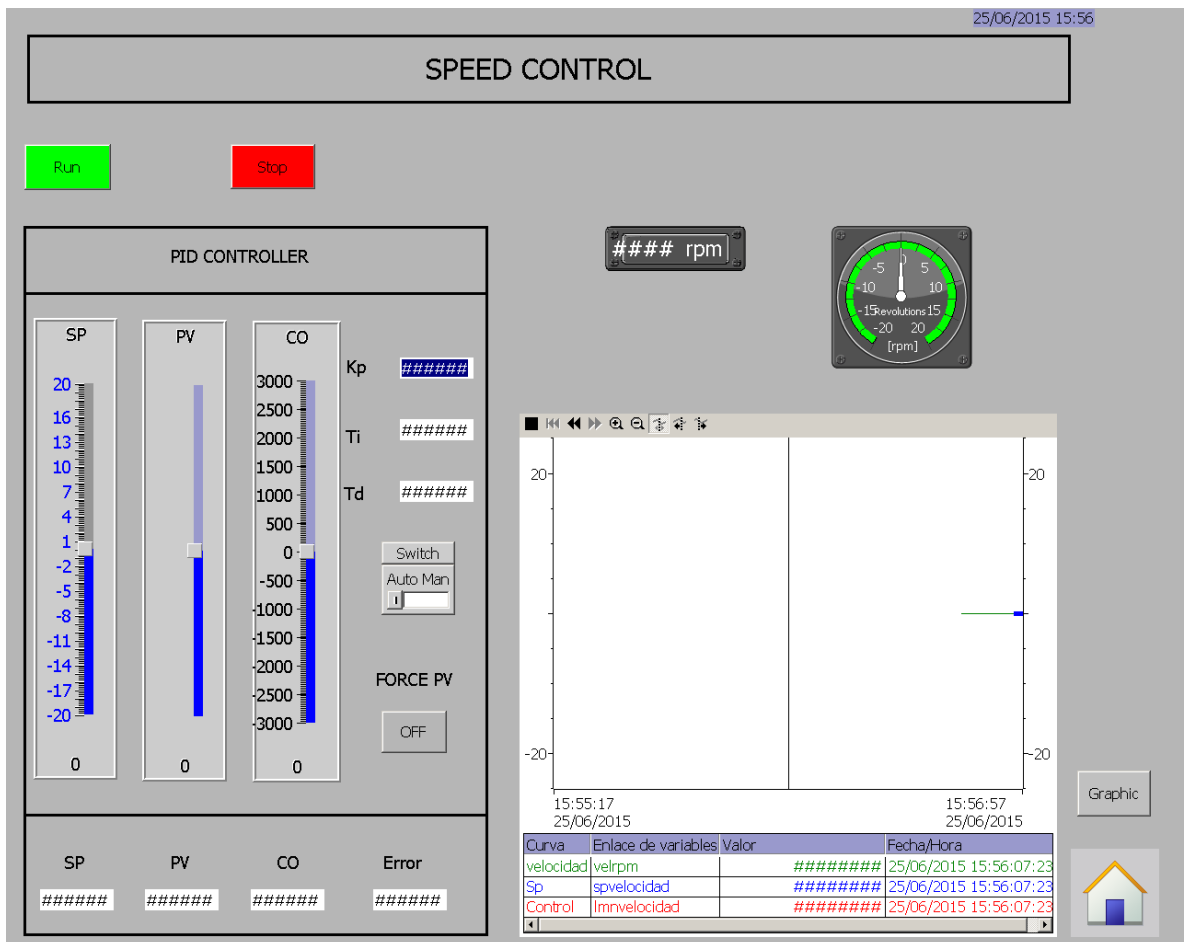


Figura 34. HMI control de velocidad.

6.2 OPERACIÓN EN LAZO ABIERTO

El funcionamiento en lazo abierto va a permitir realizar una curva de operación mediante la asignación del *setpoint* que en este caso vendría siendo la variable manipulada debido a que no se tiene realimentación. El rango de valores que se le puede asignar al *setpoint* depende del tipo de dato que sea esta variable. El *setpoint* es del tipo Word estos datos son una palabra, cada número es una palabra que corresponde a un voltaje de cero a 10 voltios y a su vez corresponden a una frecuencia de menos sesenta a sesenta Hertz.

Para operar en lazo abierto el usuario debe seleccionar el interruptor en el modo de operación manual. En la figura 35 se observa la operación en lazo abierto para el control de posición.

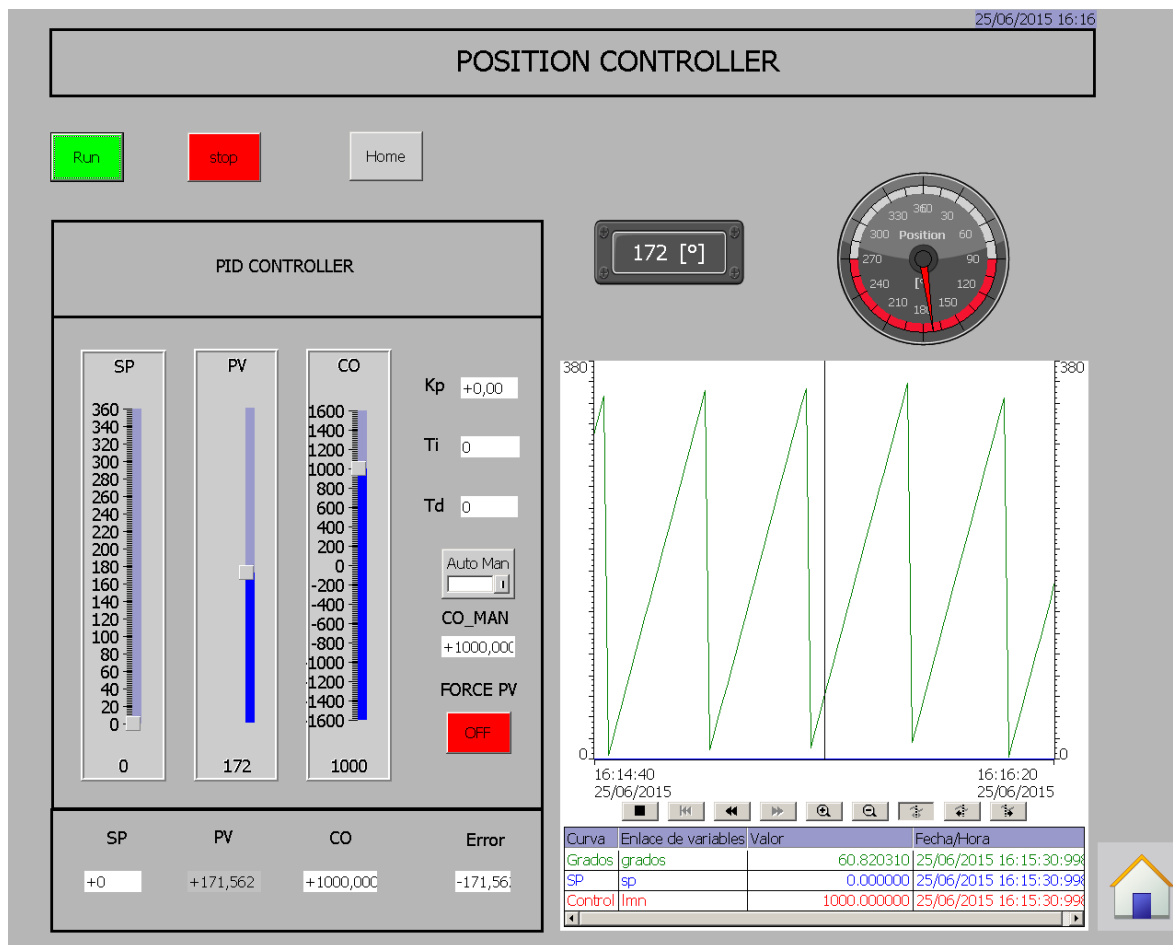


Figura 35. Operación en lazo abierto para el control de posición.

En la figura 36 se observa la operación en lazo abierto para el control de velocidad.

