

**SISTEMAS DE CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD PARA MAQUINAS DE
CNC USANDO PLC**

JUAN PABLO CELIS VARGAS

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
SECCIONAL BUCARAMANGA
2010**

**SISTEMAS DE CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD PARA MAQUINAS DE
CNC USANDO PLC**

JUAN PABLO CELIS VARGAS

PROYECTO DE GRADO

**JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
SECCIONAL BUCARAMANGA
2010**

Nota de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, 17 de Septiembre de 2010

Bucaramanga, 10 de Septiembre de 2010

A Dios por protegerme en todo momento brindándome salud y fuerzas para seguir adelante todos los días de mi vida.

A mis padres ROSA AMELIA y JAIME por apoyarme en todo momento.

A mi hermana SILVIA JULIANA por acompañarme en esta búsqueda del conocimiento.

A CAROLINA MÉNDEZ por estar hay presente en los momentos más necesarios.

A BERNARDO SUAREZ CARREÑO por toda la colaboración prestada para la realización de este proyecto.

A mi familia canina por brindarme tantos momentos de felicidad.

Juan Pablo Celis Vargas.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN por toda la colaboración técnica en este proyecto, a los encargados del almacén de electrónica como DORIS y GUILLERMO por facilitar el desarrollo de este, a todas las personas que de una u otra manera colaboraron, ayudaron y estuvieron pendientes para la realización de esta gran meta que hoy llega a su fin.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADOR (CNC).....	3
2. MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO (PWM)	5
2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL PWM	5
3. SISTEMAS RETROALIMENTADO.....	9
3.1 TIPOS DE CONTROL PARA UN SISTEMA RETROALIMENTADO	9
3.2 CONTROL ON-OFF.....	9
3.3 CONTROL ON-OFF CON HISTÉRESIS.....	11
3.4 CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO PID	12
3.4.1 Características del Modulo PID	13
3.4.2 Control Proporcional.....	15
3.4.3 Control Integral.....	16
3.4.4 Control Derivativo.....	17
4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	19
4.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	20
4.2 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	21
4.3 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	21
4.3.1 Cable Maestro TSXCUSBB485.....	22
5. SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN PARA LOS BLOQUES DE FUNCIONES ESPECIALES.....	24
5.1. TWIDO SUITE.....	24
5.2. VIJEO-DESIGNER	36
6. PROTOTIPO DESARROLLADO	42

6.1. HARDWARE	43
6.1.1. Poleas Dentadas.....	43
6.1.2. Sensor de Proximidad (Final de Carrera).....	43
6.1.3. Motor DC con Encoder	44
6.1.4. Motor paso a paso	48
6.1.5. Panel de Conexiones	52
6.1.6. Driver de Control Entradas PLC.....	53
6.1.7. Driver de Control Bidireccional del Motor DC	54
6.1.8. Driver para el manejo de cada bobina del motor paso a paso	55
6.1.9. Sistemas de Control de Posición y Velocidad con motores.....	56
7. PROGRAMAS DESARROLLADOS	58
7.1. PROGRAMA DEL MOTOR PASO A PASO	58
7.2. PROGRAMA MOTOR DC.....	62
RECOMENDACIONES.....	67
CONCLUSIONES.....	68
BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del PLC [17].....	20
Tabla 2. Lenguajes de Programación del PLC. [18]	21
Tabla 3. Comunicaciones Industriales. [19][20].....	21
Tabla 4. Funciones del modo serie. [21]	22
Tabla 5. Polarización cable multimaestro TSXCUSB485. [21]	23
Tabla 6. Tabla Descriptiva de los Iconos de la Pantalla Táctil, variables usadas en el PLC del Módulo de Motor Paso a Paso. [6]	40
Tabla 7. Tabla Descriptiva de los Iconos de la Pantalla Táctil, variables usadas en el PLC del Módulo del Motor DC. [6]	41
Tabla 8. Secuencia de giro del motor. [6].....	50
Tabla 9. Tabla De Conexiones Para El Modulo Del Motor Paso A Paso. [6].....	52
Tabla 10. Tabla De Conexiones Para El Modulo Del Motor DC. [6]	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Torno de Control Numérico Computarizado (CNC). [3]	4
Figura 2. Señal PWM. [5].....	5
Figura 3. Ciclo de un Control PWM. [6]	5
Figura 4. Polarización de las salidas PWM del PLC. [6].....	6
Figura 5. Cronograma de Tiempos del bloque de función %PWM. [6]	7
Figura 6. Ejemplo de modulación PWM. [6]	8
Figura 7. Control ON-OFF. [6].....	10
Figura 8. Control ON-OFF con Histéresis. [6]	11
Figura 9. Control PID. [12]	12
Figura 10. Diagrama de Bloques del PID. [25].....	14
Figura 11. Control PID del TWIDO. [6].....	15
Figura 12. Control Proporcional. [6]	16
Figura 13. Control Integral. [6]	17
Figura 14. Simulación de un Sistema PID. [16].....	18
Figura 15. Simulación de un Sistema PID. [6].....	19
Figura 16. Simulación de un Sistema PID [6].....	22
Figura 17. Software TWIDO SUITE [6]	24
Figura 18. Pantalla de selección de los PLC. [6].....	25
Figura 19. Configuración de la red Ethernet. [6].....	26
Figura 20. Visualización de la Pestaña <i>PROGRAM</i> . [6]	26
Figura 21. Registro de carga de datos en la memoria. [6].....	27
Figura 22. Bloques de comparación. [6].....	28
Figura 23. Configuración del DRUM. [6].....	29

Figura 24. Bloque de función Contador. [6].....	30
Figura 25. Bloque de función de TIMER. [6]	31
Figura 26. Configuración de los TIMER. [6]	31
Figura 27. Módulo PWM. [6]	32
Figura 28. Configuración del módulo PWM. [6]	32
Figura 29. Módulo Very Fast Counter (VFC). [6].....	33
Figura 30. Control proporcional. [6].....	35
Figura 31. Control Integral. [6]	35
Figura 32. Ventana inicial Vijeo-Designer. [6]	36
Figura 33. Selección del Modelo del Terminal Táctil. [6]	37
Figura 34. Configuración de la red Ethernet del Terminal Táctil. [6]	37
Figura 35. Pantalla inicial del proyecto creado. [6]	38
Figura 36. Panel del Sistema del Motor paso a paso. [6]	39
Figura 37. Variables de la HMI. [6].....	39
Figura 38. Panel del Sistema del Motor DC. [6]	41
Figura 39. Prototipo del modulo de motor DC. [6]	42
Figura 40. Prototipo del modulo del motor paso a paso. [6]	42
Figura 41. Final de Carrera del módulo del motor paso a paso. [6].....	44
Figura 42. Motor de Corriente Continua con encoder. [23].....	44
Figura 43. Salida con Pulso y Estado [7].....	46
Figura 44. Salida con Pulsos [7]	46
Figura 45. Salida con Desfase [7]	47
Figura 46. Motor paso a paso comercial. [24]	50
Figura 47. Circuito Control Entradas PLC. [6]	54
Figura 48. Circuito Control Bidireccional del Motor Encoder. [6]	55

Figura 49. Circuito Bobinas Motor paso a paso. [6]..... 56

Figura 50. Módulo con motor DC. [6] 57

Figura 51. Módulo con motor paso a paso. [6] 57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: ESPECIFICACIONES DE LAS POLEAS Y CORREAS.....	71
ANEXO B: ESPECIFICACIONES DEL MOTOR CON ENCODER.....	73
ANEXO C: ESPECIFICACIONES DEL MOTOR PASO A PASO.....	74
ANEXO D: ESPECIFICACIONES DE LAS POLEAS.....	76
ANEXO E: ESPECIFICACIONES DE LAS SALIDAS PWM.....	88

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: SISTEMAS DE CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD
PARA MAQUINAS DE CNC USANDO PLC

AUTOR(ES): JUAN PABLO CELIS VARGAS

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR(A): JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN

RESUMEN

Se diseñó una interface mecánica para mostrar el control de la velocidad y posición de motores Paso A Paso y motores DC a través del PLC, utilizando una pantalla táctil.

Esta automatización se realizó mediante estudios hechos acerca de los inconvenientes que presenta el control de las máquinas de CNC en la industria; de tal manera se diseñó un hardware de visualización para el control de la posición y velocidad de los motores previamente mencionados. El control de estas variables se realizó mediante el software del PLC Twido Telemecanique el cual nos permitió dominar los comportamientos de dichos ítems a través de las líneas de programación y los módulos internos como el de PWM, Contadores Rápidos(VFC), DRUM(Disparador de pulsos), memorias FIFO. El monitoreo y visualización de los estados del proceso se realizó a través de la interface gráfica táctil (HMI) MAGELIS XBTGT2330. La comunicación de todo el sistema de control se realizó mediante la red Ethernet de la universidad.

PALABRAS CLAVE: PLC, Twido Telemecanique, Ethernet, PWM, Contadores rápidos (VFC), Tambor de disparo de pulsos (DRUM), Memorias (FIFO), Pantalla táctil(HMI) Control, Software, Hardware.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ABSTRACT OF THESIS PROJECT

TITLE: POSITION AND VELOCITY CONTROL SYSTEM FOR CNC MACHINES USING PLC

AUTHOR(S): JUAN PABLO CELIS VARGAS

DEPARTAMENT: ELECTRONIC ENGINEERING

DIRECTOR: JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN

ABSTRACT

A mechanical interface was design for showing position and velocity from stepper and Dc motors using PLC and touch screen.

This automation was made through studies about all control inconvenient of CNC machines in the industry, in this way it will design a special hardware for control of position and velocity monitoring of dc and stepper motors. This control was doing through Twido Telemecanique software, which allowed dominate the behaviors of the motors by programming lines and the internals modules like pulse wide modulation (PWM), fast counters(VFC), pulses trigger(DRUM) and memories (FIFO).the viewing and monitoring of state process was doing by graphic interface (HMI) MAGELIS XBTGT2330, and the all communications system was made by Ethernet network of university,

KEYWORDS: PLC, Twido Telemecanique, Ethernet, PWM, Fast Counter (VFC), Pulse Trigger(DRUM), Memories(FIFO), touch screen MAGELIS XBTGT2330(HMI), Control, Software, Hardware.

V° B° THESIS DIRECTOR

INTRODUCCIÓN

Con esta investigación se pretendía desarrollar sistemas de posición y control de velocidad para motores paso a paso y motores de corriente continua (dc), usando PLC con el fin de construir máquinas de control numérico.

Los motores paso a paso y las máquinas de corriente continua se usan preferiblemente en máquinas de pequeñas potencias o en máquinas que no necesitan pares de funcionamiento altos; este tipo de motor tiene un buen desempeño en los sistemas de posicionamiento, pero los drivers usados resultan costosos cuando se quieren utilizar.

El objetivo de esta investigación, era poder desarrollar sistemas de control de posición y velocidad de bajo costo, para posteriormente poder desarrollar máquinas de control numérico como taladros, tornos, fresadoras, etc. Estos sistemas estarán dedicados a motores paso a paso, máquinas de dc que se controlen por medio de un PLC, ya que en el laboratorio de control de maquinas se tienen los equipos necesarios.

Los drivers para cada uno de los motores son desarrollados por los fabricantes, pero estos drivers son costosos y tienen un buen desempeño. Si se quiere producir máquinas de bajo costo estos sistemas resultan no competitivos y el desarrollo de nuestro país se ve limitado por este factor. Por esta razón se desarrollaron sistemas de poco desempeño pero que resulten económicos cuando se quieran producir en masa.

Se seleccionó un sistema con PLC y pantalla táctil porque los costos de desarrollo de estos equipos son moderados y se reduciría en gran medida los tiempos de puesta en marcha. El PLC es el equipo que se uso para tener el control de los motores y la pantalla táctil se uso como interfaz entre el hombre y la máquina.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar sistemas de control de velocidad y posición para motores de corriente continua (dc) y motores paso a paso por medio de PLC.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar software y hardware para controlar posición y velocidad en motores paso a paso.
- Desarrollar un software de monitoreo y control para el control de velocidad y posición de los motores paso a paso.
- Realizar varias formas de control de posición para un motor de corriente directa.
- Desarrollar un software de monitoreo y control para el control de velocidad y posición de los motores de corriente directa.
- Desarrollar un programa en PLC para realizar un control PID con el objetivo de tener un buen control de posición.

1. MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADOR (CNC)

El Control Numérico por Computador, se aplica a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un sistema mecánico móvil mediante órdenes de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas.

El CNC puede ser usado en muchas aplicaciones dependiendo de las maquinas y herramientas, de acuerdo al tipo de operación de corte. Dentro de las muchas aplicaciones del CNC se destaca su uso en operaciones de fresado, torneado, taladrado y los centros de maquinado. [1][2]

El CNC posee ciertas ventajas dentro de los procesos en los que es aplicado, tales como:

- Posibilidad de fabricación de piezas imposibles o muy difíciles.
- Seguridad, ya que es especialmente recomendable para el trabajo con productos peligrosos.
- Mayor precisión de la máquina herramienta de control numérico respecto de las clásicas.
- Aumento de productividad de las máquinas, debido a la disminución del tiempo total de mecanización, y a la rapidez de los posicionamientos que suministran los sistemas electrónicos de control.
- Reducción de controles y desechos. Permite prácticamente eliminar toda operación humana posterior, lo que conlleva a una subsiguiente reducción de costos y tiempos de fabricación.
- Gran fiabilidad y repetitividad de una máquina herramienta con control numérico.

Pero a su vez la implementación de este tipo de control conlleva a algunas desventajas, tales como:

- Crecientes costos de producción.
- Escasez de mano de obra.
- Crecimiento en los costos y problemas de mantenimiento.

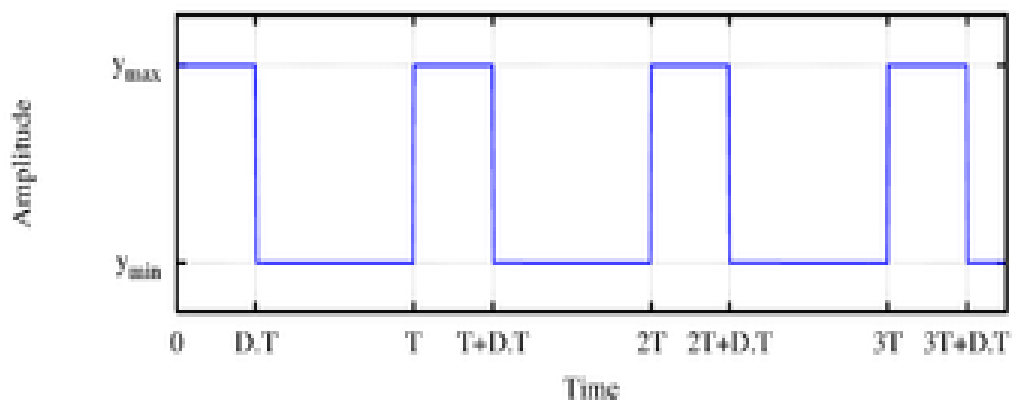
Figura 1. Torno de Control Numérico Computarizado (CNC). [3]



2. MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO (PWM)

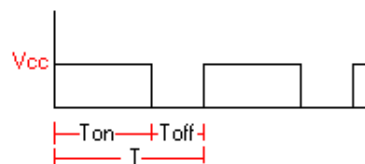
Como sus siglas en ingles lo indican PWM (Pulse Wide Modulation) es una modulación por ancho de pulso. Es utilizado hoy en dia en diferentes aplicaciones de la rama de la electrónica como es el caso de las comunicaciones, electrónica de potencia, en el control de motores DC, entre otras. [4]

Figura 2. Señal PWM. [5]



2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL PWM

Figura 3. Ciclo de un Control PWM. [6]



Una señal de PWM es cualquier onda cuadrada de amplitud constante que tenga un tiempo de encendido T_{on} , un tiempo de apagado T_{off} y además que se pueda reproducir con una buena periodicidad. Para calcular el valor promedio de la onda de la figura 3, se debe tener en cuenta la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{Ton} V_{cc} * dt = \frac{1}{T} V_{cc} * t /_0^{Ton} = \frac{V_{cc} * Ton}{T}$$

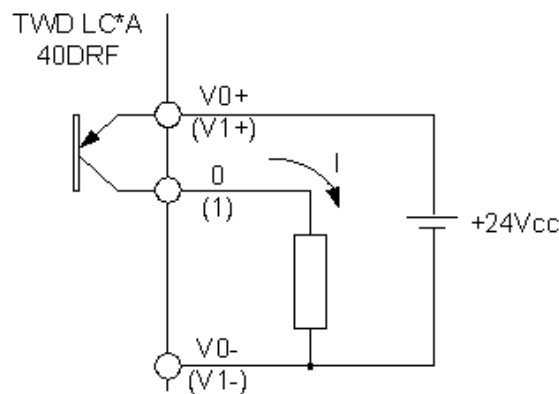
Es decir, la tensión promedio aplicada a la armadura del motor es directamente proporcional al tiempo de encendido, tiempo que el circuito esté expuesta a una tensión Ton, y es inversamente proporcional al periodo de la onda. Para realizar el control del circuito de armadura, se debe disponer de un circuito que pueda variar el periodo desde 0% hasta el 100%.

El PLC TWIDO TELEMECANIQUE TWDLC4E40DRF posee dos módulos PWM que a través de sus salidas transistorizadas Q0 Y Q1 realizan dicha modulación. La respectiva polarización de este grupo de salidas, es de gran ayuda para controlar de manera eficaz un motor DC.

En la mayoría de los casos, no importa la frecuencia de onda del PWM sino la relación Ton/T. Es importante recordar que la tensión máxima que se le puede aplicar al motor es la nominal, si esta se sobrepasa el motor se dañará. Y la máxima velocidad que se puede alcanzar es la nominal.

Para poder implementar las salidas PWM que active un motor se debe montar el circuito de la figura 4. [7]

Figura 4. Polarización de las salidas PWM del PLC. [6]

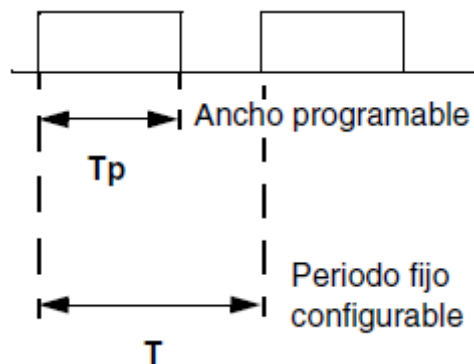


El bloque de función de modulación de ancho de pulso (%PWM) que posee el PLC TWIDO que se trabajo para este proyecto, genera una señal rectangular en las salidas especializadas (%Q0.0 y %Q0.1). Los autómatas con salidas de relé no permiten trabajar con esta función debido a una limitación de frecuencia.

Hay dos bloques %PWM disponibles. El bloque %PWM0 utiliza la salida especializada %Q0.0, mientras que el bloque %PMW1 utiliza la salida especializada %Q0.1.

La frecuencia de la señal de salida se regula durante la configuración, al seleccionar la base de tiempo y el %PwMi.P (llamado preset, como se observa en la figura 28. La modificación del %PwMi.R en el programa permite cambiar el ancho de la señal. En la ilustración siguiente se muestra un cronograma de tiempos programable con el TWIDO SUITE. El ancho de pulso T_p está dado por la ecuación $T_p = T * (\%PwMi.R/100)$, donde el valor de %PwMi.R es el porcentaje de modulación de la señal.

Figura 5. Cronograma de Tiempos del bloque de función %PWM. [6]

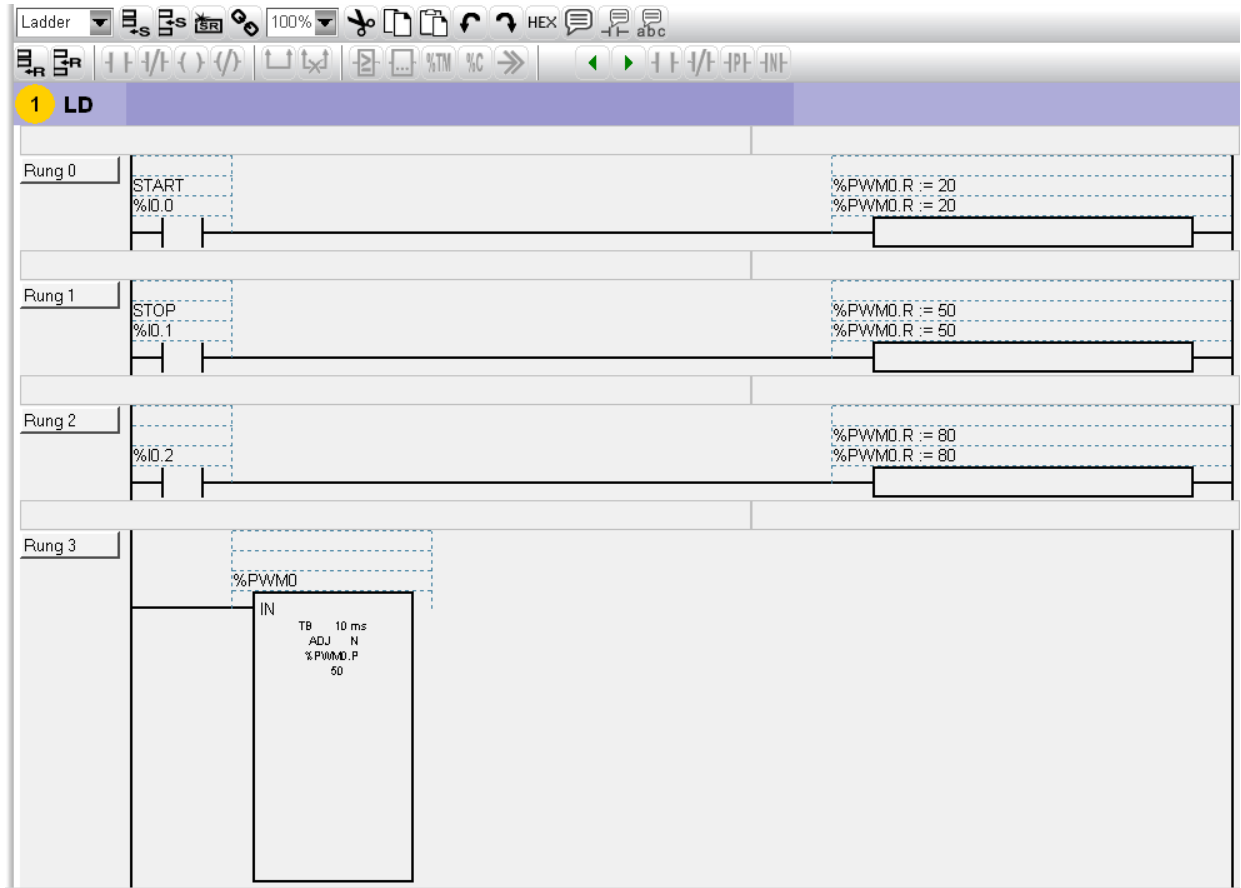


En la siguiente figura se aprecia un ejemplo que se trabajo para realizar las respectivas pruebas del bloque de función %PWM. Este programa modifica el ancho de señal de acuerdo con el estado de las entradas del autómata %I0.0, %I0.1. y %I0.2. Si %I0.0 se pone en 1 y el ratio %PWM0.R se ajusta al 20%, la duración de la señal en estado 1 será: $20\% \times 500 \text{ ms} = 100 \text{ ms}$.

Si %I0.1 se pone en 1, el ratio %PWM0.R se ajusta al 50% (duración 250 ms).

Si %I0.2 se pone en 1, el ratio %PWM0.R se pone al 80% (duración 400 ms).[25][7]

Figura 6. Ejemplo de modulación PWM. [6]



3. SISTEMAS RETROALIMENTADO

Un sistema retroalimentado, toma información del proceso exterior para controlar algún tipo de parámetro de la máquina como corrientes, velocidades, posiciones, etc. En los sistemas de PLC, hay dos formas muy usadas para tomar información de variables externas, por medio de encoders a través de las entradas especiales de alta frecuencia, o por medio de un módulo externo de entradas análogas.

En el caso que se use un encoder se hace necesario tener unas entradas de alta velocidad, donde se puede tomar información con frecuencias hasta de 20Khz, hay tipos de PLC que tienen entradas especializadas para tomar estas variables y hacer un control de posición y velocidad de motores mediante modulación de ancho de pulso.

Cuando se usa el modulo externo de entradas análogas, es necesario saber los rangos en los cuales se pueden incorporar estas variables, debido a que deben ser del rango de 0 a 10 Vdc o de 4 a 20mA, para un óptimo desempeño. [8][27]

3.1 TIPOS DE CONTROL PARA UN SISTEMA RETROALIMENTADO

En un sistema retroalimentado se puede incorporar cualquier clase de control, como es el caso de ON-OFF, ON-OFF Con Histéresis, PID etc. Dependiendo de las necesidades y los requerimientos que el sistema permita. [9]

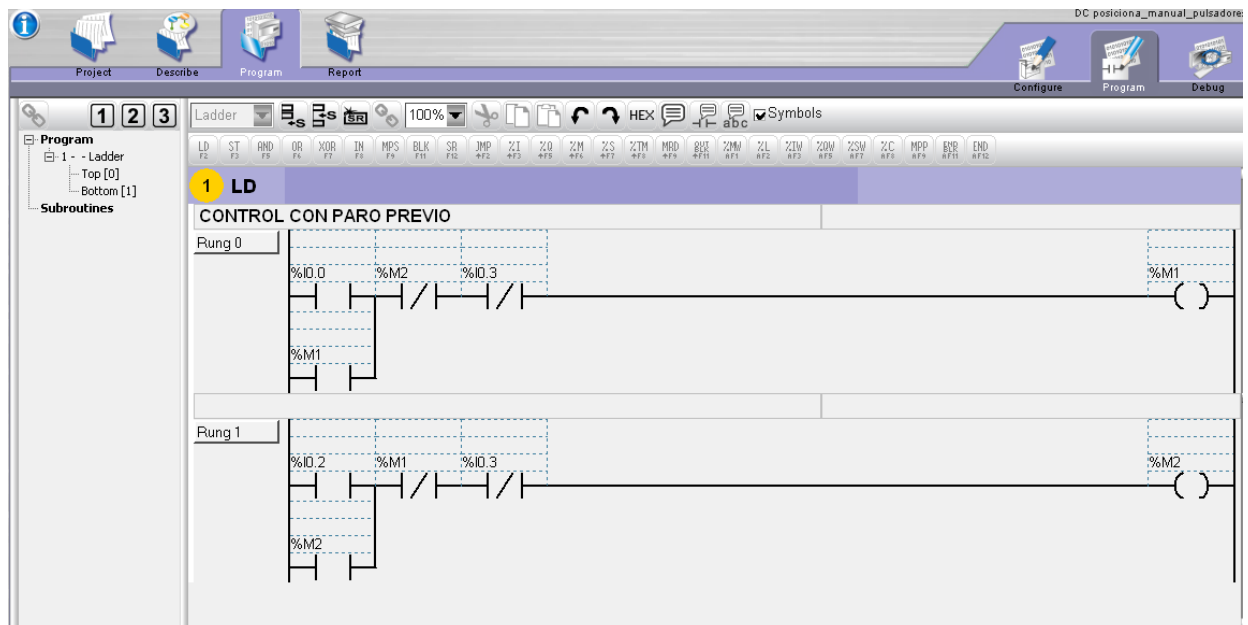
3.2 CONTROL ON-OFF

Para realizar un control ON-OFF tomamos una variable externa la cual es comparada con el valor de entrada (Set Point), si el sistema es igual a la comparación se energizara la salida definida, de lo contrario se mantendrá en estado apagado.

Este tipo de control resulta perjudicial para elementos sensibles a cambios bruscos de tensión debido a que la activación se hace en un periodo de tiempo muy corto y de manera abrupta a los valores nominales de energización. Por esta razón no es muy recomendable para sistemas con control de precisión. [10]

A continuación se observa un ejemplo práctico de las pruebas que se realización a través de un control ON-OFF en el proyecto. La activación del motor se realiza cada vez que se acciona la entrada %I0.0, activando la palabra de memoria %M1 utilizada además para mantener la activación de la misma y posteriormente desactivar %M2 en el caso de que esta este encendida. Para la desactivación del motor se acciona la entrada %I0.2, lo cual genera la activación de la palabra de memoria %M2, la cual desactiva a su vez %M1 y garantiza que %M2 se mantenga encendido hasta el momento es que se accione de nuevo %I0.0.[6]

Figura 7. Control ON-OFF. [6]



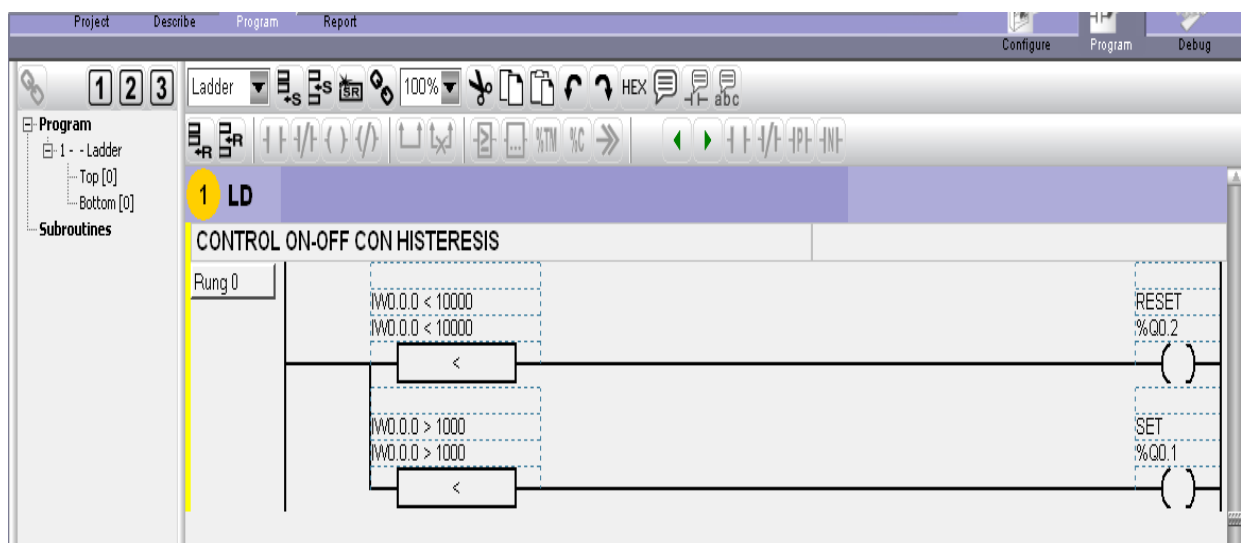
3.3 CONTROL ON-OFF CON HISTÉRESIS

Este tipo de control utiliza dos niveles superior e inferior, para desactivar el sistema. De de esta forma obtenemos un umbral de activación, evitando cambios bruscos de tensión de activación, reduciendo las fallas de los elementos finales de control.

Los niveles de activación y desactivación deben seleccionarse de forma adecuada para que el sistema no entre en fallo debido a nivel demasiado alto o nivel demasiado bajo de esta forma el motor o sea capaz de reaccionar de forma adecuada. [11]

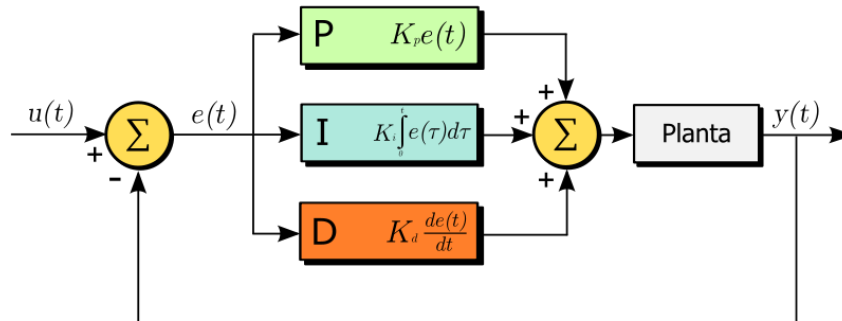
A continuación se observa un ejemplo de configuración de este tipo de control, en donde la variable IW0.0.0 toma valores del potenciómetro interno del PLC; dichos valores son comparados para hacer una activación o desactivación del sistema, con un umbral de trabajo en base a lo descrito anteriormente. Tipo de control muy utilizado en la industria para los sistemas de refrigeración.[7]

Figura 8. Control ON-OFF con Histéresis. [6]



3.4 CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO PID

Figura 9. Control PID. [12]



Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las

acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control. [13][27]

La función PID esta esencialmente enfocada a las necesidades secuenciales para optimizar procesos tales como embalajes, control de válvulas, posición de motores etc. De esta manera brindar un óptimo desempeño para labores industriales donde se requiere un rango muy pequeño de error.

El modulo PID interno del PLC necesita los siguientes parámetros para su funcionamiento:

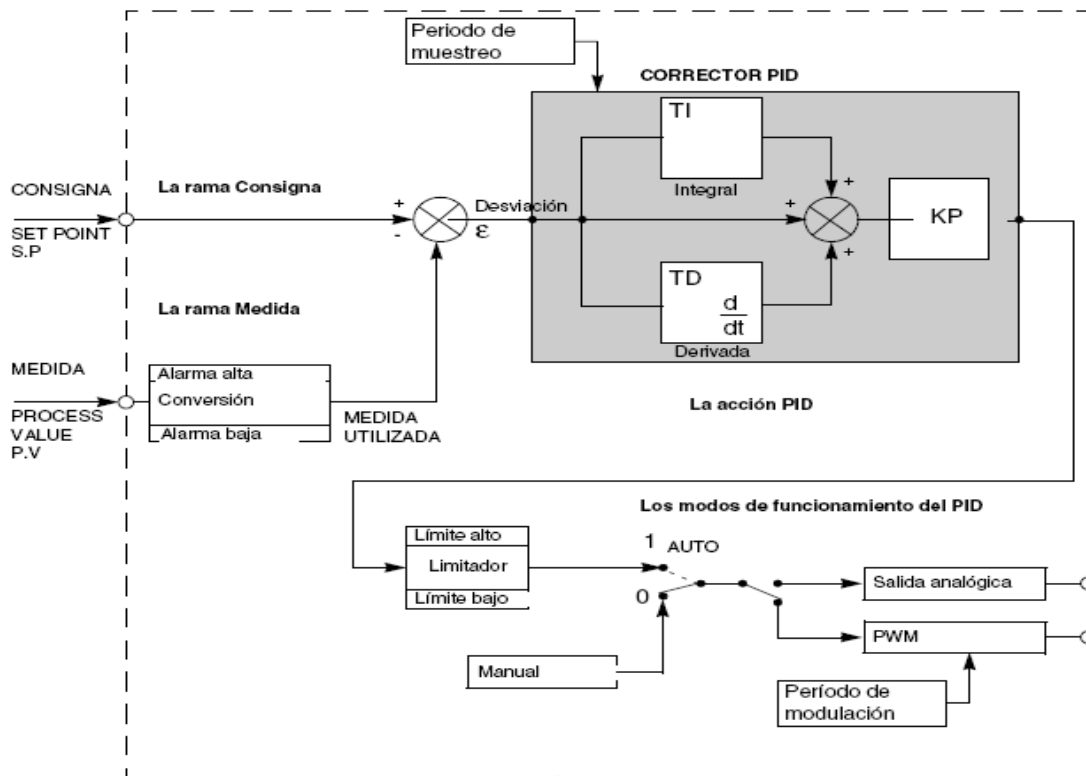
- Entrada analógicas
- Conversión lineal de la medida configurable.
- Alarma alta y baja en entrada configurable.
- Salida analógica o PWM.
- Calibrado de la salida configurable.
- Acción directa o inversa configurable.

3.4.1 Características del Modulo PID

La función PID ejecuta una corrección a partir de una medida y de un valor analógico en el formato de datos predeterminado [0 - 10000] y genera un valor analógico en el mismo formato de una modulación de pulsos (PWM).