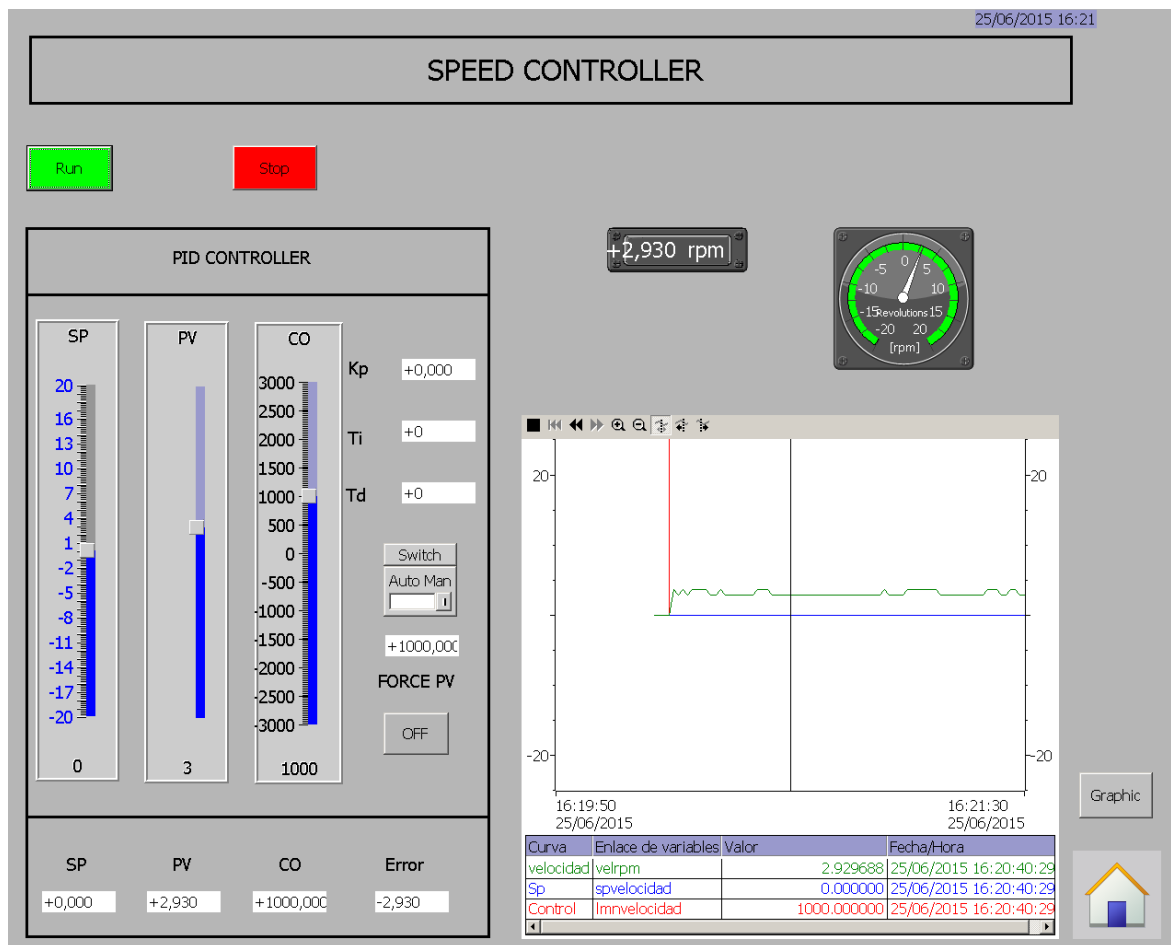


Figura 36. Operación en lazo abierto para el control de velocidad.

6.3 IDENTIFICACIÓN Y SINTONIZACIÓN

En esta sección se llevara a cabo el proceso que se realiza en el controlador de velocidad de toma y manejo de datos para la identificación de la plata y sintonización del controlador.

6.3.1 Identificación

En el controlador de velocidad se selecciona el modo manual y se ingresan señales de control manual para obtener datos de velocidad correspondientes a cada una de estas señales. Los datos que se obtuvieron se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Datos identificación

Frecuencia [Hz]	Velocidad [rpm]
1	1
1.5	1.2
2	1.8
3	2.3
3.5	2.9
4	3.2
4.5	3.5
5.5	4.1
6	4.7
6.5	5

De estos datos se obtiene la ganancia estática del sistema la cual se calcula dividiendo la velocidad sobre la frecuencia, la ganancia que se obtuvo fue de 0.8.

Debido a la presencia del variador de velocidad se tiene una rampa de aceleración que en este caso se estableció de 1 segundo la cual se puede aproximar a un modelo de primer orden, esto se hace a través de la siguiente ecuación.

$$\frac{-\diamond}{-} \quad (6.1)$$

$$\diamond(\diamond) = \diamond - \diamond^T$$

Cuando t tiende a ∞ se obtiene la siguiente función de transferencia que identifica la planta de velocidad.

$$\diamond = \frac{\diamond \diamond}{\diamond} \quad (6.2)$$

$$\diamond \diamond \diamond \diamond \diamond$$

6.3.2 Sintonización

Haciendo uso de *simulink* se sintonizan las variables a través del bloque PID que este ofrece. El diagrama para modelar la planta con control PID de *simulink* y en lazo abierto es el que se observa en la figura 42.

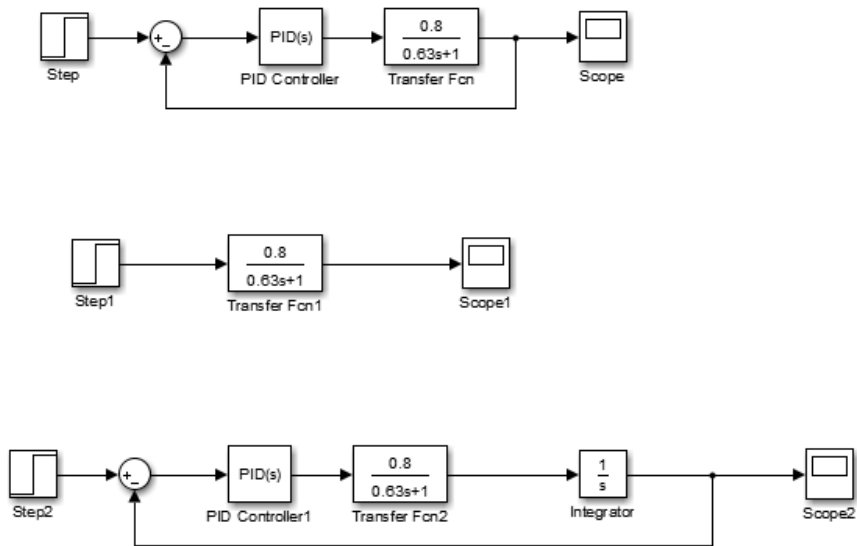


Figura 37. Diagramas de bloques del controlador de velocidad en lazo abierto y cerrado

Seleccionando el bloque de control PID de simulink se encuentra la opción para sintonizar las variables. Ver figura 38.

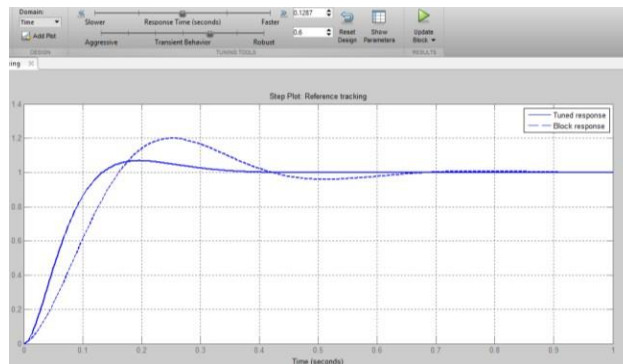


Figura 38. PID TUNER

En la parte superior se observan dos barras deslizadoras: una que permite que el controlador sea más rápido o más lento y la otra agresivo o robusto, estas barras se utilizan para la sintonización. Cuando la sintonización se encuentre lista se refresca el bloque y se muestran los valores de las constantes. Ver figura 49.