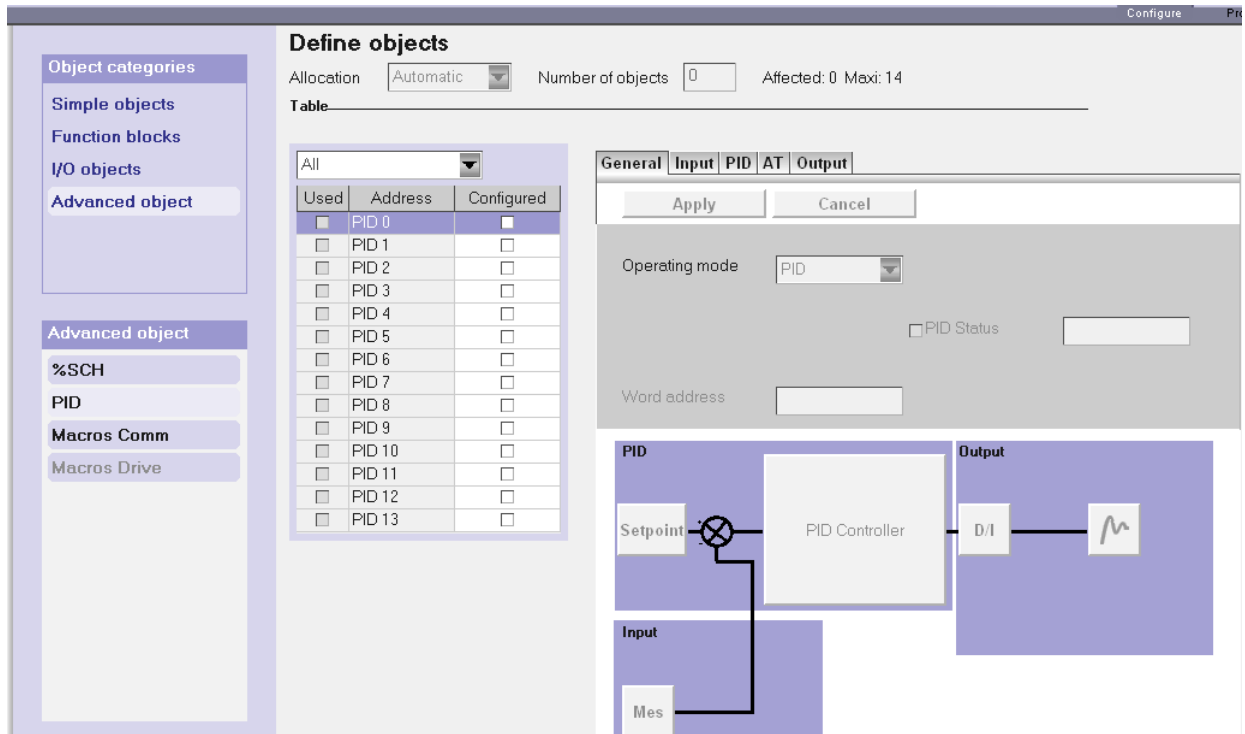
Para una utilización a escala completa (resolución óptima), se puede configurar la entrada analógica conectada a la línea de programación del PID en un rango de 0 a 10000. A continuación se observa un esquema típico de funcionamiento del bloque PID con sus respectivos parámetros y labores.[25][7]

Figura 10. Diagrama de Bloques del PID. [25]



En la referencia de TWIDO TWDLCAE40DRF que se trabajó, no se encuentra disponible el módulo interno PID, debido a que es necesario un módulo especial para este tipo de entradas analógicas, pues el módulo que este PLC tiene adjunto, no posee entradas para termopares requerimiento para el funcionamiento de este bloque de función.

Figura 11. Control PID del TWIDO. [6]



En la figura anterior se observa el entorno que el software TWIDO SUITE V2.2, tiene configurado para la programación de los parámetros del modulo PID.

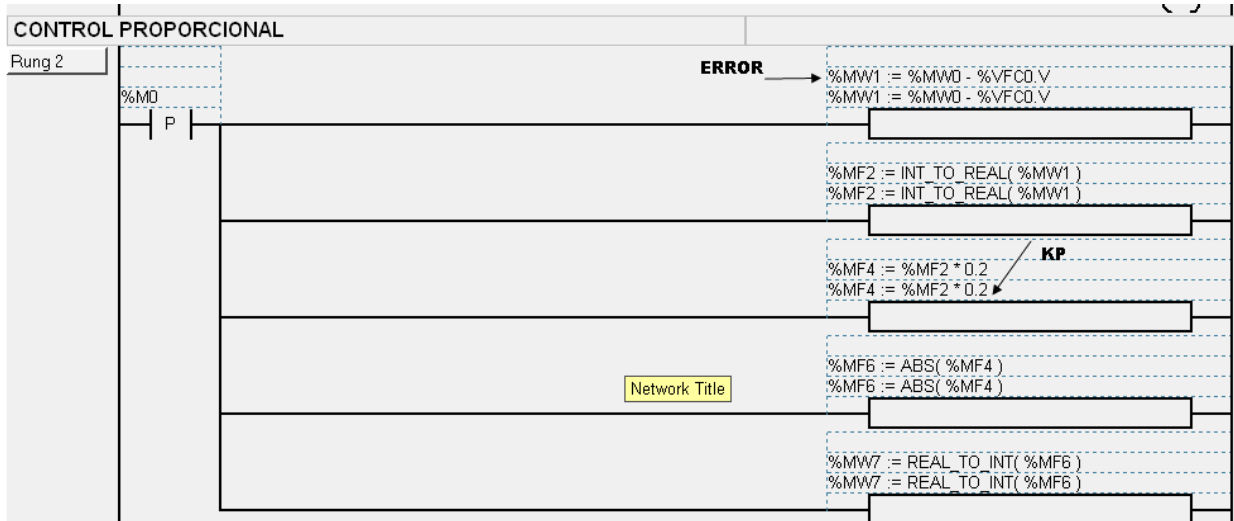
3.4.2 Control Proporcional

$$P_{sal} = K_p e(t)$$

El elemento proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional, de esta manera se hace que el error en estado estacionario sea casi cero, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional el cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobre oscilación. Para que esta falla no ocurra se recomienda que el error debe ser inferior al 30%. La parte

proporcional no depende del tiempo por este motivo se hace necesario incorporar los demás elementos de control como la parte integral y derivativa. [14]

Figura 12. Control Proporcional. [6]



En la figura anterior se observa un ejemplo de un control proporcional, hecho en el proyecto realizado, con sus características como el error, la constante de proporcionalidad KP y la conversión a valor absoluto, pues el tipo de programación del PLC, no maneja números negativos para los cuadros de comparaciones.

3.4.3 Control Integral

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

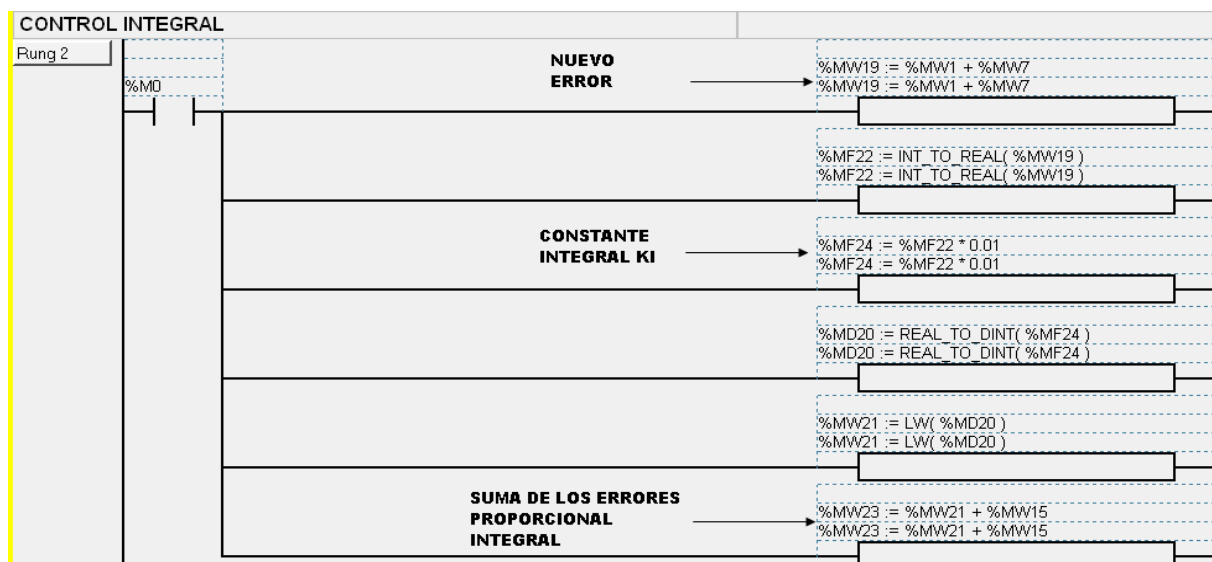
El modo Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante I. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo

Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

El control integral se utiliza para eliminar el inconveniente ocasionado por el offset, que es la desviación de la variable con respecto al set point. [15]

A continuación se observa el bloque de control integral; en su composición es igual al proporcional pero con la incorporación del nuevo error (el error actual más el error anterior), de esta manera se multiplica por la constante integral KI, y se procede a sumarlo con la parte proporcional.

Figura 13. Control Integral. [6]



3.4.4 Control Derivativo

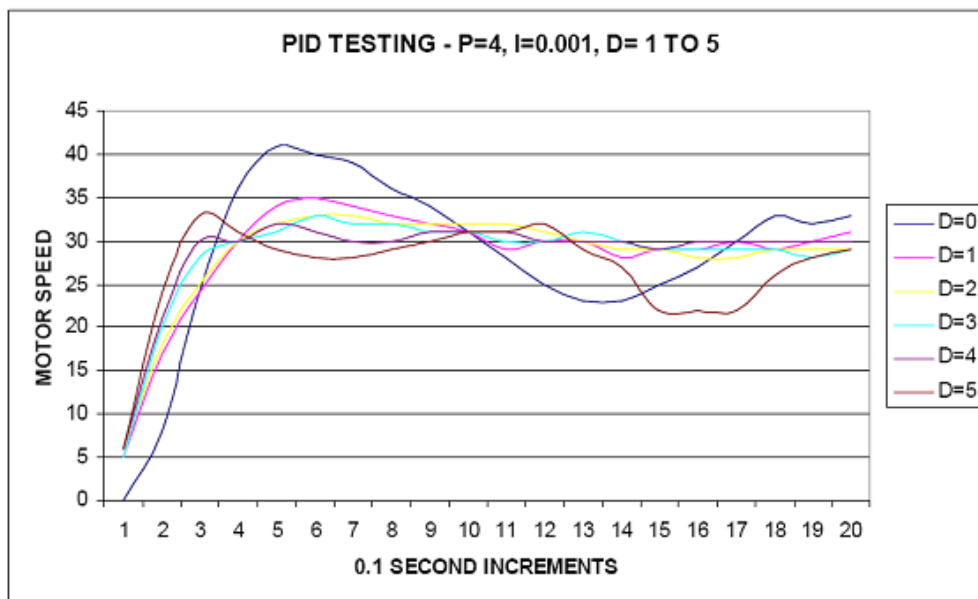
$$D_{sal} = K_d \frac{de}{dt}$$

La acción derivativa se genera cuando hay un cambio en el valor absoluto del error, de esta manera, si el error es constante solo actúan la parte proporcional e integral.

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce, así evitando que el error aumente exageradamente. Esta acción tiene como consigna derivar con respecto del tiempo y multiplicarlo por la constante derivativa y de esta manera sumarlo con las partes anteriores. Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema debido a que una mayor respuesta derivativa correspondería a un cambio rápido y brusco del controlador. Por esta razón este tipo de control suele ser poco utilizado debido a su alta sensibilidad al ruido generando una inestabilidad del sistema.

A continuación se observa una grafica en donde se tiene un sistema con motores y se aprecia los cambios que sufre al modificar las variables descritas anteriormente, (proporcional, integral, derivativa); de esta manera se aprecia cuál de estos factores anteriormente descritos brinda una mayor estabilidad para el sistema. [15]

Figura 14. Simulación de un Sistema PID. [16]



En el proyecto realizado no se incorporo el control derivativo, por sus características de alta sensibilidad al ruido y por sintonización del sistema no hubo la necesidad de incorporarlo.

4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

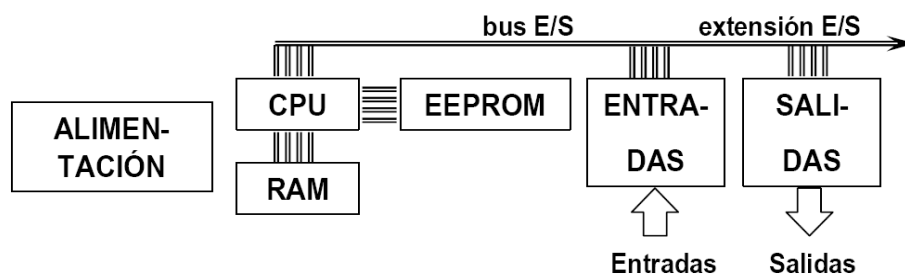
A medida que la industria avanzaba, se hizo indispensable automatizar las líneas de producción, de esta manera nace el PLC como una herramienta para la ayuda del operario. Es un elemento muy importante a la hora de desempeñar labores riesgosas y en donde se necesitara de una alta precisión.

El PLC es un controlador lógico programable que reemplaza los dispositivos auxiliares de automatización y control, está conformado por entradas y salidas digitales, fuentes de poder, carcasa, interfaz de programación y módulos de programación, salidas de transistores, salidas con SCR y salidas con relés.

En la actualidad, los PLC controlan el funcionamiento de maquinas, plantas y cualquier proceso industrial, tiene una comunicación remota con otros controladores y computadores en redes de área local.

Los PLC que se encuentran en el mercado, nos ofrecen un sin número de oportunidades para automatizar procesos de la pequeña y gran industria, de esta manera es un elemento indispensable a la hora de optimizar procesos, elevar los índices de productividad y reducción de costos operativos.[6][26]

Figura 15. DIAGRAMA INTERNO PLC. [6]



4.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

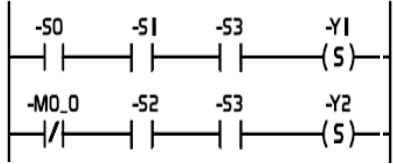
Tabla 1. Características del PLC [17]

Entradas	24
Salidas	16
Tipo de entrada/salida	24 VCC Relé X 14 Transistizadas X 2 Puerto Ethernet
Fuente de alimentación	100/240 VCA
CONFIGURACIONES MÁXIMAS DE HARDWARE	
Puertos serie	2
Puerto Ethernet	1
Slots del cartucho	1
Tamaño máximo de aplicación/copia de seguridad (KB)	64
Cartucho de memoria opcional (KB)	32 ó 64
Cartucho RTC opcional	RTC integrado
Pantalla de operación opcional	Si
2º puerto serie opcional	Si
Módulo de interfase Ethernet opcional	No
APLICACIONES DE E/S BINARIAS	
Entradas binarias estándar	24
Salidas binarias estándar	16 (14 relés + 2 salidas de transistor).
Número máximo de módulos de ampliación de E/S (analógicas o binarias).	7
Máximo de entradas binarias (E/S del controlador + E/S de ampliación)	$24+(7 \times 32)=248$
Máximo de salidas binarias (E/S del controlador + E/S de ampliación).	$16 + (7 \times 32) = 240$
Número máximo de E/S digitales (E/S del controlador + E/S de ampliación)	$40 + (7 \times 32) = 264$
Número máximo de salidas de relé	14 (base) + 96 (ampliación)
Potenciómetros	2
APLICACIONES DE E/S ANALÓGICAS	
Entradas analógicas integradas	0
Número máximo de E/S analógicas (E/S del controlador + E/S de ampl.)	56 de entrada/14 de salida
MÓDULOS DE COMUNICACIÓN	
Número máximo de módulos de interfase del bus AS-Interface	2
Número máximo de E/S con módulos AS-Interface (7 E/S por slave).	$20 + (2 \times 62 \times 7) = 908$
Número máximo de módulos de interfase del	1

bus CANopen	
Número máximo de PDO de T/R con dispositivos CANopen	16 TPDO, 16 RPDO
Controladores remotos	7

4.2 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Tabla 2. Lenguajes de Programación del PLC. [18]

LADDER	Representación gráfica que tiene analogía a los esquemas de contactos. Tiene semejanza con los circuitos de control con lógica cableada.	
LIST	Instrucciones Booleanas, utilizan letras y números para su representación.	LD %I0.1 AND %I0.2 OR %I0.3 OUT %Q0.1

4.3 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Tabla 3. Comunicaciones Industriales. [19][20]

Ethernet Industrial	Este protocolo posee una alimentación redundante, está diseñado para soportar condiciones extremas ya sea de vibración, aceleración y choque.
Modbus	Este protocolo está basado en la estructura maestro/esclavo, es público, se implementa fácilmente y requiere poco desarrollo.
Profibus	Es un estándar de bus de campo abierto, que cubre necesidades de tiempo real además que permite integrar

4.3.1 Cable Maestro TSXCUSB485

El cable multimaestro TSXCUSB485 es un dispositivo que se utiliza para la programación del PLC TWIDO. Proporciona aislamiento eléctrico entre el PC y PLC, soportando la comunicación.

El convertidor TSXCUSB485 es un dispositivo de comunicación multifunción que convierte señales serie, a través de una conexión USB, en señales RS485. [6]

Figura 16. Simulación de un Sistema PID [6]



Tabla 4. Funciones del modo serie. [21]

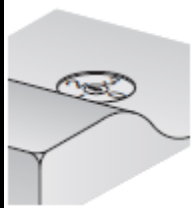
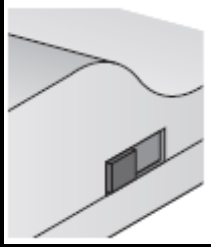
	0	TER MULTI - Modalidad multipunto	Sin utilizar	NC
	1	OTROS MULTI - Modalidad multipunto	Sin utilizar	0 V
	2	TER DIRECT - Modalidad punto a punto.	Utilizado	NC
	3	OTROS DIRECT - Modalidad punto a punto. Otros tipos de comunicación (por ejemplo: Modbus, ASCII)	Utilizado	0 V

Tabla 5. Polarización cable multimaestro TSXCUSB485. [21]

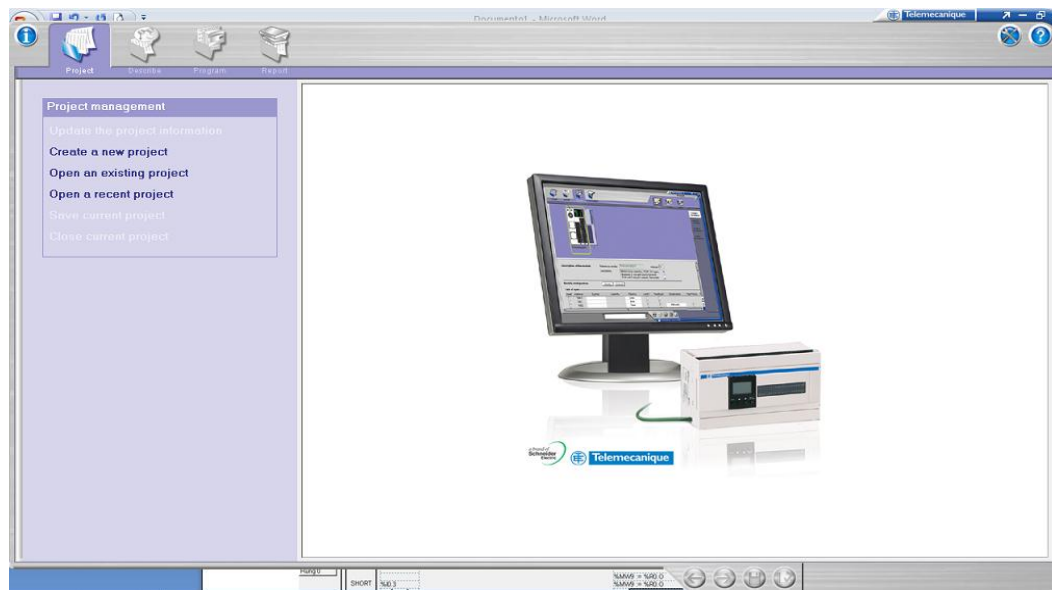
		
	<p>DES</p>	<p>Debe elegirse esta posición:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si la línea Serial Modbus ya se ha polarizado mediante otro dispositivo - Para la comunicación Uni-Telway
<p>CON</p>	<p>El convertidor polariza el bus Serial Modbus (560 Ohmios).</p>	

5. SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN PARA LOS BLOQUES DE FUNCIONES ESPECIALES

5.1. TWIDO SUITE

En el desarrollo de este proyecto se trabajó con el PLC TWIDO TWDLCAE40DRF DE TELEMECANIQUE. Para la programación del mismo se utilizó en software libre TWIDO SUITE V.2.20 del mismo fabricante.

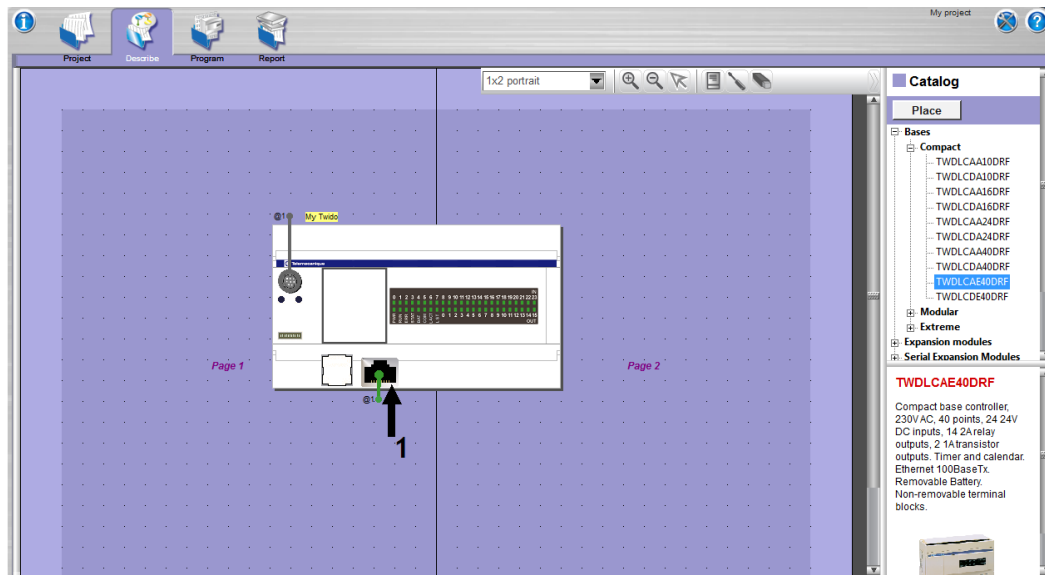
Figura 17. Software TWIDO SUITE [6]



En la figura 17 se observa la pantalla inicial de este software de programación. En la parte superior izquierda se reconocen las siguientes opciones: *crear un nuevo proyecto*, *abrir un proyecto existente* y *abrir un proyecto reciente*.

De esta manera se selecciona la opción de *CREAR UN NUEVO PROYECTO* para inicializar la programación.

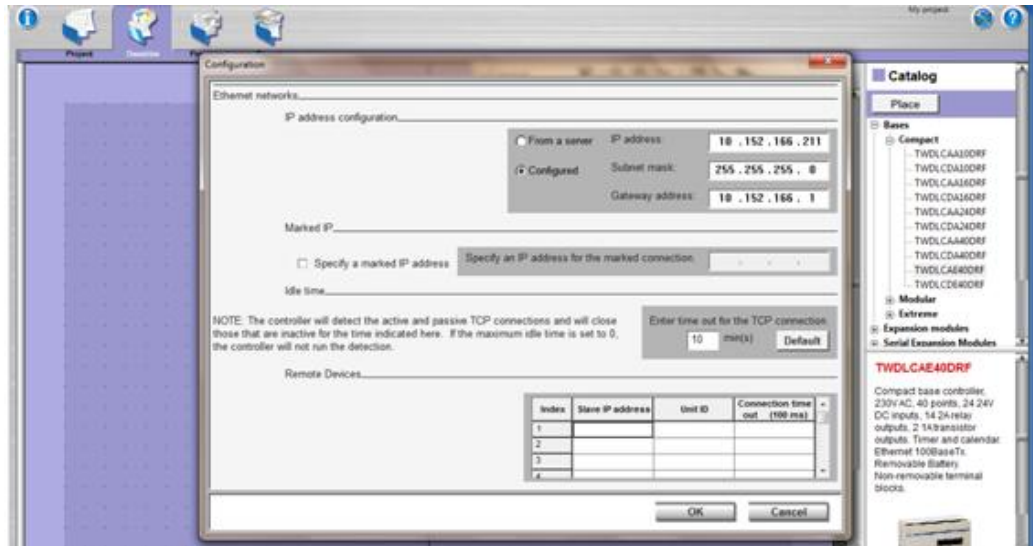
Figura 18. Pantalla de selección de los PLC. [6]



En la figura anterior se observa la pantalla inicial donde se realizará la selección del PLC que se va a trabajar. Para ello se accede al menú *BASES* → *COMPACTOS*, una vez desplegada la pestaña de *COMPACTOS* se selecciona el PLC de referencia TWDLCAE40DRF.

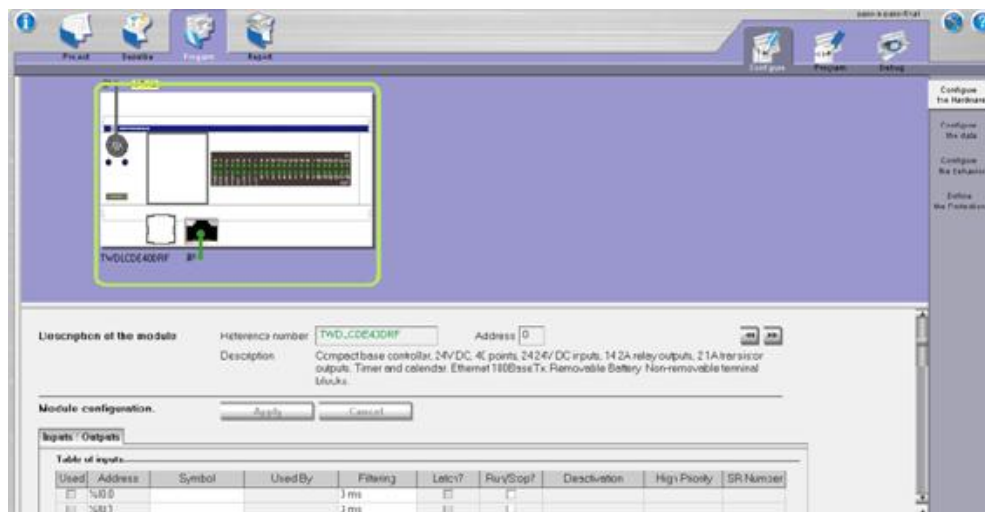
Una vez seleccionada la referencia se lleva hacia la plantilla para hacer las configuraciones respectivas de los puertos o la red ethernet que se utilizara para posteriormente cargar el programa en el mismo. Para ellos se da doble click sobre el puerto hembra del RJ 45 (1) y se despliega la ventana que se observa en la figura 19.

Figura 19. Configuración de la red Ethernet. [6]



Una vez seleccionada la red se procede a asignarle una dirección IP (10.152.166.211), una máscara de subred (255.255.255.0) y una dirección de pasarela (10.152.166.1). Una vez ingresados estos datos se procede a realizar la correspondiente validación para que el módulo quede configurado.

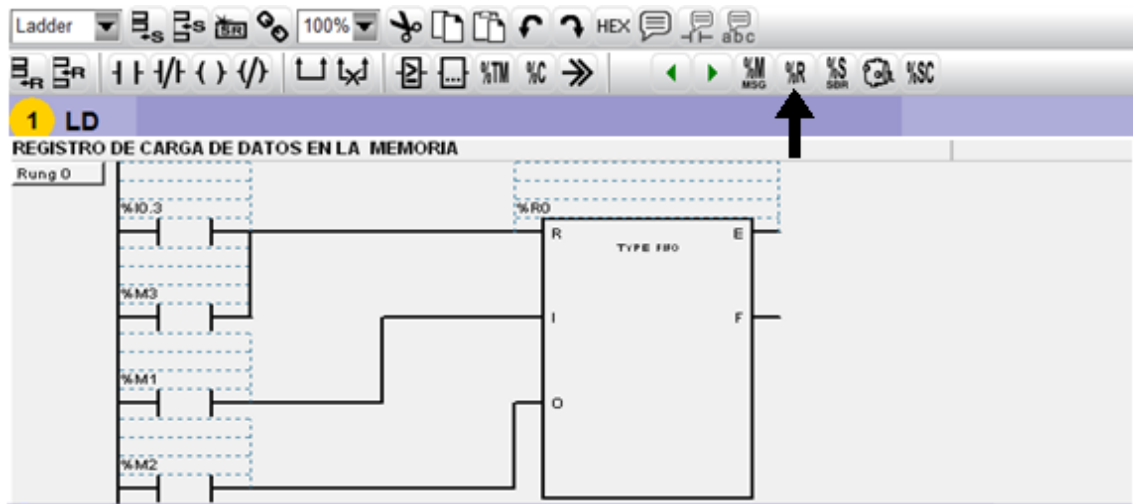
Figura 20. Visualización de la Pestaña PROGRAM. [6]



Una vez guardada la configuración, se selección la pestaña de PROGRAM (Figura 20) de la cual se derivan tres secciones más (CONFIGURE, PROGRAM Y DEBUG). En

CONFIGURE se tiene la posibilidad de visualizar todas las I/O del equipo. Para iniciar la programación se selecciona la pestaña de *PROGRAM*. Es esta instancia se encuentran diferentes módulos de programación, algunos de ellos son:

Figura 21. Registro de carga de datos en la memoria. [6]



Bloque de función FIFO (First In, First Out.) es utilizado para operaciones de cola, es decir como sus siglas lo indican el primer elemento de datos introducido es el primero que se recupera o sale de la misma.

En la figura 21 se observa la primera línea de programación del proyecto, es una variable de almacenamiento de datos tipo FIFO. Este tipo de memoria se obtiene mediante el panel de herramientas que se encuentra en la parte superior.

De esta manera se almacenan los datos provenientes de la interfaz grafica, que son datos numéricos de valores correspondientes al desplazamiento del motor paso a paso.

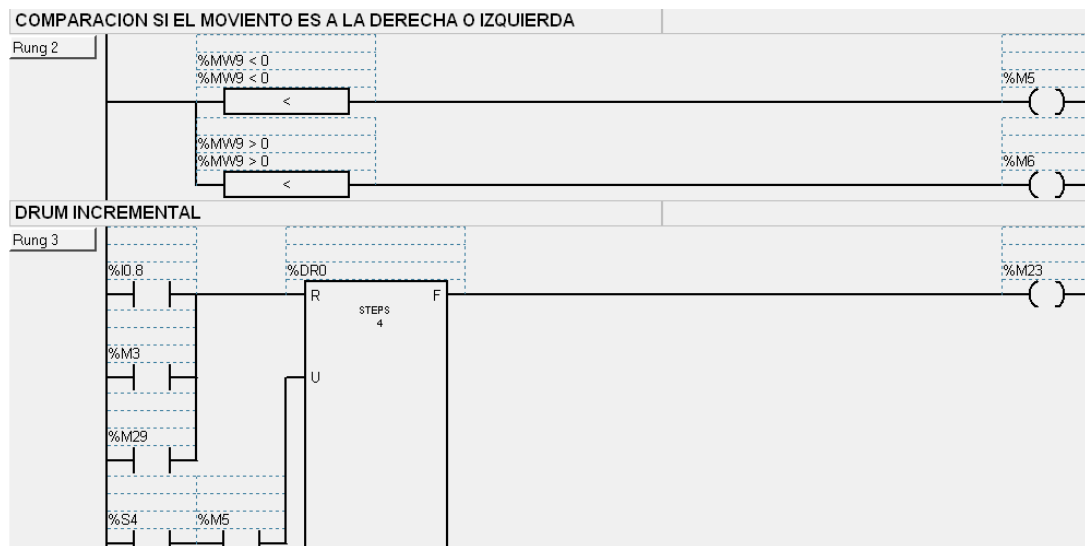
Los datos son almacenados en una variable de entrada que se simboliza con la letra I, la salida de los datos se realiza al pulsar en la HDMI el contactor de salida, para observar el desplazamiento en el hardware del motor paso a paso.

La operación de este tipo de memorias se explica a continuación: Cuando se recibe un flanco ascendente en la entrada I (solicitud de almacenamiento), el contenido de la palabra de entrada %Ri.I que ya está cargada, se almacena en la parte superior de la pila de datos. Cuando la pila está llena no es posible continuar el almacenamiento y se activa la salida F del bloque.

Cuando se recibe un flanco ascendente en la entrada O (solicitud de recuperación), el dato inferior de la pila se carga en la salida %Ri.O y el contenido del registro se desplaza una posición hacia abajo en la cola. Cuando el registro está vacío no es posible continuar la recuperación y por lo tanto se activa la salida E. La salida %Ri.O no se modifica y conserva su último valor.

Para restablecer la cola en cualquier momento se asigna a la entrada R un flanco ascendente.

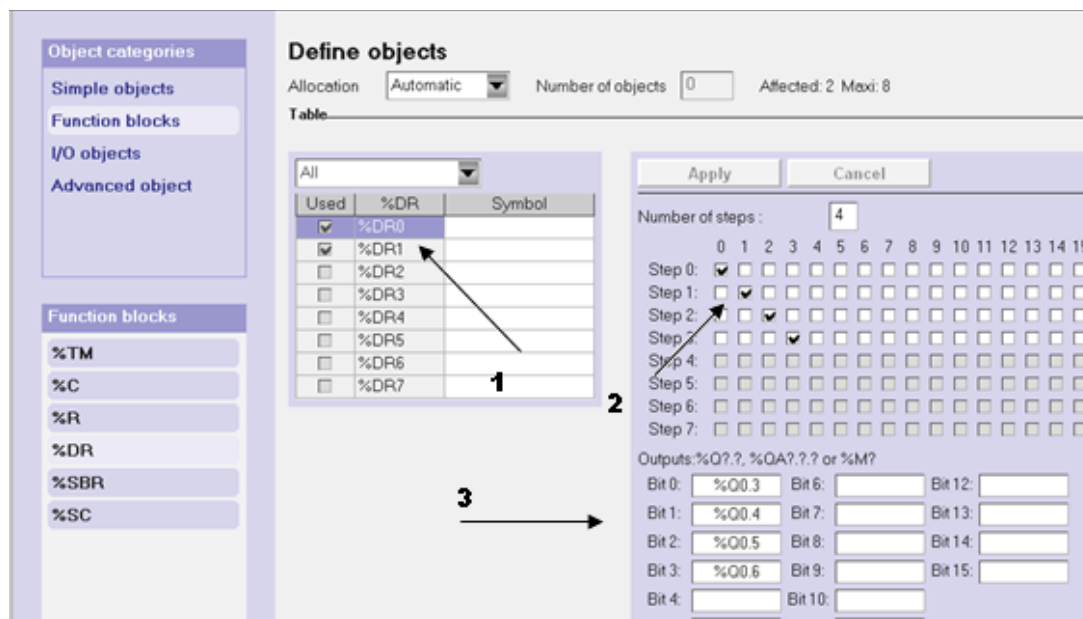
Figura 22. Bloques de comparación. [6]



En la figura anterior se aprecia un bloque de comparación respecto a cero para poder observar si el movimiento se realiza hacia la izquierda o derecha, dependiendo del signo del valor numérico que ingresa a la memoria FIFO. De esta manera se activa la

subrutina de movimiento DRUM que genera una secuencia de disparos de activación para las bobinas del motor paso a paso como se muestran en la figura 23.