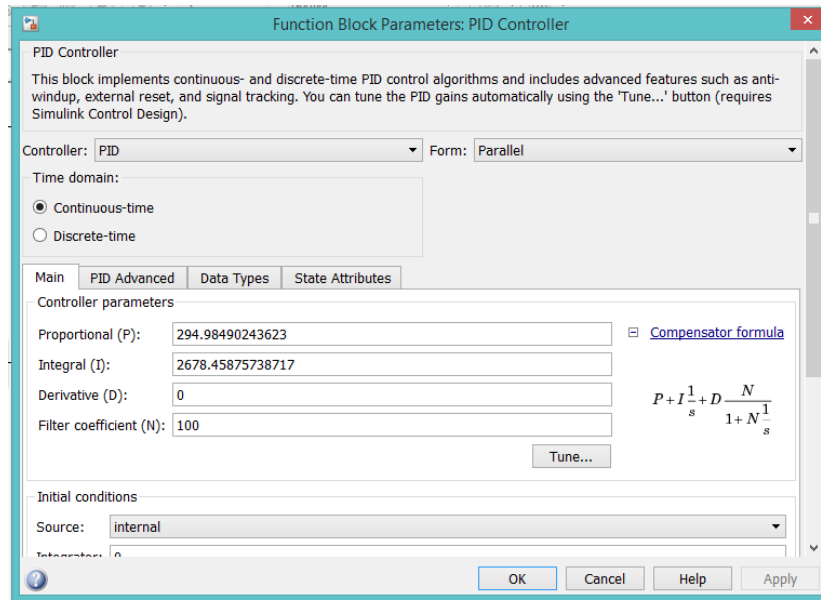


Figura 39. Variables PID

El controlador arroja los valores de la constante proporcional, constante integral y tiempo derivativo. Los parámetros que se ingresan a la HMI son constante proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo. El cálculo del tiempo integral depende si es un controlador ideal o paralelo, para un controlador ideal esta dado como uno sobre la constante integral y para el controlador en paralelo sería la constante proporcional sobre la constante integral.

Los resultados del modelo de *simulink* muestran el comportamiento del sistema en lazo abierto y en lazo cerrado en las figuras 40 y 41 para el modelo de velocidad.

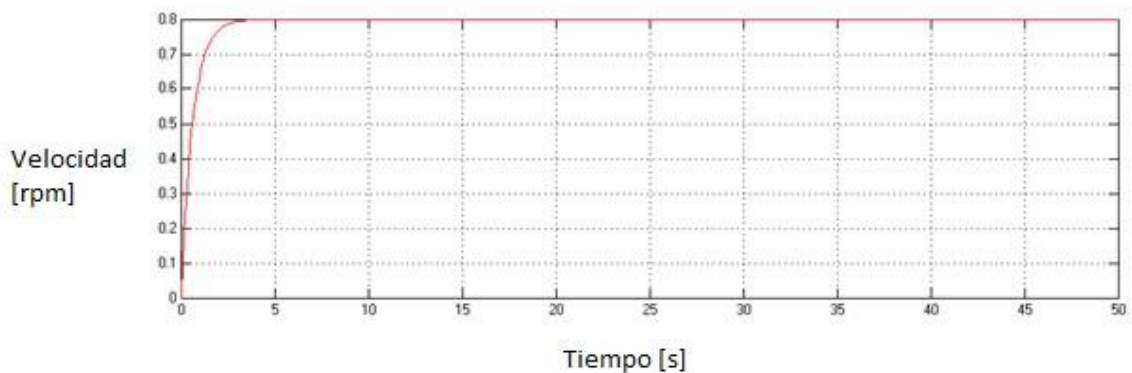


Figura 40. Respuesta sistema lazo abierto

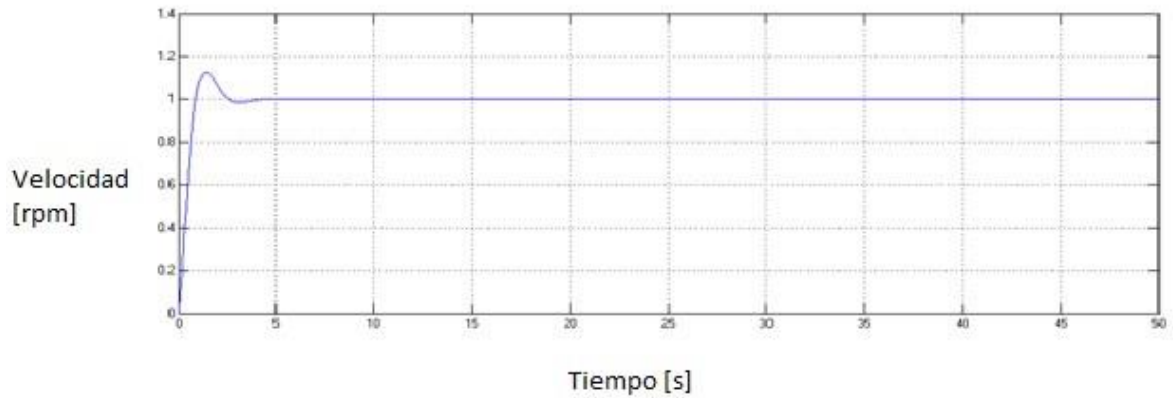


Figura 41. Respuesta sistema lazo cerrado

6.4 OPERACIÓN EN LAZO CERRADO

La operación en lazo cerrado corresponde a la parte final, es donde se observa el sistema funcionando con una realimentación de las variables posición o velocidad, que son las variables del proceso (PV) y el error va al controlador PID para que este genere los valores que se necesitan para lograr el funcionamiento correcto.

En la interfaz (HMI) se accede al modo automático (lazo cerrado) moviendo el interruptor a auto. Una vez en este modo se ingresan las variables obtenidas en la sintonización y se establecen las consignas deseadas por el usuario para que se ejecute el control PID.

7. CONCLUSIONES

Al finalizar el proyecto de grado se logró cumplir con el dibujo eléctrico del módulo de control de posición o velocidad, ubicado en el Laboratorio de Electrónica Industrial en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, este módulo está unido a un PLC SIEMENS S7-300 y a una HMI.

Esta HMI permite operar y supervisar el control de posición o velocidad. Para el diseño de los códigos de control se implementó un diagrama de flujo, gracias a este se facilita la codificación y el diseño de la HMI. Se investigó sobre todos los elementos presentes en el módulo y sobre el TIA Portal, obteniendo de esta manera los códigos de control de velocidad y posición. Al realizar la integración de la codificación con la HMI se pudo apreciar el comportamiento del sistema y se determinó que debido a que se posee un encoder incremental y las velocidades que alcanza el motor de 1590 [rpm] unido a una caja reductora de 40 a 1 es necesario la implementación de un módulo de entradas/ salidas digitales de alta velocidad para que el PLC sea capaz de contar los pulsos provenientes del encoder a medida que aumenta la velocidad

Se consigue elaborar el interfaz gráfico que permite la operación del sistema y a su vez la visualización de las variables del controlador, las cuales permitieron identificar errores en los algoritmos de control. Se debe tener precaución al iniciar y parar el *Run Time* ya que los datos almacenados son sobre escritos en cada ejecución que se realice.

Por último se logró diseñar cuatro prácticas de laboratorio, las cuales orientan sobre la operación del módulo, identificación y sintonización de la planta.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Controlador de velocidad y posición para una banda transportadora [En línea] <http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/revista_6/13102011/05.pdf> [Citado 16 de junio de 2015]
- [2] Aplicaciones S7-300 de la empresa SIEMENS [En línea] <<http://w3.siemens.com/mcms/automation/en/automation-systems/industrial-automation/Pages/Default.aspx>> [Citado 16 de junio de 2015]
- [3] Siemens s7-300 [En línea] <<https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/pages/s7300.aspx>> [Citado 20 de junio de 2015]
- [4] TIA Portal [En línea] <http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/tia-portal-framework/Pages/default.aspx#Orientado_20a_20las_20tareas_20y_20al_20usuario> [Citado 20 de junio de 2015]
- [5] Aidan O'Dwyer, Handbook of PI and PID controller tuning rules, 3ª Edición, Imperial College Press, 2009, 1p.
- [6] Astrom, Pid controllers theory design and tuning, 2ª Edición, ISA INTERNATIONAL, 1995, 64p.
- [7] Aidan O'Dwyer, Handbook of PI and PID controller tuning rules, 3ª Edición, Imperial College Press, 2009, 4p.
- [8] Acción proporcional, integral y derivativa [En línea] <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1223/1/digital_20837.pdf> [Citado 25 de junio de 2015]
- [9] Control PID [En línea] <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf>> [Citado 23 de junio de 2015]
- [10] Ajuste de controladores PID [En línea] <http://www.fing.edu.uy/iq/cursos/dcp/teorico/16_AJUSTE_DE_CONTROLADORE_S.pdf> [Citado 25 de junio de 2015]
- [11] Significado variable posición en física [En línea] <<http://fundamentosdefisicafm.blogspot.com/p/unidad-1-mecanica.html>> [Citado 25 de junio de 2015]

[12] Sensores de proximidad [En línea]
<http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/094342_leseprobe_es.pdf> [Citado 25 de junio de 2015]

[13] GPS [En línea]
<http://www1.uprh.edu/omtaepr/sobre_gps.htm> [Citado 25 de junio de 2015]

[14] Encoder [En línea]
<<http://ab.rockwellautomation.com/es/Motion-Control/Encoders>> [Citado 25 de junio de 2015]

[15] Concepto de velocidad según Aristóteles [En línea]
<http://cienciayreligion.org/ciencia/ciencia_25.html> [Citado 25 de febrero de 2015]

9. ANEXOS

Variador de velocidad

Los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad de un motor asíncrono trifásico, la tensión de la red y la frecuencia son magnitudes fijas y los variadores se encargan de convertirlas en magnitudes variables.

Los motores con que trabajan los variadores de velocidad son trifásicos asíncronos de rotor de jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión que brinda la red.

La cupla resistente de la carga no debe superar la cupla nominal del motor y la diferencia entre ellas provea la cupla acelerante y desacelerante necesarias para cumplir con los tiempos de arranque y parada del motor.

Micromaster 440

El variador de velocidad *micromaster* 440 tiene un panel frontal conocido como panel BOP, las siglas BOP significan *basic operator* panel (panel básico del operador). Mediante este panel se pueden modificar todas aquellas opciones y parámetros que nos ofrece este variador de velocidad.¹

El panel BOP contiene una pantalla de siete segmentos en la cual se puede visualizar todos los parámetros, mensajes de alarma y de fallo, valores de consigna y valores reales. No se puede almacenar información de los parámetros con este panel.

El variador está ajustado por defecto para un funcionamiento con el panel BOP como muestra la tabla 1.

Tabla 1. Ajustes de fábrica del variador de velocidad.

Parámetro	Significado	Por defecto Europa (norte América)
P0100	Modo de operación Europea/ USA	50 Hz, kW (60Hz, Hp)
P0307	Potencia nominal del motor	Las unidades kW o Hp dependen del ajuste P0100
P0310	Frecuencia nominal del motor	50Hz (60 Hz)
P0311	Velocidad nominal del motor	1395 (1680) rpm [dependiendo de la variable]

¹ Manual de instrucciones MM440 pg 41.

P1082	Frecuencia máxima del motor	50Hz (60 Hz)
-------	-----------------------------	--------------

Botones panel BOP

Panel/Botón	Función	Efectos
	Indicación de estado	La pantalla de cristal liquido muestra los ajustes actuales del convertidor.
	Marcha	Al pulsar este botón se arranca el convertidor. Por defecto está bloqueado este botón. Para habilitar este botón, ajustar P0700 = 1.
	Parada	OFF1 Pulsando este botón se para el motor siguiendo la rampa de deceleración seleccionada. Por defecto está bloqueado; para habilitarlo, ajustar P0700 = 1. OFF2 Pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se para de forma natural (por inercia). Esta función está siempre habilitada.
	Invertir sentido de giro	Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto está bloqueado; para habilitarlo, ajustar P0700 = 1.
	Jog motor	Pulsando este botón mientras el convertidor no tiene salida hace que el motor arranque y gire a la frecuencia Jog preseleccionada. El motor se detiene cuando se suelta el botón. Pulsar este botón cuando el motor está funcionando carece de efecto.
	Funciones	Este botón sirve para visualizar información adicional. Pulsando y manteniendo este botón apretado durante 2 segundos desde cualquier parámetro durante la operación, muestra lo siguiente: 1. Tensión del circuito intermedio (indicado mediante d – unidades en V). 2. Corriente de salida. (A) 3. Frecuencia de salida (Hz) 4. Tensión de salida (indicada mediante o – unidades en V). 5. El valor seleccionado en P0005 (si P0005 está ajustado para mostrar cualquiera de los valores de arriba (3,4 ó 5) entonces éste no se muestra de nuevo). Cualquier pulsación adicional hace que vuelva a visualizarse la sucesión indicada anteriormente. Función de salto Pulsando brevemente el botón Fn es posible saltar desde cualquier parámetro (rXXXX o PXXXX) a r0000, lo que permite, si se desea, modificar otro parámetro. Una vez retornado a r0000, si pulsa el botón Fn irá de nuevo a su punto inicial.
	Acceder a parámetros	Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros.
	Subir valor	Pulsando este botón se sube el valor visualizado.
	Bajar valor	Pulsando este botón se baja el valor visualizado.

Figura 1. Teclas panel frontal del variador de velocidad

Cambiar parámetros con el panel BOP

Para modificar un parámetro se debe pulsar el botón P, que nos permitirá acceder a los parámetros luego se pulsa la el botón con la flecha hacia arriba hasta llegar al parámetro deseado, una vez ahí se pulsa el botón P nuevamente para acceder al nivel de valor del parámetro, con las flechas de arriba/abajo se busca el valor requerido, cuando se encuentra se selecciona el botón P para confirmar y guardar el valor.

Puesta en servicio rápido

A continuación se muestra el organigrama de puesta en servicio rapido nivel 1. ²

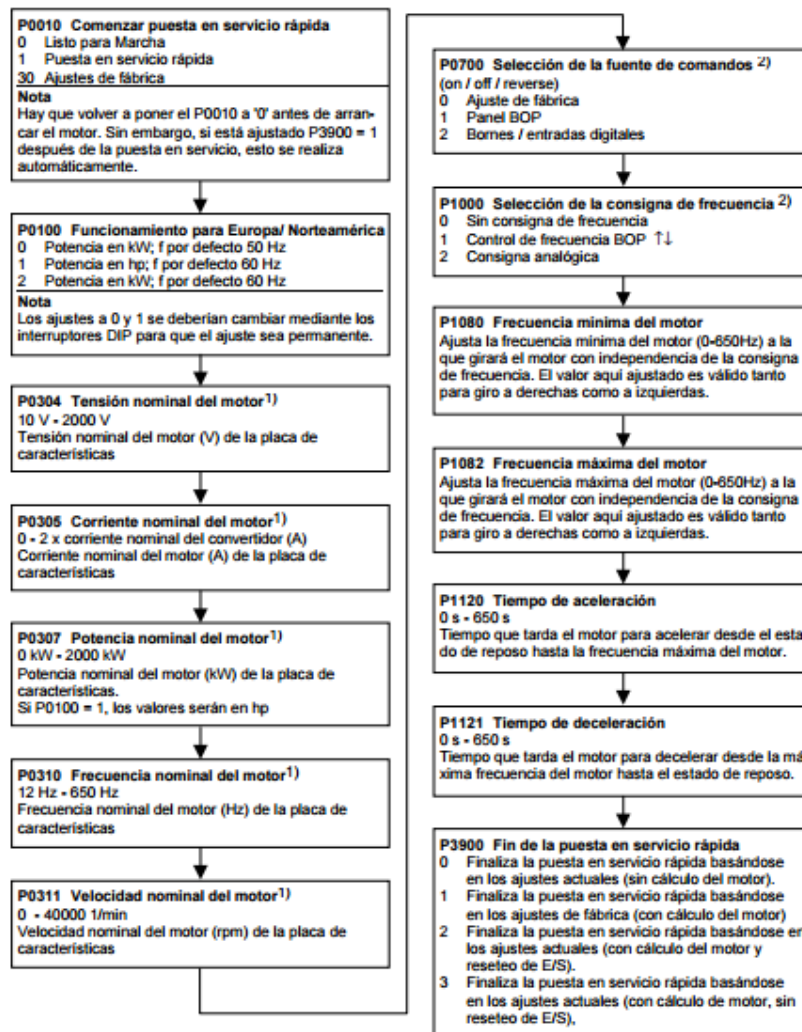


Figura 2. Organigrama de puesta en servicio rápido

² Manual de instrucciones MM40 Pag. 45

Configuración del variador de velocidad MM440

Para dar inicio a la puesta en servicio rápido basándose en el organigrama de la figura xx se realizan los siguientes pasos:

1. P0010= 1
2. P0100= 1
3. P0304= 220 [v]
4. P0305= 1.9 [A]
5. P0307= 0.5 [Hp]
6. P0310= 60 [Hz]
7. P0311= 1590 [rpm]
8. P0700= 1
9. P1000= 2
10. P1080= 0 [Hz]
11. P1082= 60 [Hz]
12. P1120= 5
13. P1121= 5
14. P3900= 1

El parámetro P3900 en nivel 1 da fin a la puesta en servicio rápida del variador de velocidad. Esta configuración no está completa ya que ninguno de estos parámetros contempla la inversión de giro.