Figura 23. Configuración del DRUM. [6]



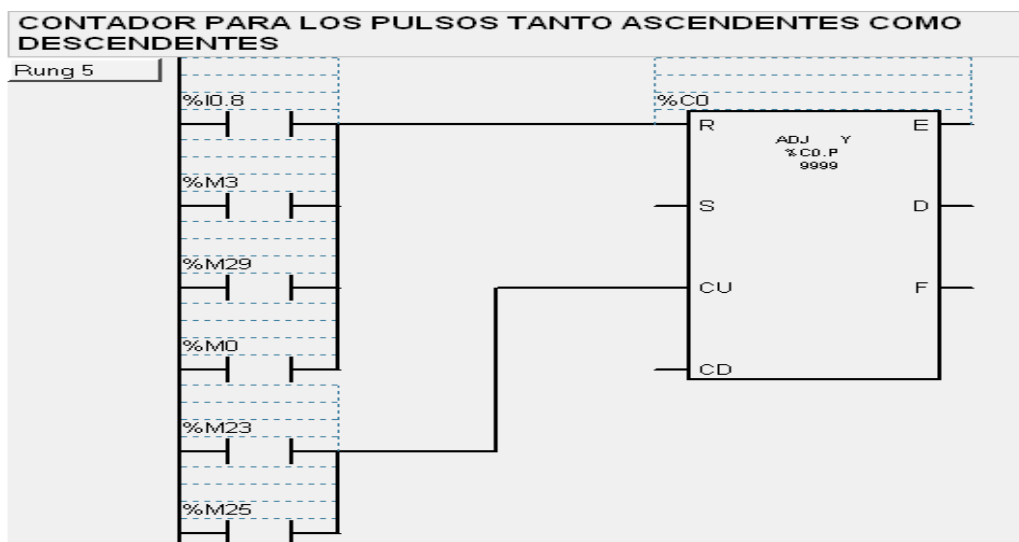
El controlador del conmutador de tambor (%DRUM) funciona con cambios de pasos asociados a eventos externos. Las secuencias de giro para los motores se simbolizan mediante el estado 1 para cada paso y se asignan a bits de salida %Qi.j o bits internos %Mi, conocidos como bits de control.

El controlador del conmutador de tambor está compuesto por:

- Una matriz de datos constantes (CAM) organizada en ocho pasos (de Step 0 a Step 7) y 16 bits de datos (estado del paso) distribuidos en columnas numeradas (de 0 a 15).
- Se asocia una lista de los bits de control a una salida configurada (%Qi.j) o a una palabra de memoria (%Mi). En el transcurso del paso actual, los bits de control adquieren los estados binarios definidos para el paso.

La subrutina de la figura 23, permite la configuración de diferentes bloques de funciones dependiendo de la cantidad de giros que se vayan a controlar **(1)**, a su vez cada giro lleva una secuencia de encendido las cuales se seleccionan dependiendo del motor paso a paso que se trabaje (monopolo o bipolo) **(2)** y cada uno de los bits correspondientes a un disparo, es necesario que se le asigne una salida externa del PLC con la cual se va a trabajar **(3)**.

Figura 24. Bloque de función Contador. [6]



El bloque de función del contador (%Ci) cuenta los eventos de forma progresiva y regresiva. A su vez estas dos operaciones se pueden ejecutar de manera individual o simultáneamente según lo requiera.

En la figura 24 se observa un contador de pulsos y sus diferentes conexiones como se describe a continuación:

- R.** Es la entrada para reset donde se detiene automáticamente el conteo.
- S.** Es la entrada para activar el valor previamente cargado en la configuración interna del contador de pulsos.
- CU.** Conteo ascendente cada vez que reciba un flaco.

CD. Conteo descendente cada vez que reciba un flanco.

E. ENABLE.

D. Se activa una vez el conteo se ha desbordado de forma descendente.

F. Se activa una vez el conteo se ha desbordado de forma ascendente.

Figura 25. Bloque de función de TIMER. [6]

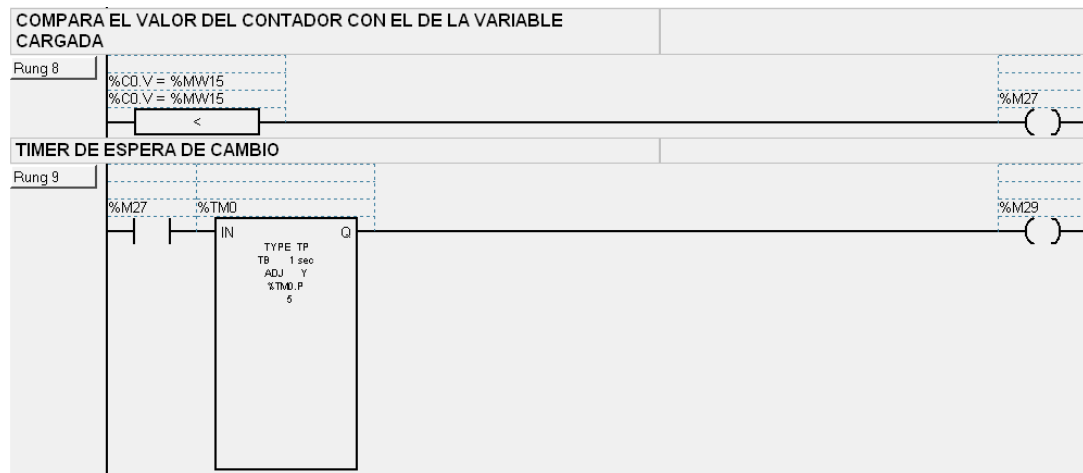


Figura 26. Configuración de los TIMER. [6]

Used	%TM	Symbol	Type	Base	Preset	Adjustable
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM0	TP	TP	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM1		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM2		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM3		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM4	1 2	TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM5		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM6		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM7		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM8		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM9		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM10		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM11		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM12		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM13		TON	1 min	9999	<input checked="" type="checkbox"/>

En los bloques de función TIMER está compuesto por una serie de submenús los cuales permiten configurar sus parámetros, los cuales son:

1. Selección de la cantidad de TIMER's que se trabajaran dependiendo la necesidad.
2. Selección el tipo de TIMER dependiendo de la de función que ejecutará en el programa (TP=Time Pulse, Ton= Time on , Toff=Time off)
3. Configuración de los diferentes bloques de funciones que trabaja el TWIDO SUITE.

Figura 27. Módulo PWM. [6]

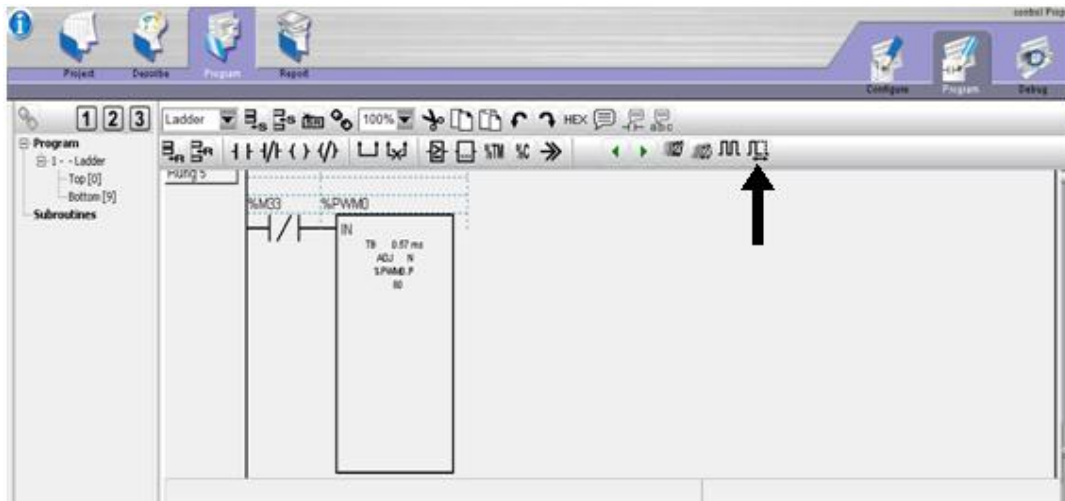
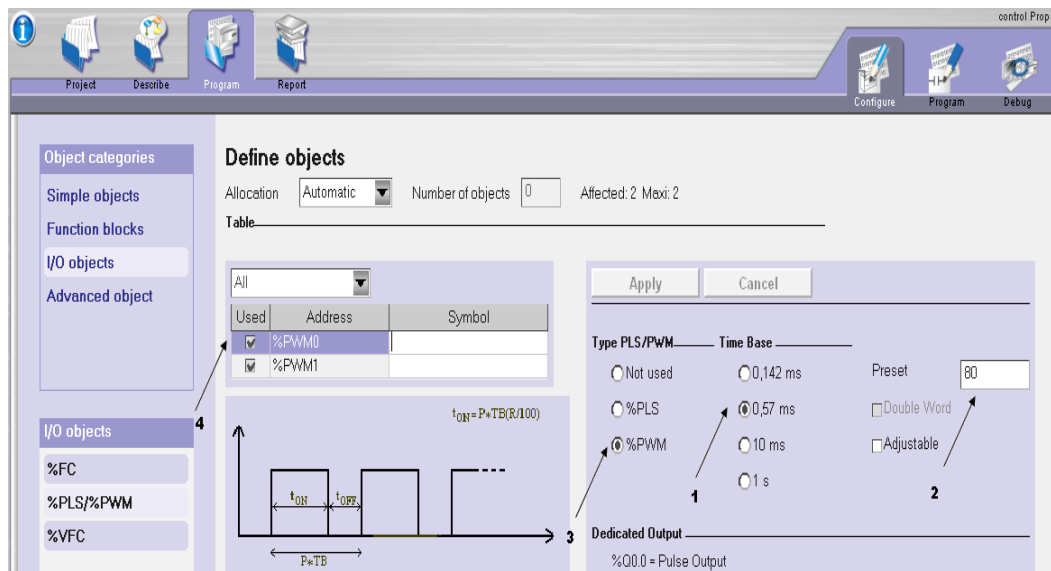


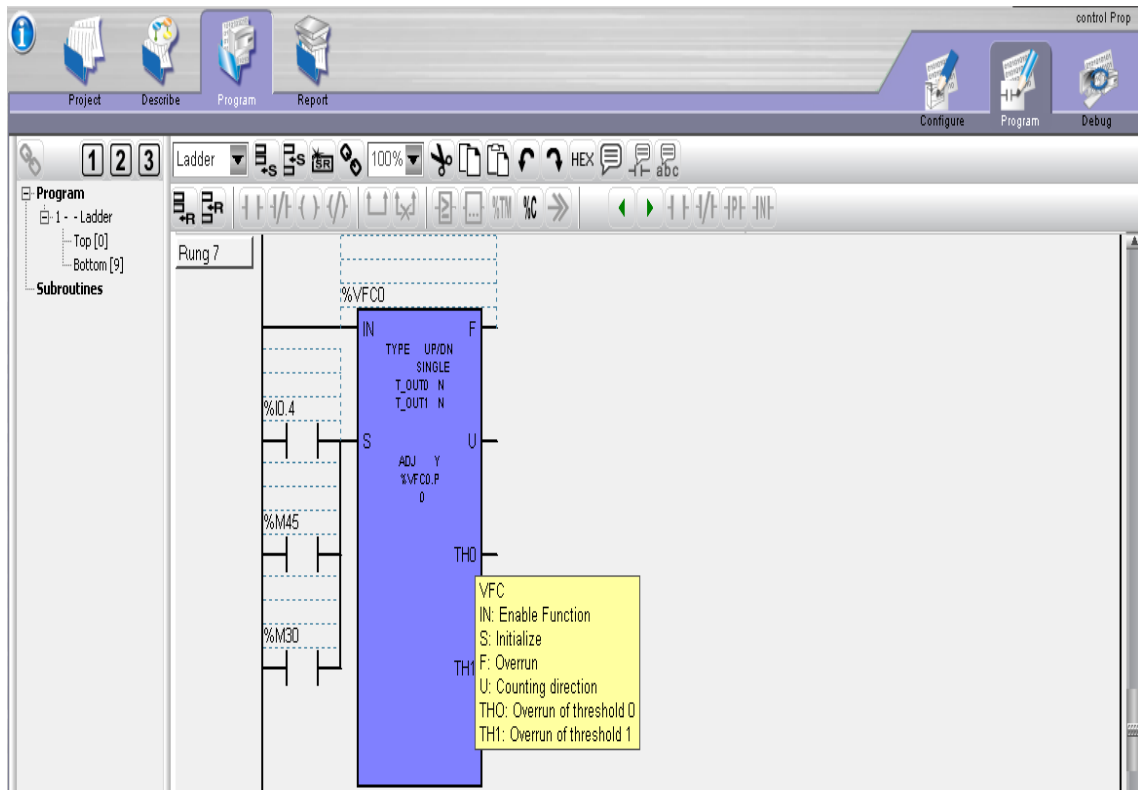
Figura 28. Configuración del módulo PWM. [6]



En la figura anterior se observa cómo se configuran los parámetros internos del modulo PWM; a continuación se definirán cada uno de ellos:

1. Se debe elegir la base de tiempo para la modulación requerida con los valores preestablecidos que el modulo entrega.
2. Se debe de elegir el valor de PRESET que para la ecuación del PWM que está dada por $T_{on} = P \cdot T_B$, hay que recordar que los valores de PRESET son en milisegundos (ms).
3. Configurar que tipo de modulación se desea hacer, ya que este modulo permite elegir una modulación por pulsos normal o PWM.
4. Elegir cuantos módulos PWM necesitamos, pues esta referencia de TWIDO TELEMECANIQUE TWDLCAE40DRF, nos permite elegir 2 modulaciones a través de las salidas transistorizadas Q0 Y Q1.

Figura 29. Módulo Very Fast Counter (VFC). [6]



Los bloques de función de contadores muy rápidos (%VFC) utilizan entradas especializadas, que para el caso de este proyecto, y por las características del PLC

fueron %I0.0 y %I0.1. Estas entradas no están reservadas para su uso exclusivo, pero tan pronto es adicionado el bloque de función de %VFC este toma los datos de las entradas especializadas.

Para la realización de este proyecto se utilizo la función de conteo muy rápido (%VFC), debido a que este funciona a una frecuencia máxima de 20 kHz y para un rango de valores de 0 a 65.535. Los contadores rápidos a su vez solamente permiten contar a una velocidad de hasta 5 kHz, por lo tanto no es útil ya que encoder trabaja a una frecuencia máxima de 50 kHz, y el contador que registra los datos de entrada es el que si nombre lo indica Very Fast Counter.

En la figura anterior observamos el modulo VFC (Very Fast Counter) o contador rápido, el cual tiene unos parámetros para configurar dependiendo de nuestras necesidades, a continuación explicaremos estos ítems.

IN. Este es el habilitador de acción del contador.

S. Es el valor de preselección o fijación de valor nominal.

F. Terminal donde estará activo siempre y cuando el VFC se encuentre trabajando.

U. Este terminal se pondrá en alto o en bajo dependiendo el tipo de conteo que esté haciendo en esos momentos el contador si es ascendente o descendente.

TH0. Se enciende cuando el conteo es de manera incremental.

TH1. Es activado en el momento que el conteo de forma decrementa.

En la siguiente figura se observa el control proporcional realizado en nuestro proyecto, en donde se aprecia el valor del contador rápido (VFC0.V), el valor de set point proveniente de la HMI (%MW0), el cual se restan y de esta manera obtenemos el error dado por la variable %MW1, que es multiplicado por la constante de proporcionalidad, para hacer esta multiplicación se cambio de tipo de variable entera a Flotante %MF4, que para nuestro caso la constante es de 0.2, en la línea siguiente observamos la conversión a valor absoluto debido a que el PLC no toma valores negativos para hacer

comparaciones y de esta manera hacer las respectivas modulaciones para controlar la velocidad del motor DC.