Para la configuración de la inversión de giro es necesario entrar en el nivel 2, que es el nivel extendido.³

El variador tiene una conexión de cero a diez voltios, la frecuencia está establecida entre cero y 60 Hertz por lo tanto cero voltios corresponde a la mínima frecuencia (0 Hertz) y diez voltios a la máxima frecuencia (60 Hertz). Al variador no se le envían tensiones negativas por lo tanto no invertirá el giro, para lograr esto se debe hacer un escalado en frecuencia. Este escalado se hace en la entrada análoga del variador de velocidad.⁴

Los parámetros que nos permiten hacer el escalado son P0757, P0758, P0759 y P0760, estos parámetros configuran el escalado de la entrada como se muestra en la figura 3.

³ Manual de instrucciones mm440 Pág. 57

⁴ Siemens micromaster 440 manual Pág. 101

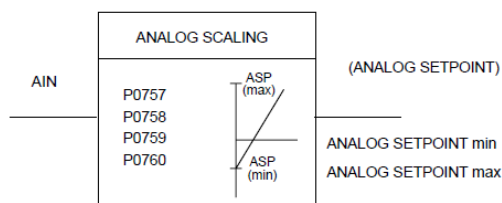


Figura 3. Escalado en frecuencia

La grafica mostrada en la figura tiene dos puntos importantes los cuales son ASP (max) y ASP (min) estos puntos se describen mediante las coordenadas (x1, y1) y (x2, y2) respectivamente, cada uno de los parámetros mencionados anteriormente les corresponde un punto.

El parámetro P0757 corresponde al punto x1, P0758 es y1, P0759 es x2 y P0760 es y2. La selección debe ser de 0 a 10 voltios y de -60 a 60 Hertz, de esta forma se garantiza un escalado simétrico y corresponde a la frecuencia que usa el motor.⁵

Para configurar estos parámetros se realizan los siguientes pasos:

1. P0003= 2
2. P0757= 0
3. P0758= -100
4. P0759= 10
5. P0760= 100

⁵ MM440 Plist Pág 50.

Diagrama de flujo funcional de la interfaz y codificación

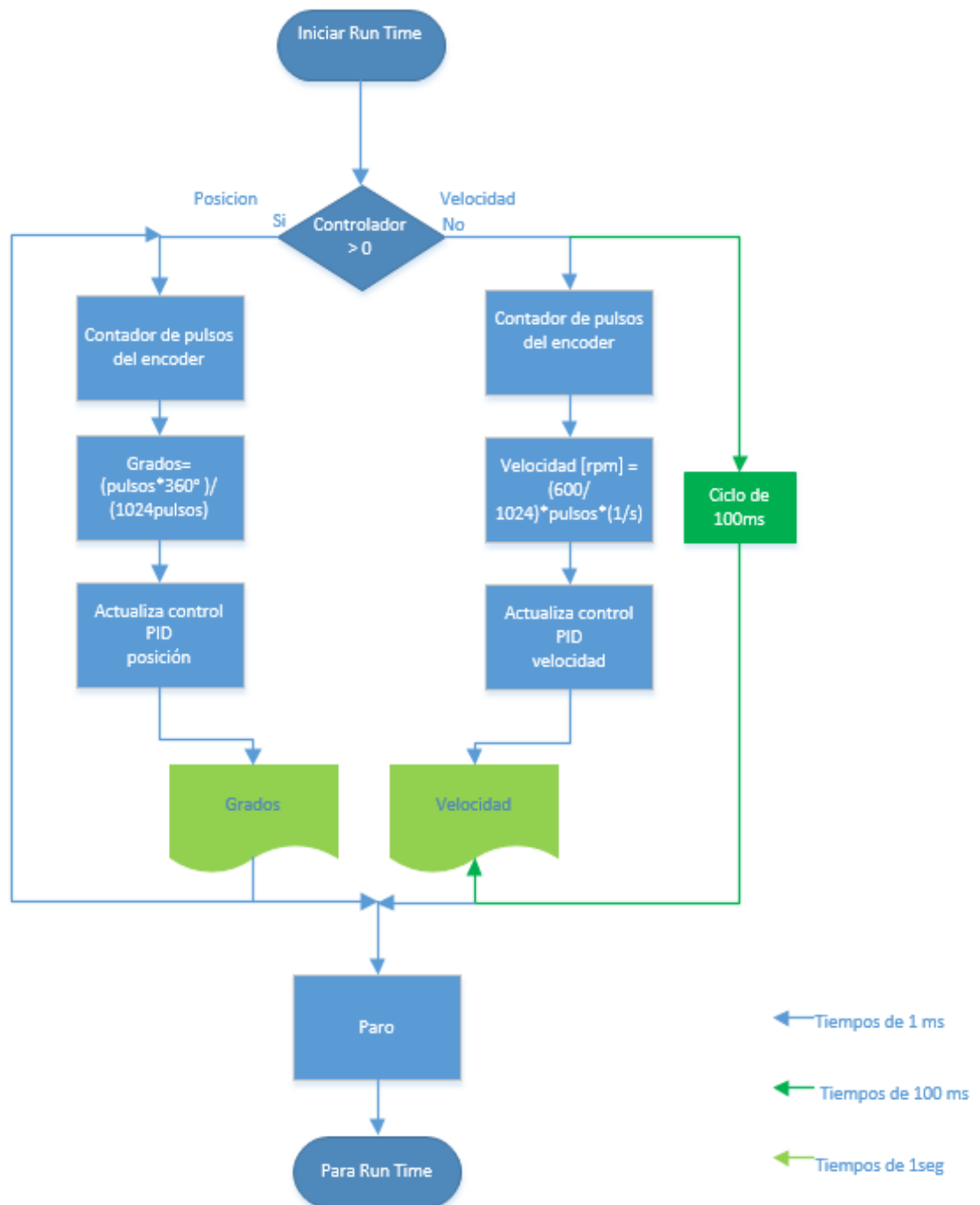


Figura 4. Diagrama de flujo funcional de la interfaz

Bloque de control

El bloque de control usado en el algoritmo es CONT_C, este bloque se ejecuta dentro del programa principal. Para el control de velocidad se ejecuta un control cada 100 ms. Ver figura 5.