Figura 30. Control proporcional. [6]

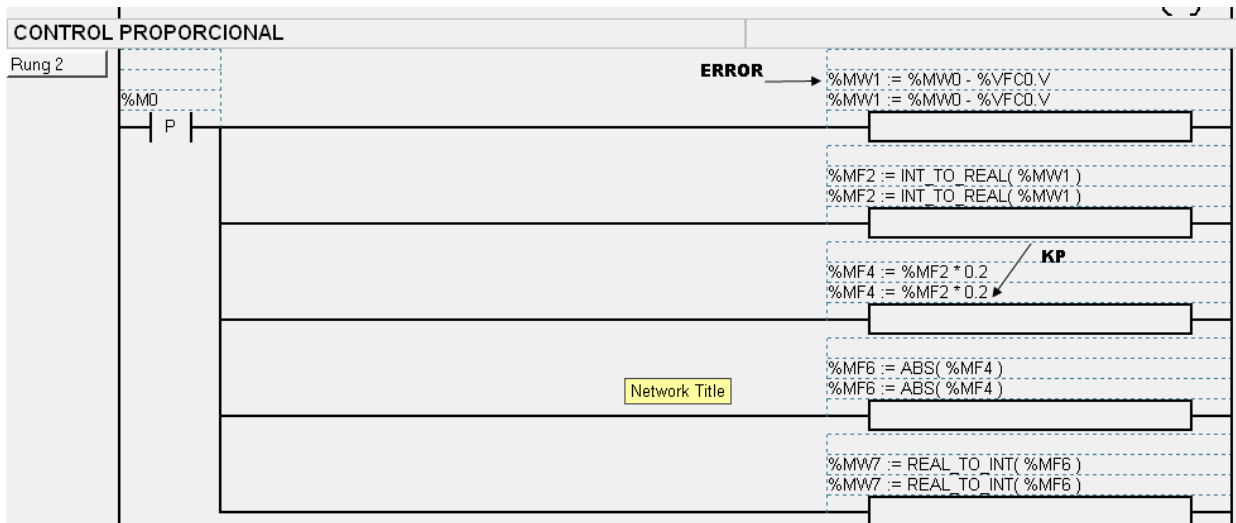
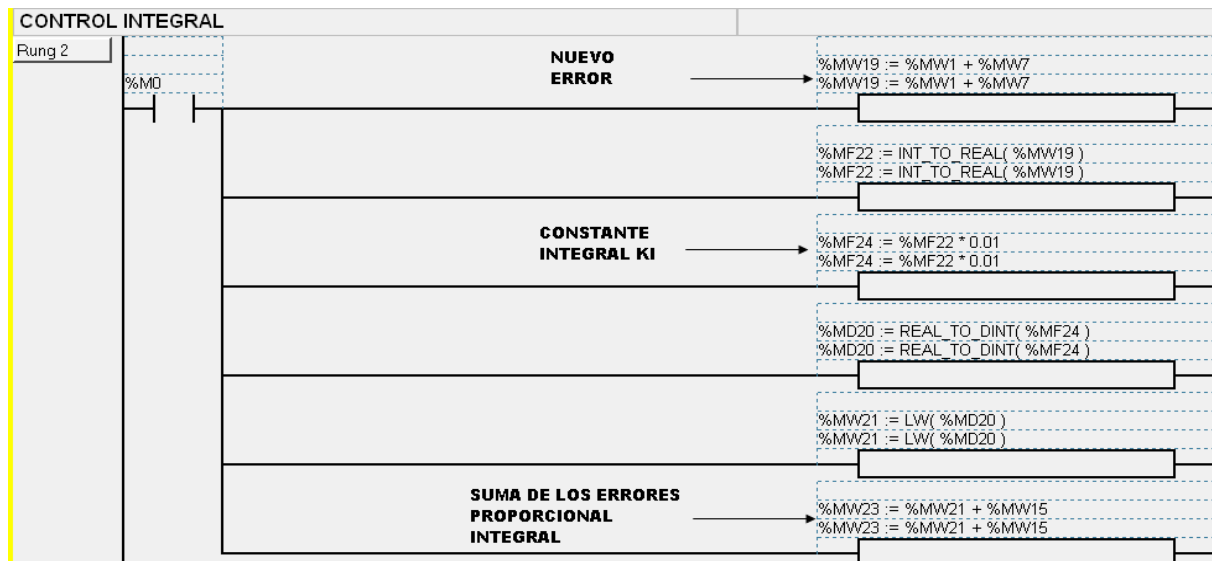


Figura 31. Control Integral. [6]



En la figura anterior se observa un bloque parecido al del control proporcional, pero en este hallamos el error actual %MW19 , lo sumamos con el error proporcional, que se etiqueta en el cuadro como nuevo control, lo multiplicamos por la constante integral KI,

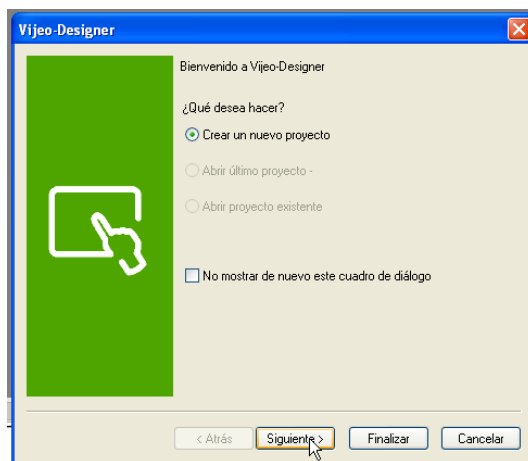
que anteriormente fue convertida de entera a flotante %MF24, se sumaran estas variables %MW23, junto con el error proporcional, hallado en las líneas anteriores de programación, de esta manera sacar los datos a través de la modulación PWM.

5.2. VIJEI-DESIGNER

Vijeio-Designer es un software de creación de proyectos de interfaz máquina humana, donde se pueden ejecutar un gran número de órdenes. Con Vijeio-Designer, se puede crear visualizaciones de pantallas avanzadas con gráficos funcionales y animaciones que cumplan todos los requisitos, reduciendo al mínimo los tiempos en programación. [21]

Para crear un nuevo proyecto se accede al programa de la siguiente forma: *Inicio* → *Todos los Programas Schneider Electric* → *Vijeio-Designer* → *Vijeio-Designer*, la ventana inicial de Vijeio-Designer se aprecia en la figura 58. En esta se ofrecen tres opciones para crear un proyecto nuevo, abrir el último proyecto y abrir un proyecto existente.

Figura 32. Ventana inicial Vijeio-Designer. [6]



Una vez se selecciona la opción de Crear un nuevo proyecto, se seleccionara la pantalla sobre la cual se va a trabajar el proyecto la cual será una Magelis XBT GT2330 (figura 33).

Figura 33. Selección del Modelo del Terminal Táctil. [6]

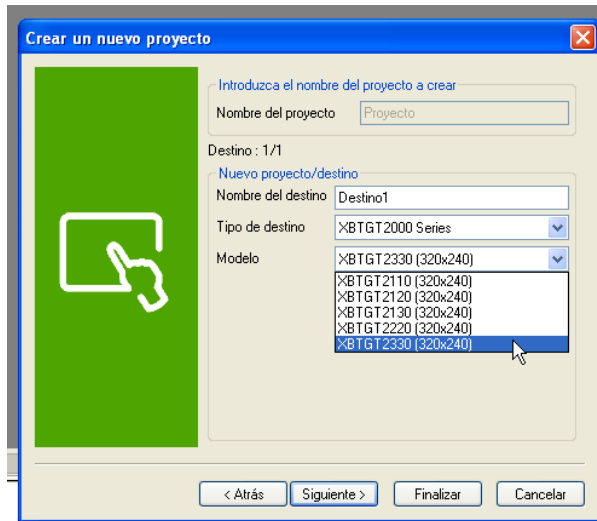
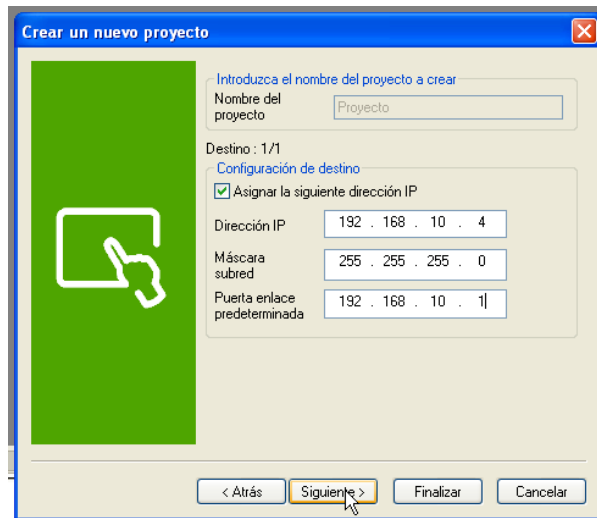
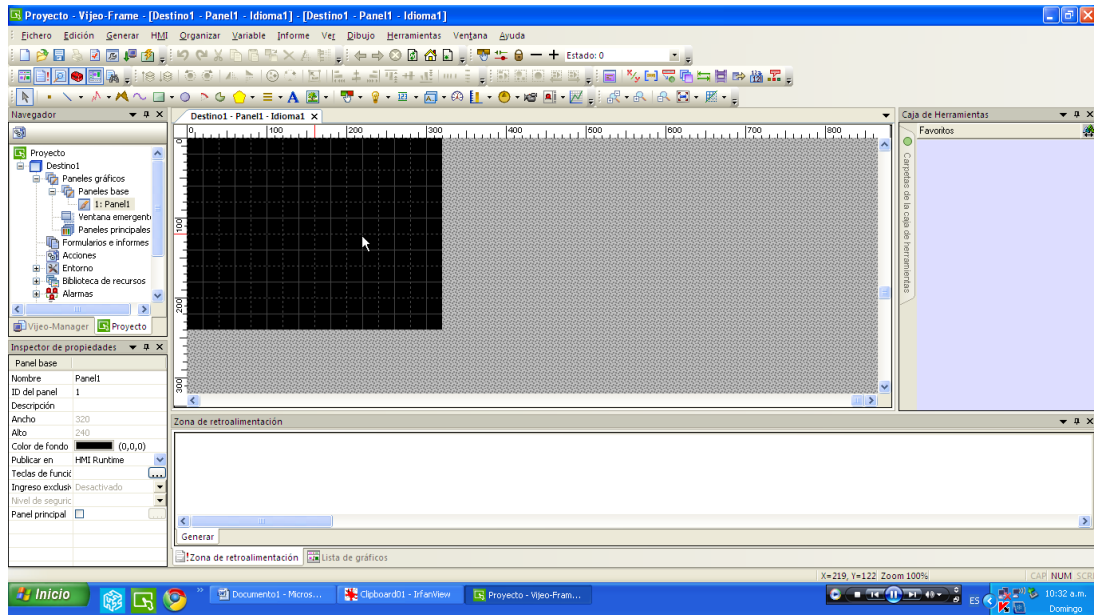


Figura 34. Configuración de la red Ethernet del Terminal Táctil. [6]



Una vez se termina de crear el proyecto nuevo se genera una pantalla inicial como la de la Figura 35, en la cual ya se puede comenzar la construcción de la HMI que se implemento en este proyecto.

Figura 35. Pantalla inicial del proyecto creado. [6]



El primer panel que se creó (figura 36) permite el control del motor paso a paso. Para ello inicialmente se ingresa una coordenada ya sea un valor positivo o negativo de esta, que posteriormente posicionara la banda según el requerimiento. Esta GUI esta compuesta por tres pulsadores, el *MEMORY IN* permite ingresar los datos a la pila de la memoria FIFO de TWIDO SUITE; el *MEMORY OUT* permite sacar los datos de la pila de la memoria uno por uno y en el mismo orden en que fueron ingresados para que el sistema realice la secuencia; y finalmente el *RESET* el cual clarea la memoria FIFO y resetea todo el sistema quedando la banda en la posición final de la misma permitiendo accionar un contacto más llamado *HOME*, el cual posicionara la banda en un punto intermedio preestablecido para el sistema. En la parte derecha posee dos indicadores *LEFT Y RIGHT* los cuales se van a encender dependiendo del sentido en que este girando el motor.

Figura 36. Panel del Sistema del Motor paso a paso. [6]

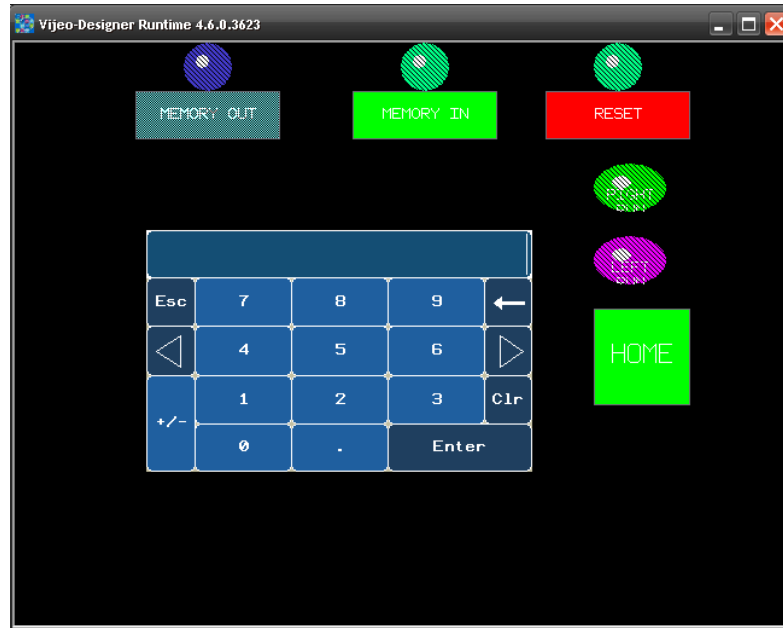


Figura 37. Variables de la HMI. [6]

	Nombre	Tipo de datos	Origen de datos	Grupo de escaneo	Dirección de d...	Grupo de alarmas	Grupo de registros
1	Discreto02	Discreto	Externo	hwdo	SM2	Desactivado	Ninguno
2	Discreto04	Discreto	Externo	hwdo	SM3	Desactivado	Ninguno
3	Discreto03	Discreto	Externo	hwdo	SM4	Desactivado	Ninguno
4	Entero01	Discreto	Externo	hwdo	SM41	Desactivado	Ninguno
5	Discreto05	Discreto	Externo	hwdo	SM6	Desactivado	Ninguno
6	Discreto06	Discreto	Externo	hwdo	SM7	Desactivado	Ninguno
7	Discreto01	Flotante	Externo	hwdo	SMF3	Desactivado	Ninguno

Tipo Dato (points to Tipo de datos)
Origen Dato (points to Origen de datos)
Direccion (points to Dirección de d...)
Variable Destino (points to Grupo de alarmas)

En la figura anterior se observa el tipo de dato que manejan los iconos seleccionados para el funcionamiento de la pantalla táctil, para los botones e indicadores lumínicos,

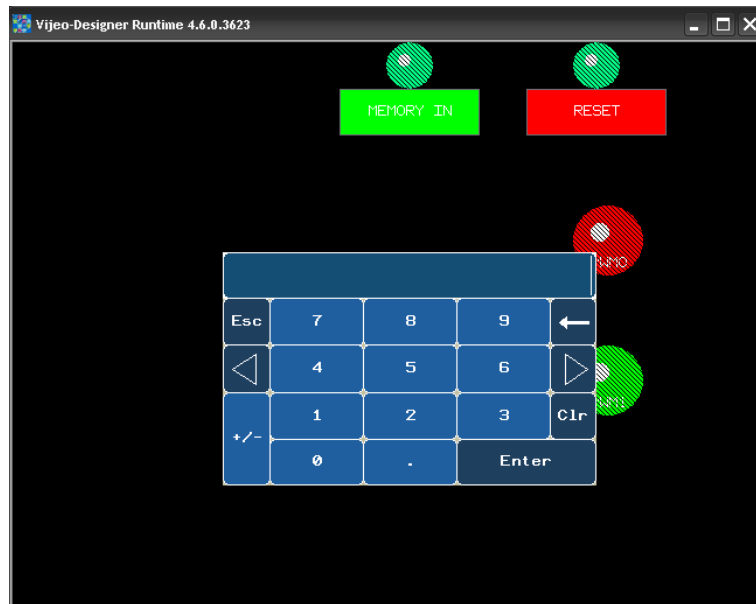
se selecciono el tipo de dato discreto; para el datos numérico que se ingresan se hizo necesario utilizar datos flotantes, para que pudiese incorporar valores positivos y negativos. En la casilla origen de datos hace referencia a si el datos es proveniente del mismo PC o es de características externas como se muestra en la figura. En la casilla de dirección se configuró el destino de los datos, que para este caso es TWIDO etiqueta seleccionada para hacer referencia al PLC previamente configurado con su dirección IP [10.152.166.211] a través de la red Ethernet. En la variable de destino, se indicó el tipo de dato al cual van ligadas las variables de la pantalla táctil con las variables del PLC, haciendo salvedad en el valor numérico, pues la variable de pantalla tiene que ser un valor menos que el ligado al PLC, por ejemplo para el icono de ingreso de valores numéricos se asigno la variable %MF3, la cual será recibida en el PLC en la ubicación %MF2.

Tabla 6. Tabla Descriptiva de los Iconos de la Pantalla Táctil, variables usadas en el PLC del Módulo de Motor Paso a Paso. [6]

	Discreto 02	%M2
	Discreto 04	%M3
	Discreto 03	%M4
	Discreto 01	%M41
	Discreto 05	%M6
	Discreto 06	%MF7
	Entero 01	%MF3

Para el segundo panel, que es el correspondiente al motor DC se tiene un contacto llamado *MEMORY IN* el cual ingresa el dato de posicionamiento de la banda, el contacto *RESET* restaura todo el sistema a sus valores iniciales. Dos indicadores llamado *PWM0* y *PWM1* son los encargados de indicar el sentido de giro del motor.

Figura 38. Panel del Sistema del Motor DC. [6]



Para la programación del panel del motor DC se hizo de la misma manera como se describió la programación del panel del motor paso a paso, a continuación se muestra una tabla de los nombres de los iconos de la pantalla táctil con su respectiva variable de direccionamiento del PLC.

Tabla 7. Tabla Descriptiva de los Iconos de la Pantalla Táctil, variables usadas en el PLC del Módulo del Motor DC. [6]

	Discreto 02	%M42
	Discreto 04	%M44
	Discreto 03	%M46
	Discreto 05	%M60
	Discreto 06	%M63
	Entero 01	%MW11

6. PROTOTIPO DESARROLLADO

Figura 39. Prototipo del modulo de motor DC. [6]

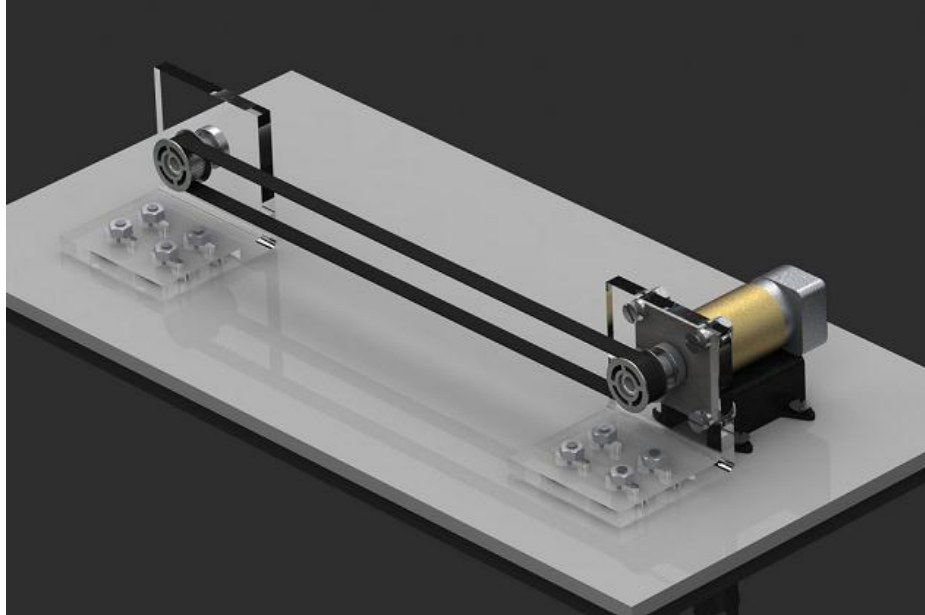
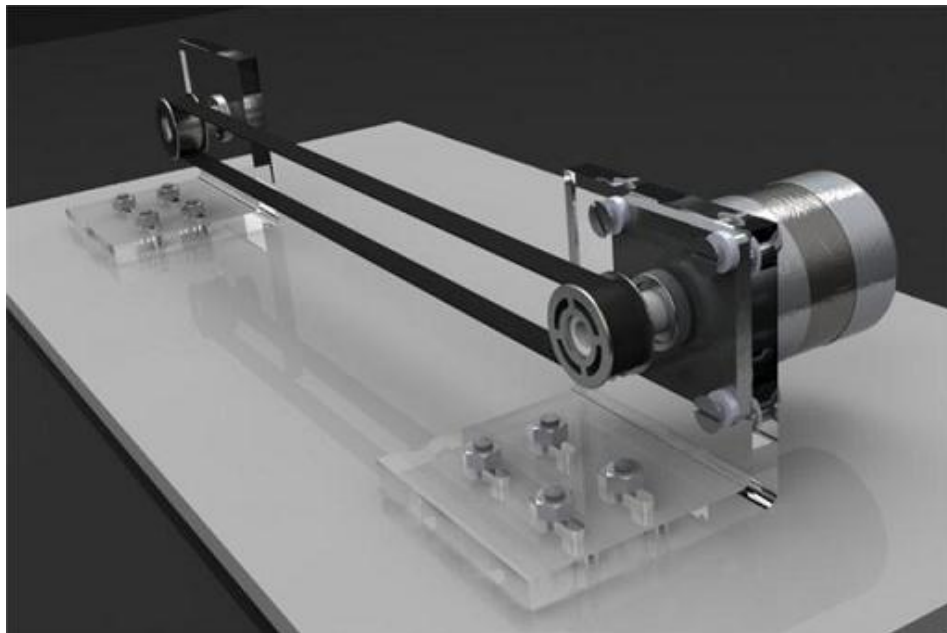


Figura 40. Prototipo del modulo del motor paso a paso. [6]



6.1. HARDWARE

Para este proyecto se realizo un acople mecánico basado en:

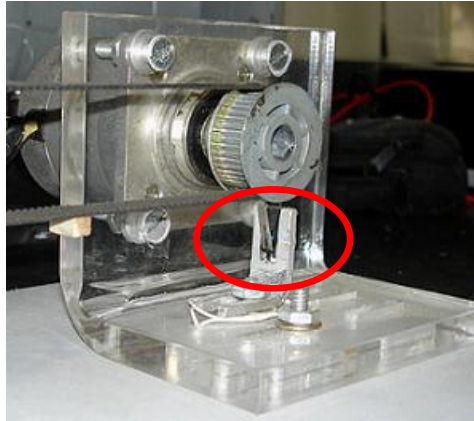
6.1.1. Poleas Dentadas

Se encuentran acopladas a los motores. Para este proyecto se trabajo la talla XL de 1/5 pulgadas de diámetro, el cual nos dio un recorrido de 2.1mm por paso, con 44 dientes de transmisión, debido a que por su tamaño permitía un mejor manejo con el diseño; también se incorporo la correa dentada de la misma talla con longitudes de 40cm .Se acoplaron con los motores a través de unos bujes con prisionero de 3/16 de pulgada de diámetro, con unas bases acrílicas de 1 cm de grosor con rodamiento del mismo tamaño del eje de las poleas.

6.1.2. Sensor de Proximidad (Final de Carrera)

Es conocido como sensor de contacto o interruptor límite, está compuesto por dos partes: un cuerpo donde están los contactos y un cabezal que detecta el movimiento. El sensor posee dos tipos de contactos uno abierto (NA) y otro cerrado (NC) que al activarse el cabezal, conmutan cambiando de estado. En la ejecución del proyecto se utilizaron dos (2) finales de carrera en el módulo del motor paso a paso montado sobre las bases acrílicas de un centímetro de grosor, como el mostrado en la Figura 8, para determinar los topes del recorrido de la banda.

Figura 41. Final de Carrera del módulo del motor paso a paso. [6]



6.1.3. Motor DC con Encoder

Es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica, fundándose en el movimiento rotatorio; sin embargo también es posible conseguir una tracción lineal de acuerdo a posibles configuraciones que se efectúan para ciertas aplicaciones. Los Motores de Corriente Continua, se han posicionado como elementos fundamentales y versátiles en la industria, ya que su modo de operación es práctico, de bajo costo, y permite el control de posición y velocidad en las diferentes aplicaciones para las cuales son empleados.

Comercialmente se encuentran motores de corriente continua de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento. [22]

Figura 42. Motor de Corriente Continua con encoder. [23]



El funcionamiento de un motor de corriente continua es muy simple, solo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con invertir la polaridad de alimentación. El encoder que posee en su parte posterior esta acoplado al eje del motor, envía un tren de pulsos dependiendo del sentido de rotación, es de construcción sencilla y está compuesto por un disco ranurado y un sensor foto eléctrico tipo barrera. Cuando la ranura del disco está frente al sensor no hay conducción de luz, cuando esta frente a un orificio si hay conducción de luz. Estas conducciones de luz se convierten en estados de voltaje alto y bajo. Estos estados son el llamado tren de pulsos y para este caso el encoder maneja 100 pulsos por vuelta dada.

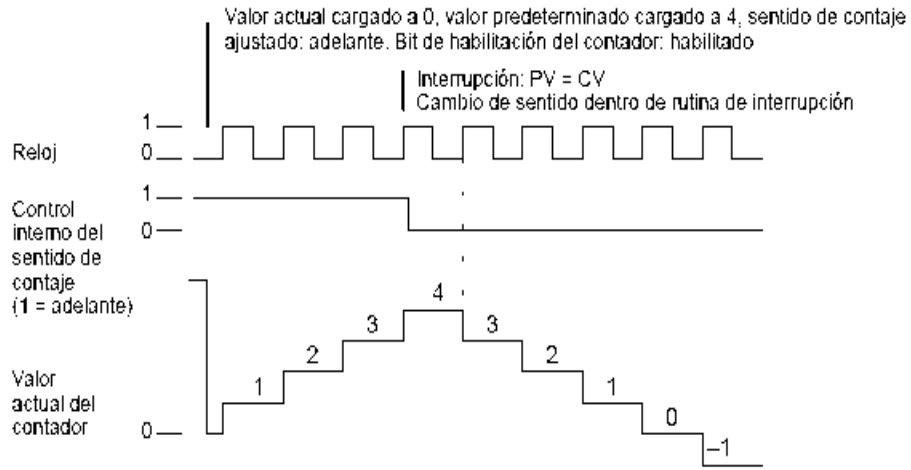
❖ Tipos de Salidas de Pulsos en los Encoder

Los encoder no solo dan el número total de pulsos dependiendo el giro, también depende de la forma como envía la información de salida para que sea usada en el PLC; los tipos de salida pueden ser:

- Salida con pulso y estado.
- Salida con pulsos.
- Salida con desfase.

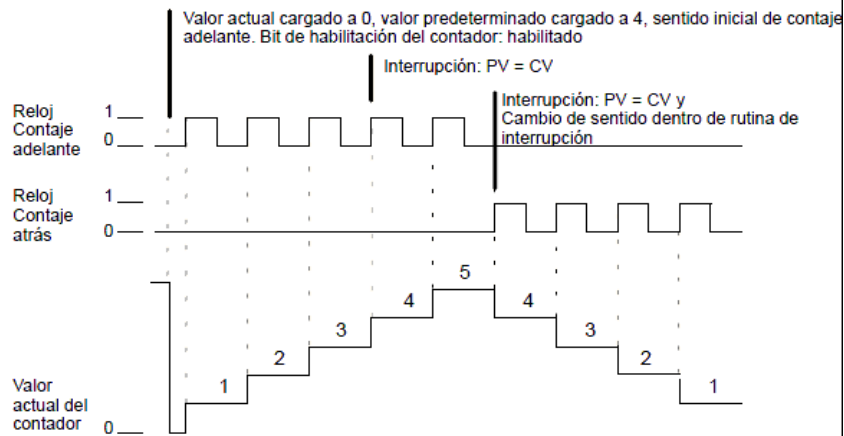
Salida con Pulso y Estado: posee dos salidas una para los pulsos y otra para el sentido de giro. Estado=alto y hay salida de pulsos, motor gira en sentido horario. Estado=bajo y hay salida de pulsos, motor gira en sentido anti horario. En el caso de la ausencia de salida de pulsos el motor está detenido.

Figura 43. Salida con Pulso y Estado [7]



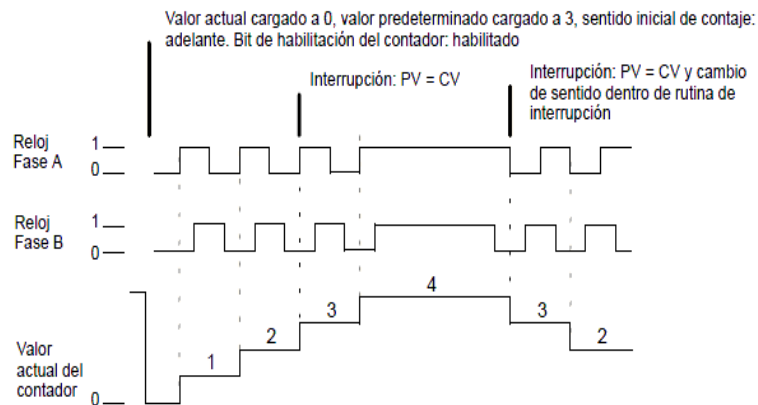
Salida con Pulsos: El sentido lo da la salida por donde salen los pulsos, si los pulsos salen por la salida uno el motor gira en sentido horario y los pulsos dicen cuantos grados se ha movido el motor. Lo mismo sucede con la otra salida.

Figura 44. Salida con Pulsos [7]



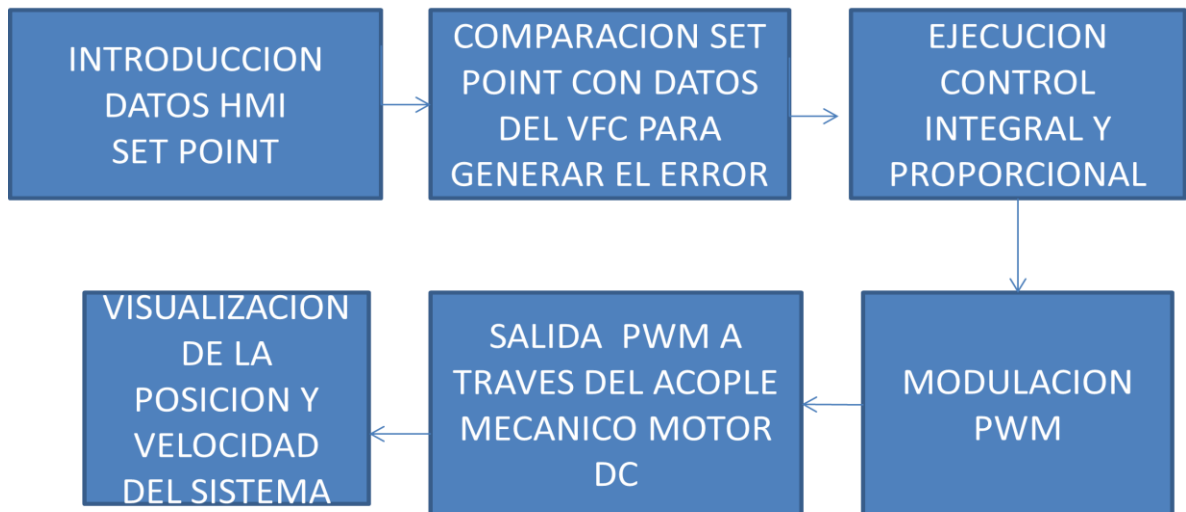
Salida con Desfase: Si el motor gira en sentido horario primero se presenta un flanco positivo en la salida A y después se presenta en la salida B. Si gira en sentido anti horario el flanco positivo se presenta primero en la salida B y luego en la A. [7]

Figura 45. Salida con Desfase [7]



Para este proyecto se utilizo el motor de la marca JAPAN SERVO MOTOR.CO con especificaciones de 24v de alimentación, una potencia de salida de 21w, alimentación de encoder de 5v y 100 pulso por vuelta de encoder. [ANEXO B MOTOR DC].

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL PARA EL MOTOR DC



6.1.4. Motor paso a paso

El motor Paso A Paso, es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo cual es que es capaz de avanzar un número de grados conocidos como pasos, dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un convertidor digital-analógico y se puede controlar por impulsos procedentes de sistemas lógicos.

Un motor paso a paso es una maquina eléctrica con 4 bobinas independientes y un común, el cual nos permite una activación separada para tener un control muy preciso de desplazamiento.

Este elemento se usa preferiblemente en sistemas de posicionamiento en máquinas de control como impresoras, faxes, fotocopiadoras, robots industriales, etc. Existe un inconveniente en este tipo de motores y es el sistema de potencia en el movimiento ya que es bastante pequeño y lo hace más complejo, debe haber una sincronización en el movimiento de las bobinas, el sistema de control debe estar dedicado al movimiento.

Cuando se trata de control de velocidad este tipo de motor es deficiente por que necesita un sistema de control dedicado a su control, aunque existen circuitos dedicados al control de este tipo de motor el costo de implementación puede ser alto.[7]

❖ Tipos de motores paso a paso

- El motor de paso de rotor de imán permanente

Permite mantener un par diferente de cero cuando el motor no está energizado. Dependiendo de la construcción del motor, es típicamente posible obtener pasos angulares de 7.5, 11.25, 15, 18, 45 o 90°. El ángulo de rotación se determina por el número de polos en el estator

- El motor de paso de reluctancia variable (VR)

Tiene un rotor multipolar de hierro y un estator devanado laminado, este rota cuando los engranajes del rotor son atraídos a los engranajes del estator electromagnéticamente energizados. La inercia del rotor de un motor de paso de reluctancia variable es pequeña y la respuesta es muy rápida, pero la inercia permitida de la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero. Generalmente, el paso angular de este motor de paso de reluctancia variable es de 15°.

- El motor híbrido de paso

Se caracteriza por tener varios engranajes en el rotor y estator, y el rotor con un imán concéntrico magnetizado. Se puede ver que esta configuración se mezcla los tipos de reluctancia variable e imán permanente. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par y se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8°.

- Motores paso a paso Bipolares

Estos tienen generalmente 4 cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados debido a que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

Motores paso a paso unipolares

Estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexión interna. Este tipo se caracteriza por ser el más simple de controlar.

❖ Velocidad de rotación

La velocidad de rotación viene definida por la ecuación:

$$N = 60 * \frac{f}{n}$$

F = Frecuencia del tren de pulsos.

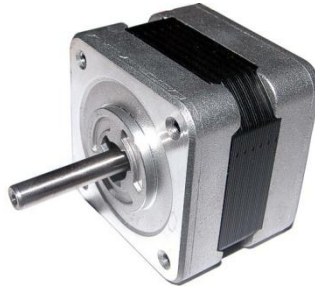
N(n) = numero de polos que forman el motor.

Tabla 8. Secuencia de giro del motor. [6]

↻	1	0	0	0
	0	1	0	0
	0	0	1	0
	0	0	0	1
↺	0	0	0	1
	0	0	1	0
	0	1	0	0
	1	0	0	0

En la tabla anterior se observa la secuencia de activación de las bobinas del motor paso a paso con su respectiva inversión de giro.