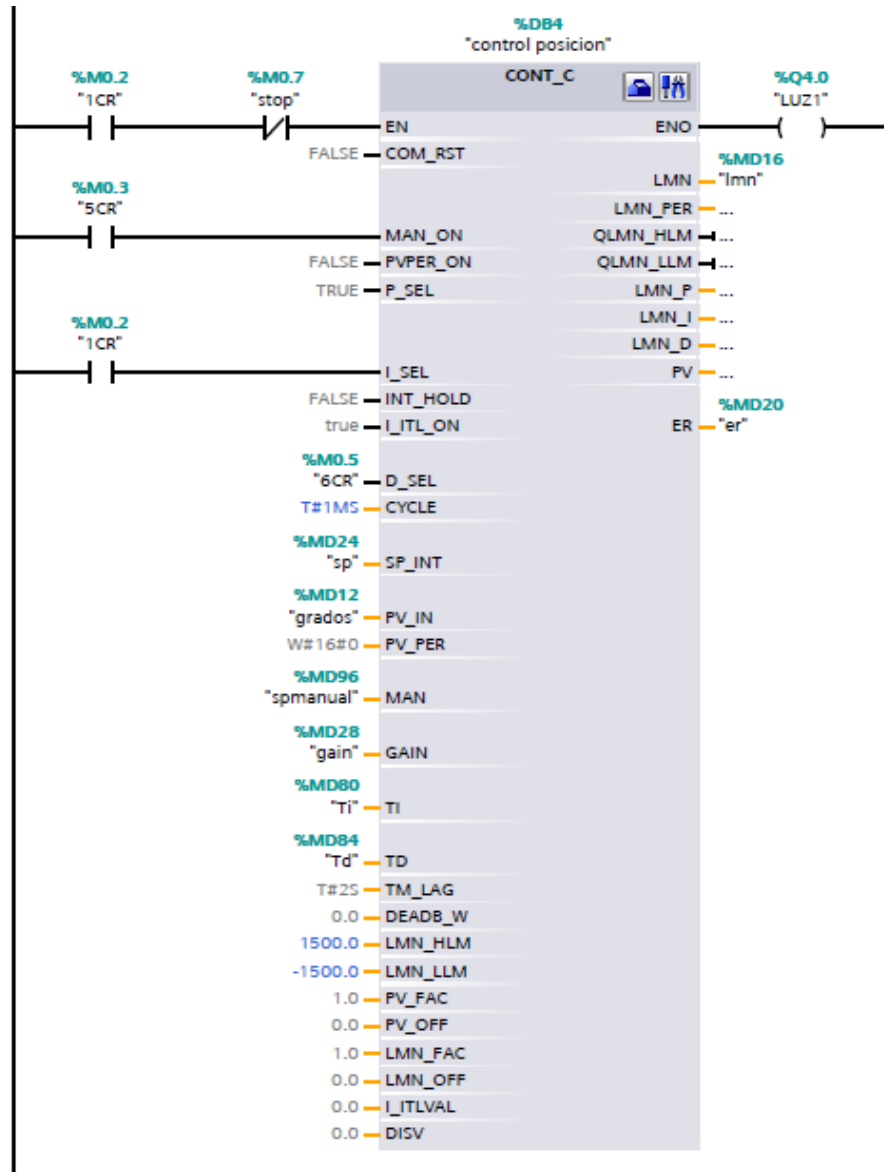


Figura 5. Bloque de control PID CONT_C.

Diagrama de bloques de CONT_C

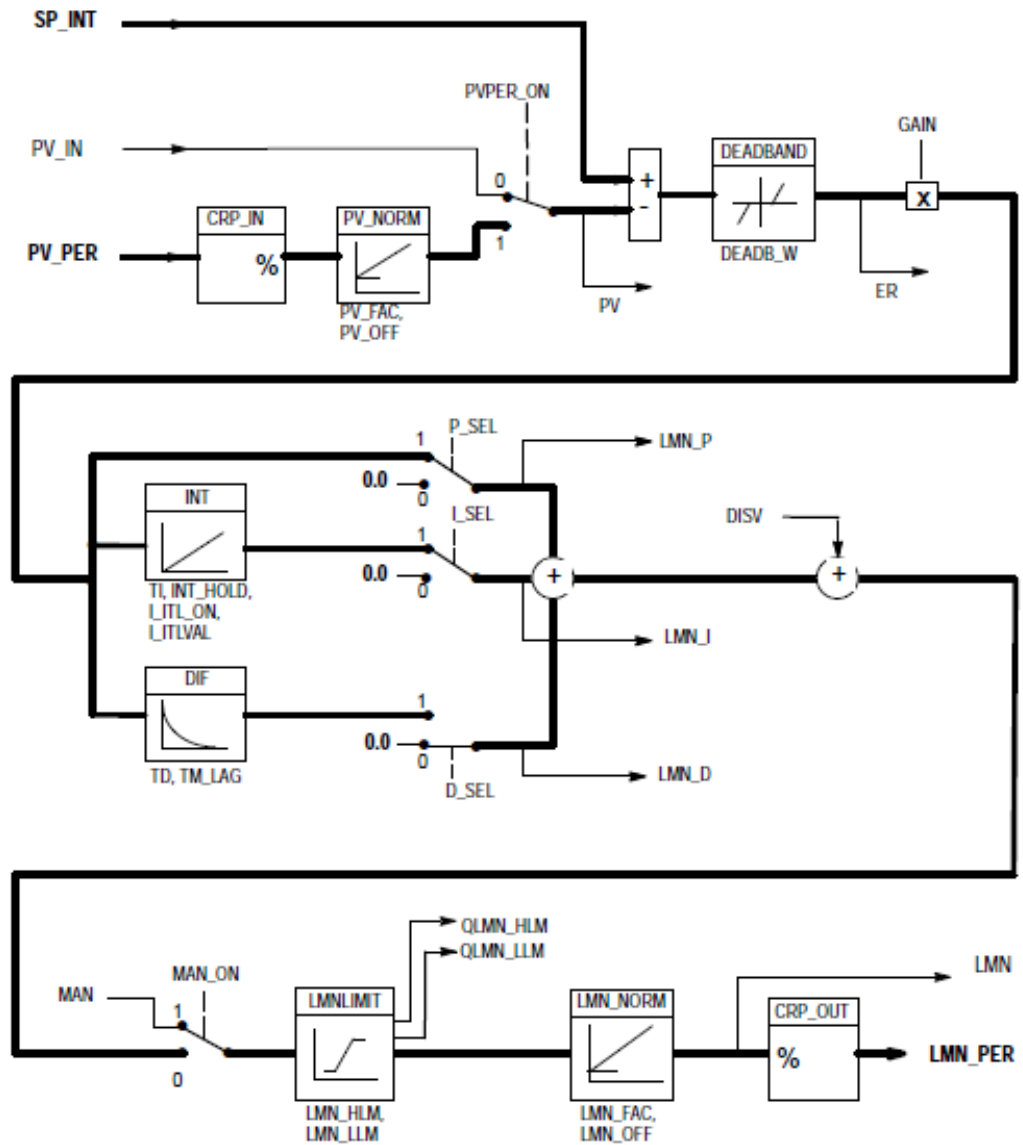


Figura 6. Diagrama de bloques CONT_C.

Parámetros de entrada de CONT_C

Tabla 2. Entradas del bloque CONT_C

PARAMETER	DATA TYPE	RANGE OF VALUES	DEFAULT	DESCRIPTION
COM_RST	Bool		False	COMPLETE RESTAR
MAN_ON	Bool		True	MANUAL VALUE ON
PVPER_ON	Bool		False	PROCESS VAIABLE PERIPHERAL ON
P_SEL	Bool		False	PROPORTIONAL ACTION ON
I_SEL	Bool		True	INTEGRAL ACTION ON
INT_HOLD	Bool		True	INTEGRAL ACTION HOLD
I_ITL_ON	Bool		False	INITIALIZATION OF THE INTEGRAL ACTION
D_SEL	Bool		False	DERIVATIVE ACTION ON
CYCLE	Time	$\geq 1\text{ms}$	T#1s	SAMPLING TIME
SP_INT	Real		0.0	INTERNAL SETPOINT
PV_IN	Real		0.0	PROCESS VARIABLE IN
PV_PER	Word		W#16#0000	PROCESS VARIABLE IN PERIPHERAL
MAN	Real		0.0	MANUAL VALUE ON
GAIN	Real		2.0	PROPORTIONA GAIN
TI	Time	$\geq \text{cycle}$	T#20s	RESET TIME
TD	time	$\geq \text{cycle}$	T#10s	DERIVATIVE TIME
ITM_LAG	Time		T#2s	TIME LAG OF THE DERIVATIVE ACTION
DEADB_W	Real		0.0	DEAD BAND WIDTH
LMN_HLM	Real		100.0	MANIPULATED VALUE HIGH LIMIT
LMN_LLM	Real		0	MANIPULATED VALUE LOW LIMIT
PV_FAC	Real		1.0	PROCESS VARIABLE FACTOR
PV_OFF	Real		0.0	PROCESS VARIABLE OFFSET

LMN_FAC	Real		1.0	MANIPULATED VALUE FACTOR
LMN_OFF	Real		0.0	MANIPULATED VALUE OFFSET
I_ITLVAL	Real		0.0	INITIALIZATION VALUE OF THE INTEGRAL ACTION
DISV	Real		0.0	DISTURBANCE VARIABLE

Parámetros de salida de CONT_C

Tabla 3. Salidas del bloque CONT_C

PARAMETER	DATA TYPE	RANGE OF VALUES	DEFAULT	DESCRIPTION
LMN	Real		0.0	MANIPLATED VALUE
LMN_PER	Word		W#16#0000	MANIPULATED VALUE PERIPHERAL
QLMN_HLM	Bool		False	HIGH LIMITED OF MANIPULATED VAULE REACHED
QLMN_LLM	Bool		False	LOW LIMITED OF MANIPULATED VAULE REACHED
LMN_P	Real		0.0	PROPORTIONAL COMPONENT
LMN_I	Real		0.0	PROPORTIONAL COMPONENT
LMN_D	Real		0.0	DERIVATIVE COMPONENT
PV	Real		0.0	PROCESS VARIABLE
ER	Real		0.0	ERROR SIGNAL

Prácticas de laboratorio

EXPERIENCIA 1

VARIADOR DE VELOCIDAD SIEMENS

OBJETIVOS

- Observar las formas de arranque de un motor de inducción por medio de un variador de velocidad.
- Invertir el sentido de giro de un motor de inducción de un variador de velocidad.
- Conocer tipos de frenado de un motor de inducción utilizando un variador de velocidad.
- Aprender a configurar el variador de velocidad Micromaster 440 de la empresa SIEMENS

MATERIALES

- Variador de velocidad Siemens
- Motor de inducción
- Tacómetro

PARTES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD

Existen diferentes tipos de variador de velocidad, variando en ellos la frecuencia de alimentación, variación de frecuencia y tensión, control vectorial de flujo y control vectorial de tensión. Lo que comparten los variadores de velocidad es un puente H trifásico como el de la figura 1. Por medio del cual se pueden obtener arranques, controles de velocidad, frenados, inversiones de giro, etc.

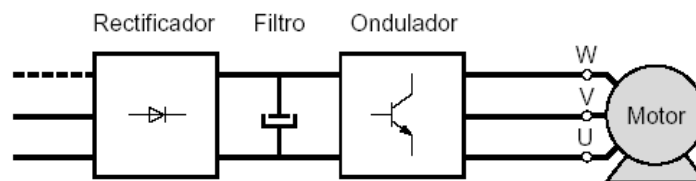


Figura 1. Diagrama de bloques de un variador de velocidad.

Dentro del diagrama de bloques del variador de velocidad se encuentran los siguientes elementos:

Rectificador trifásico

Rectifica la señal de tensión trifásica ya sea de 50Hz o 60Hz proveniente de la fuente de alimentación. La rectificación se hace necesaria para poder cambiar la onda de tensión alterna en una onda sinusoidal de cualquier otra frecuencia que se le vaya a inyectar al motor. Se selecciona un rectificador trifásico no controlado para que trabaje a un factor de potencia cercano a la unidad.

Se pueden usar rectificadores controlados con SCRs pero estos pueden variar el factor de potencia y en si se tienen varios variadores podrían haber penalizaciones por inyectarle armónicos a la red eléctrica pública.

Filtro LC

Después del rectificado la señal de corriente continua va a presentar un pequeño rizado que debe ser eliminado para obtener un valor de tensión constante. Cuando se manejan corrientes muy grandes los condensadores son poco útiles para eliminar el rizado, por esta razón se le adicionan inductancias que les ayuden a eliminarlo. Puente H trifásico u ondulator

Su función es convertir la señal que proviene del rectificador en una onda sinusoidal trifásica de frecuencia variable.

ARRANQUES CON LOS VARIADORES DE VELOCIDAD

Los métodos de arranque convencionales como arranque con resistencias, devanados parciales, a tensión reducida, entre otros tiene el gran defecto de necesitar corrientes altas en el arranque, o en su defecto necesitan de varios pasos de arranque para llevar un motor sin que se sobrecaliente a las condiciones de trabajo. Lo que no sucede con los variadores electrónicos de velocidad, ya que tienen una protección que son los transistores del puente H ya que estos no permiten que las corrientes entre emisor y colector excedan demasiado la corriente de trabajo.

PANEL FRONTAL DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

El panel frontal del variador de velocidad se muestra en la figura 2. Está compuesto por 10 botones que permiten variar todos los parámetros presentes en el variador y un display 7 segmentos para indicar los estados de funcionamiento.



Figura 2. Vista frontal variador de velocidad.

El botón verde arranca el motor, el botón rojo para el motor, las flechas son para incrementar y decrementar valores, Fc son las funciones y P son los parámetros.

PUESTA EN MARCHA RAPIDA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Para iniciar la puesta en servicio rápida del variador de velocidad se sigue el organigrama de la figura 3.

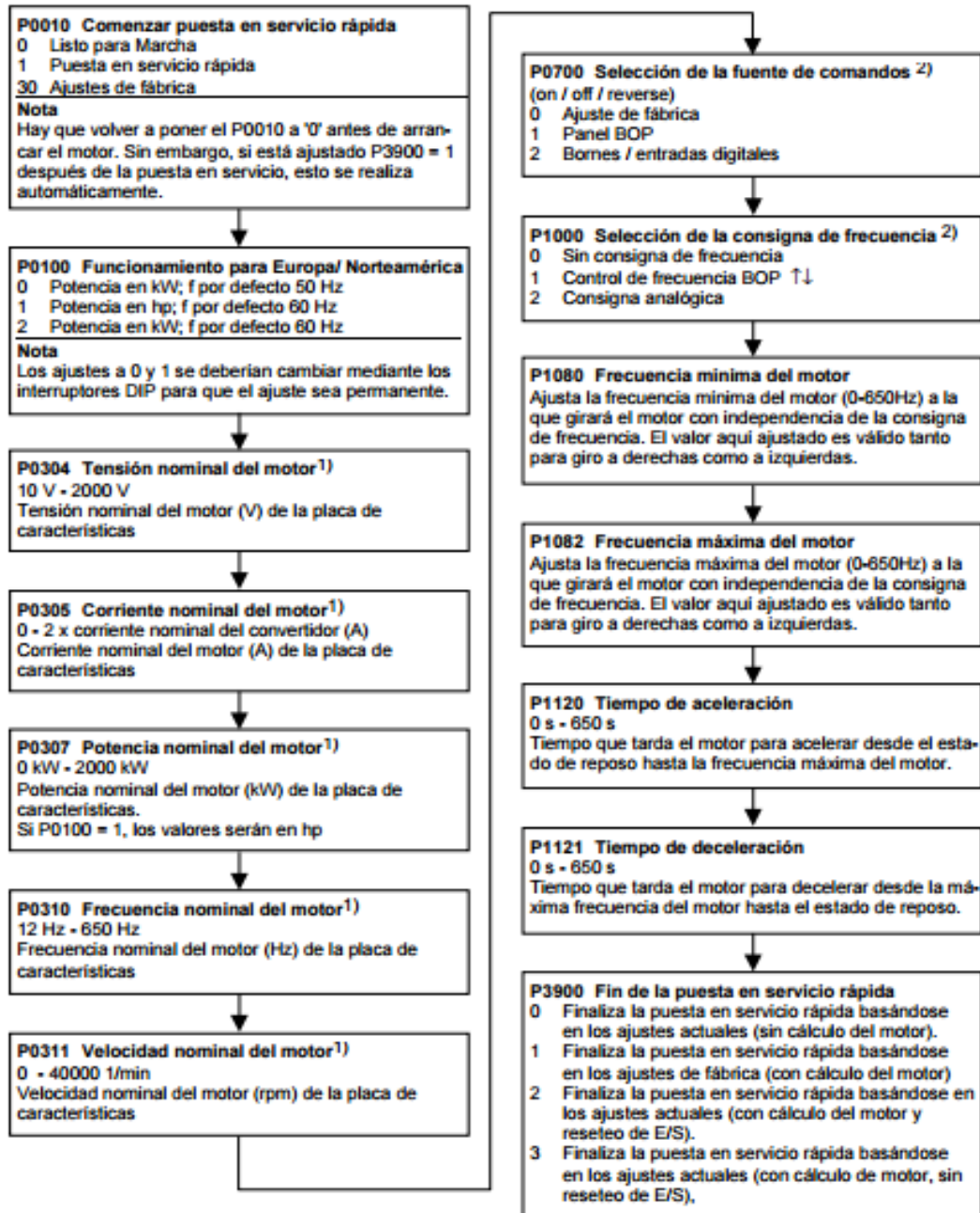


Figura 3. Organigrama de puesta en marcha rápida.

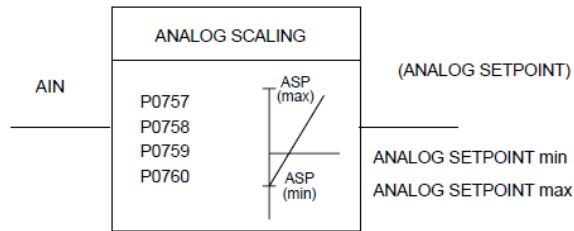


Figura 5. Parámetros inversión de giro.

Para configurar los parámetros concernientes a la inversión de giro se realizan los siguientes pasos:

1. P0003= 2
2. P0757= 0
3. P0758= -100
4. P0759= 10
5. P0760= 100

PROCEDIMIENTO

- 1) realice la puesta en servicio rápido.
- 2) Pruebe con diferentes tiempos las rampas de aceleración y desaceleración y observe qué efectos tiene sobre el motor.
- 3) Observe el comportamiento de frenado con cada tiempo utilizado en el ítem anterior.
- 4) Configure los parámetros P757, P758, P759 y P760 para realizar inversión de giro.

EXPERIENCIA 2

IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

OBJETIVOS

- Comprender la operación del sistema de velocidad en lazo abierto.
- Conocer la herramienta *Ident* de Matlab.
- Realizar la identificación de la planta.

MATERIALES

- PLC SIEMENS S7-300.
- Módulo de control de velocidad.

OPERACIÓN EN LAZO ABIERTO

En la siguiente figura 1 se muestra el diagrama de bloques de un controlador en lazo abierto para cualquier sistema.



Figura 1. Controlador en lazo abierto.

Un controlador en lazo abierto es aquel en el que la variable de salida o variable controlada no tiene efecto sobre la acción de control. Las características de un controlador en lazo abierto son:

- No se hace comparación de la salida con la referencia.
- Para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación establecida.

La operación en lazo abierto básicamente toma la información que recibe de la planta acerca de las condiciones de operación y se usa esa información para determinar un modelo con el cual se identifique la planta.

MODELOS DE SEGUNDO Y PRIMER ORDEN

Los modelos de primer orden sin ceros ni retardos están dados por la ecuación:

$$\frac{?}{?}$$

$$(?)$$

Los modelos de segundo orden están dados por la siguiente ecuación:

$$\frac{?}{(?)}$$

PROCEDIMIENTO

- 1) Operar el sistema en lazo abierto.
- 2) Tomar datos de señal de control manual y velocidad.
- 3) Calcular la ganancia estática de la planta.
- 4) Estimar un modelo matemático de primer orden sabiendo que la rampa de aceleración es de un segundo.

EXPERIENCIA 3

SINTONIZACIÓN PLANTA DE VELOCIDAD

OBJETIVOS

- Calcular las constantes del PID.
- Conocer las herramientas de sintonización.
- Operar la planta de velocidad en lazo cerrado.

MATERIALES

- PLC SIEMENS S7-300.
- Módulo de control de velocidad.

SIMULINK

Simulink es un entorno de diagrama de bloques para una simulación en multidominio y modelos básicos de diseño. Soporta simulación, generación de códigos automáticos, pruebas continuas y verificación de sistemas embebidos.

Simulink ofrece un editor gráfico, bibliotecas de bloques personalizables y soluciones para el modelado de simulación de sistemas dinámicos. Está ligado con Matlab lo que permite una comunicación con posibilidades de incorporar algoritmos de Matlab en *Simulink* y exportación de datos.

OPERACIÓN EN LAZO CERRADO

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el cual la señal de salida tiene un efecto directo sobre la acción de control, es decir, existe una realimentación. En la siguiente grafica se observa el diagrama de bloques de un control en lazo cerrado de forma general. Ver figura 1.

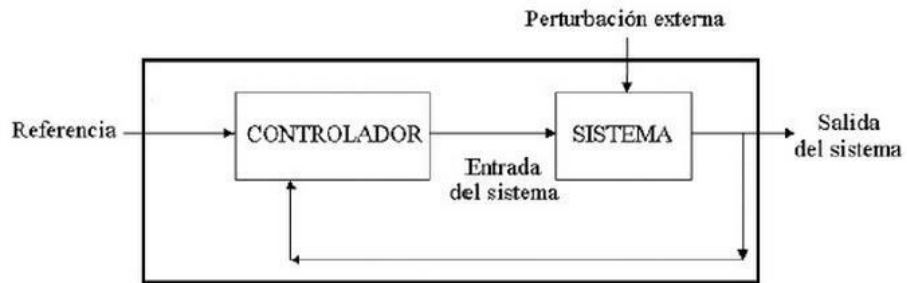


Figura 1. Controlador de lazo cerrado.

PROCEDIMIENTO

- 1) Elaborar diagramas de bloques que representen la planta de velocidad en lazo abierto y cerrado haciendo uso de *Simulink*, con la función de transferencia obtenida en la experiencia 2.
- 2) En el bloque correspondiente al PID de *Simulink* hacer la sintonización del controlador PID y observar la salida.
- 3) En la HMI establecer el modo automático e ingresar las variables.
- 4) Observar funcionamiento de la planta.

EXPERIENCIA 4

SINTONIZACIÓN PLANTA DE POSICIÓN

OBJETIVOS

- Calcular las constantes del PID.
- Conocer las herramientas de sintonización.
- Operar la planta de velocidad en lazo cerrado.

MATERIALES

- PLC SIEMENS S7-300.
- Módulo de control de velocidad.

SIMULINK

Simulink es un entorno de diagrama de bloques para una simulación en multidominio y modelos básicos de diseño. Soporta simulación, generación de códigos automáticos, pruebas continuas y verificación de sistemas embebidos.

Simulink ofrece un editor gráfico, bibliotecas de bloques personalizables y soluciones para el modelado de simulación de sistemas dinámicos. Está ligado con Matlab lo que permite una comunicación con posibilidades de incorporar algoritmos de Matlab en *Simulink* y exportación de datos.

OPERACIÓN EN LAZO CERRADO

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el cual la señal de salida tiene un efecto directo sobre la acción de control, es decir, existe una realimentación. En la siguiente grafica se observa el diagrama de bloques de un control en lazo cerrado de forma general. Ver figura 1.

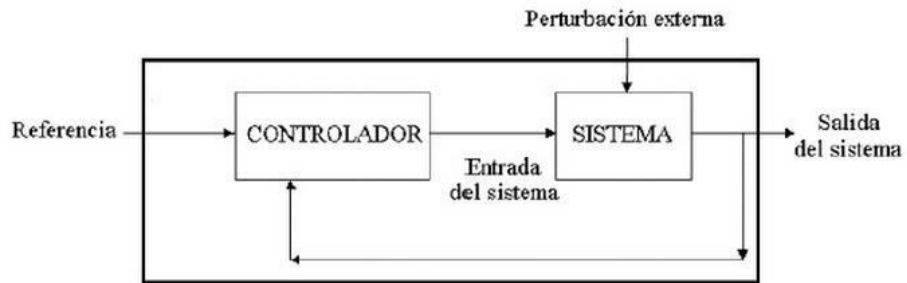


Figura 1. Controlador de lazo cerrado.

PROCEDIMIENTO

- 5) Elaborar diagramas de bloques que representen la planta de posición en lazo abierto y cerrado haciendo uso de *Simulink*, con la función de transferencia obtenida en la experiencia 2, añadir un integrador después de la función de transferencia.
- 6) En el bloque correspondiente al PID de *simulink* hacer la sintonización del controlador PID y observar la salida.
- 7) En la HMI seleccionar posición y establecer el modo automático e ingresar las variables.
- 8) Observar funcionamiento de la planta.