Figura 46. Motor paso a paso comercial. [24]

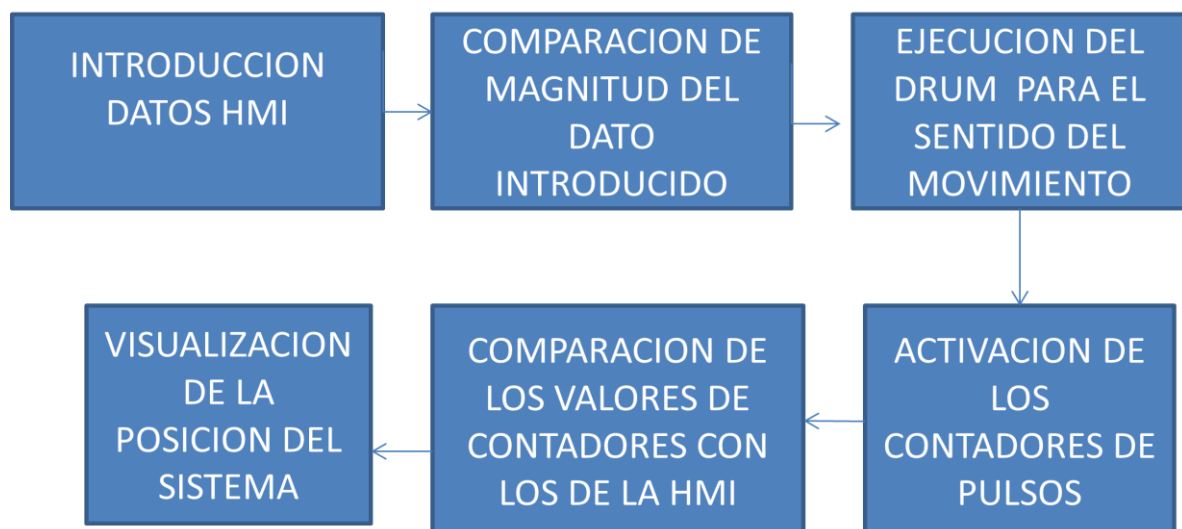


En el proyecto se utilizo el motor paso a paso del tipo bipolar, de la marca ASTROSYN con las siguientes especificaciones [Anexo C]

- Angulo De Paso 1.8 grados
- Rotor De Inercia 260 g cm²
- Masa 0.60 kg
- Diámetro eje 6.35mm

Para el proceso de programación del control del motor paso a paso, se uso el modulo de control de pulsos del PLC, que se le conoce como DRUM o disparatador de tambor de pulso. Para que el sistema no perdiera pulsos al momento de ejecutar una rutina, se le incorporo un contador de pulsos de cero a tres, de esta manera se garantizaba la energización de las 4 bobinas del motor evitando corrimiento de pulsos.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL PARA EL MOTOR PASO A PASO



6.1.5. Panel de Conexiones

Tabla 9. Tabla De Conexiones Para El Modulo Del Motor Paso A Paso. [6]

SALIDAS PLC	CONEXIONES DEL PANEL DE CONTROL
	Q1
	Q2
	Q3
	Q4
	COMÚN
	FC1
	FC2
	COMÚN
	VCC
	GND

Tabla 10. Tabla De Conexiones Para El Modulo Del Motor DC. [6]

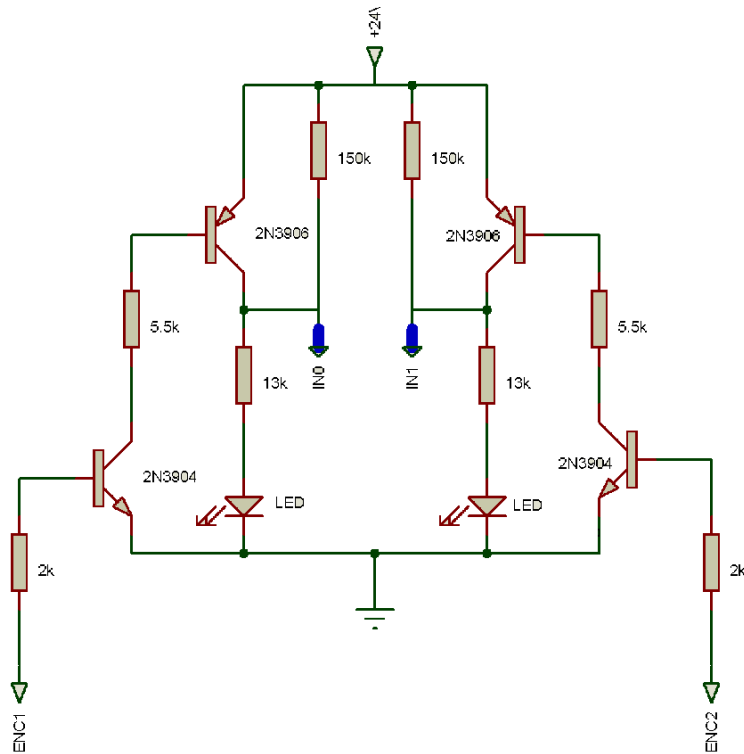
	V+
	V-
	PWM0
	PWM1

	I0.00
	I0.01
	+24V
	+5V
	GND

6.1.6. Driver de Control Entradas PLC

Permite reforzar los pulsos de salida del encoder del motor, direccionándolas a su vez a las entradas del PLC, para de esta manera determinar el número de pulsos y sincronizarlos con el rango prefijado en el Very Fast Counter.

Figura 47. Circuito Control Entradas PLC. [6]



Vcc 24v

Beta del transistor = 70

VBE sat = 2V

$I_C = \beta \cdot I_B$

Se obtiene R_B igual a $1.86k \Omega$ que comercialmente es $2k\Omega$

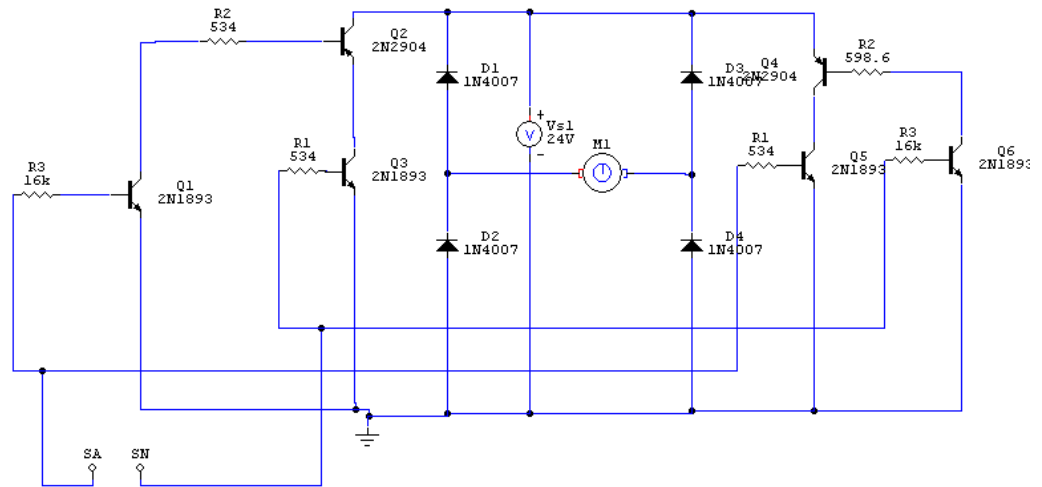
R_2 $5.5k\Omega$

R_3 $13k\Omega$

6.1.7. Driver de Control Bidireccional del Motor DC

Para controlar el sentido de giro del motor con encoder se trabajo un circuito puente h típico. En los terminales SA y SN se encuentran conectadas las salidas del PWM del PLC, las cuales generan la modulación que no solo controla el sentido del giro, sino también su velocidad.

Figura 48. Circuito Control Bidireccional del Motor Encoder. [6]



De los parámetros del circuito tenemos

Corriente nominal 2.14A

Resistencia del motor 11.2 Ω

Beta Transistor 70

Corriente De Base 43.6mA

R1 534 Ω

R2 598 Ω

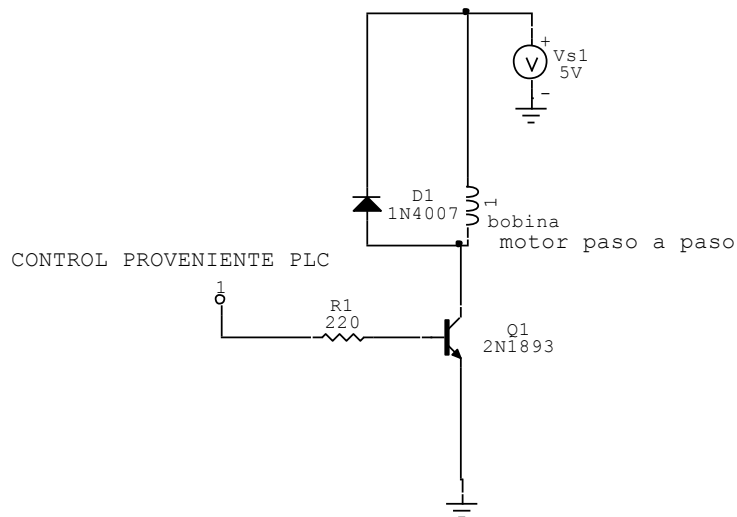
R3 16K Ω

Para la sintonización del sistema fue necesario hacer diferentes pruebas en los drivers de control, por ejemplo los transistores sufrían de calentamiento debido a las altas corrientes que el motor DC necesitaba antes de hacerle las modulaciones respectivas, por lo cual se le incorporo unos disipadores, las resistencias sufrían del mismo problema por lo cual se incorporaron resistencias de potencia de 2W para aminorar el problema, también se hizo necesario incorporar los drivers en baqueta debido a que se manejaban frecuencias altas provenientes del driver de control del encoder.

6.1.8. Driver para el manejo de cada bobina del motor paso a paso

Para garantizar la protección de las salidas del PLC, así como de cada uno de los devanados del motor paso a paso se implantó el circuito de la figura 32, el cual posee un transistor de alta potencia para la activación de las bobinas y un diodo rectificador de corriente para la protección del circuito.

Figura 49. Circuito Bobinas Motor paso a paso. [6]



Por medio de este driver se controla cada bobina del motor paso a paso y se obtuvo mediante los cálculos siguientes:

$V_{cc} = 5V$

$I_{Nmotor} = 1.15 \text{ Amperios}$

Beta del transistor = 70

$V_{BE \text{ sat}} = 2V$

$I_C = \text{Beta} \cdot I_B$

Obtenemos R_B igual a 183 que comercialmente es 220Ω

6.1.9. Sistemas de Control de Posición y Velocidad con motores

Figura 50. Módulo con motor DC. [6]

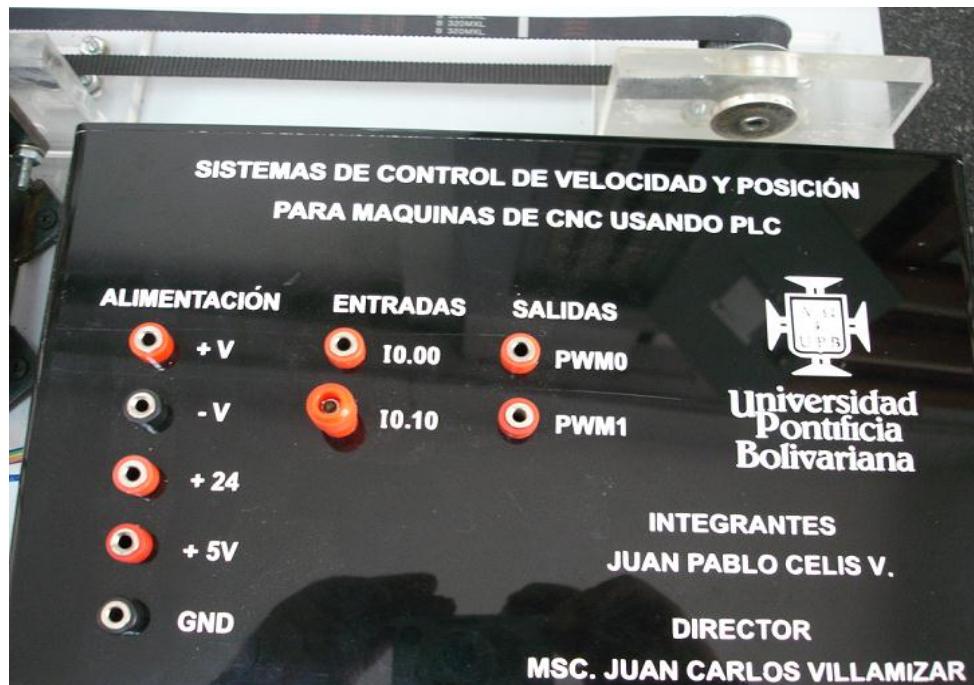


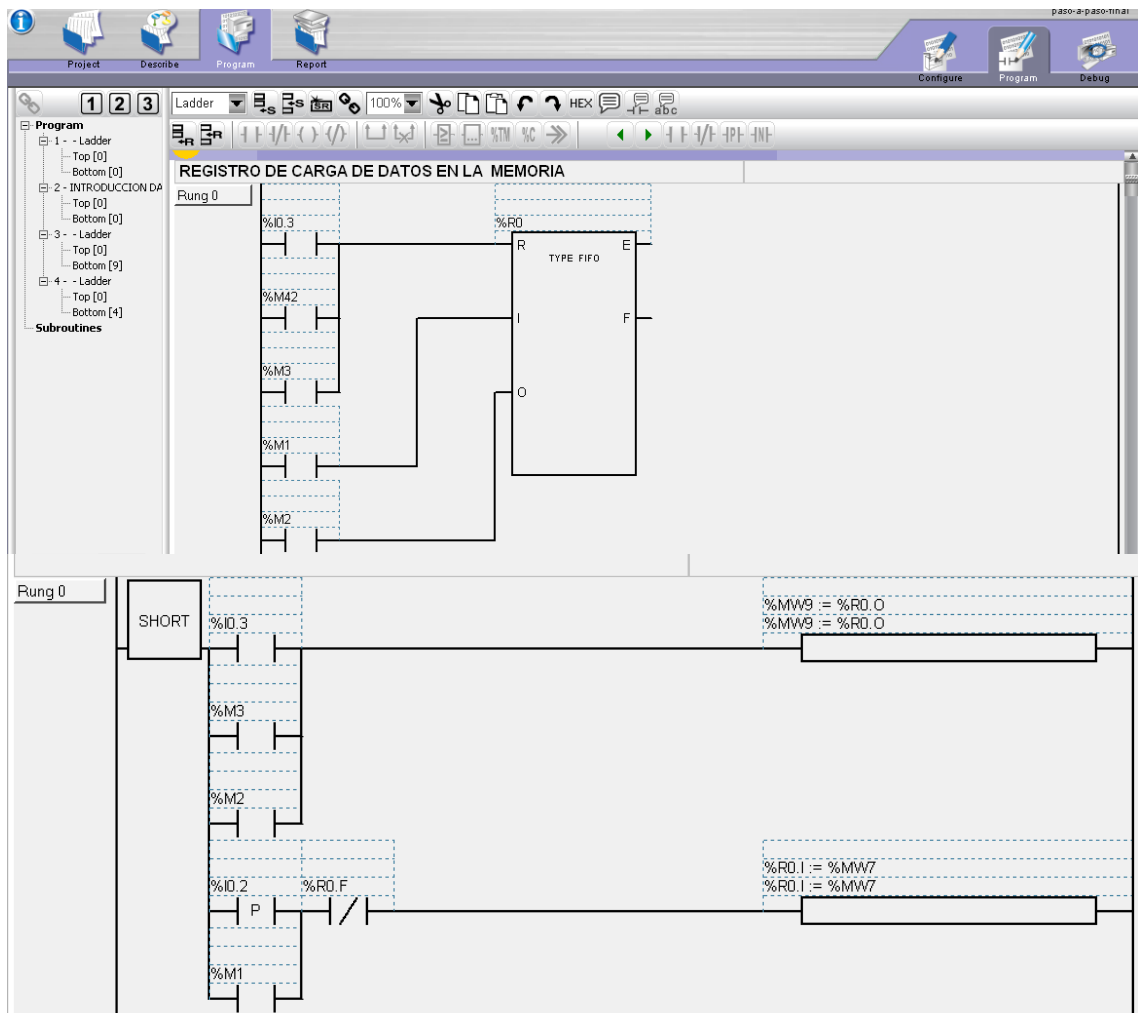
Figura 51. Módulo con motor paso a paso. [6]



7. PROGRAMAS DESARROLLADOS

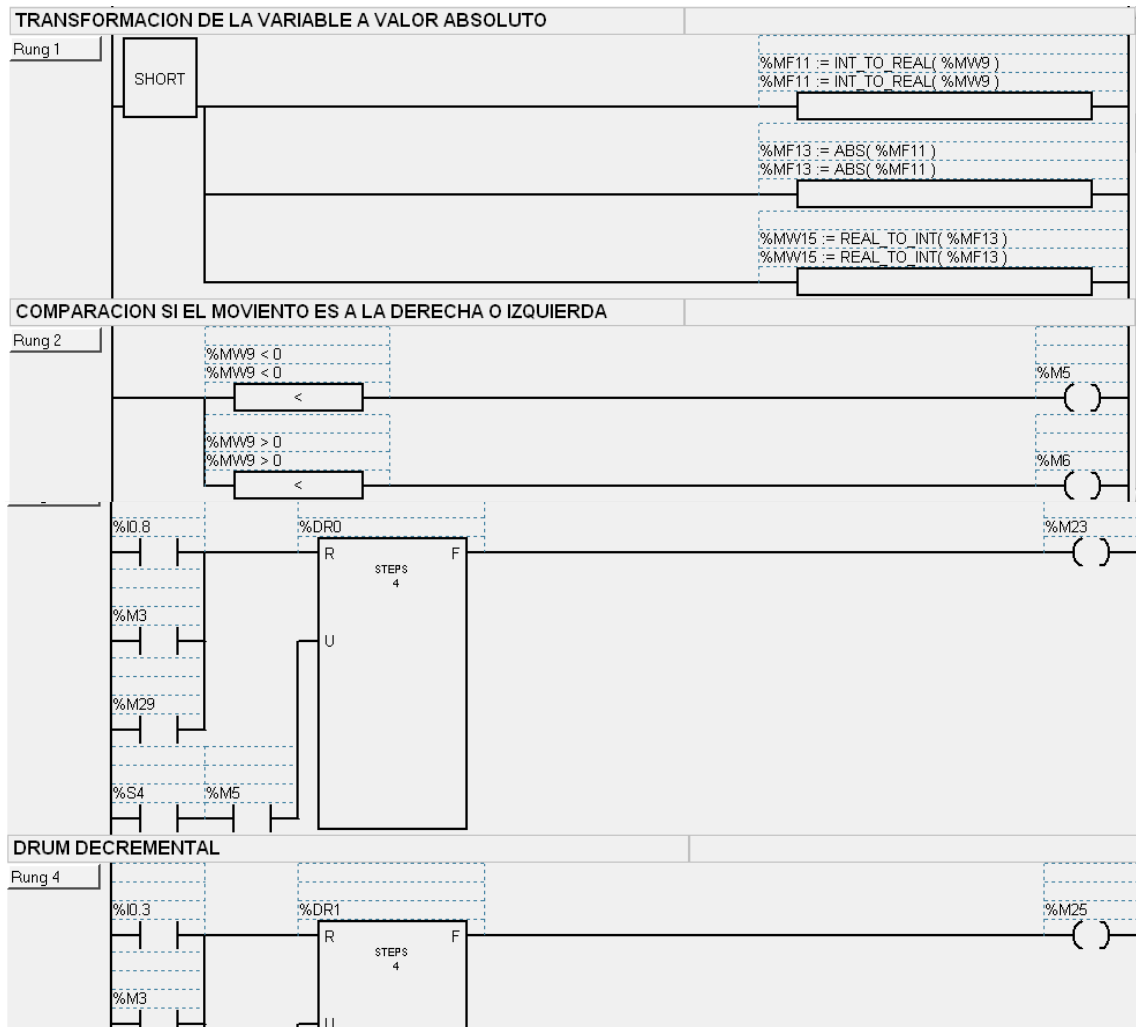
7.1. PROGRAMA DEL MOTOR PASO A PASO

A continuación se observa la carga de valores provenientes de la HMI a la memoria FIFO a través de sus variables como, I que es la entrada de los datos, O corresponde a la variable de salida de los datos, R para el RESET del sistema.

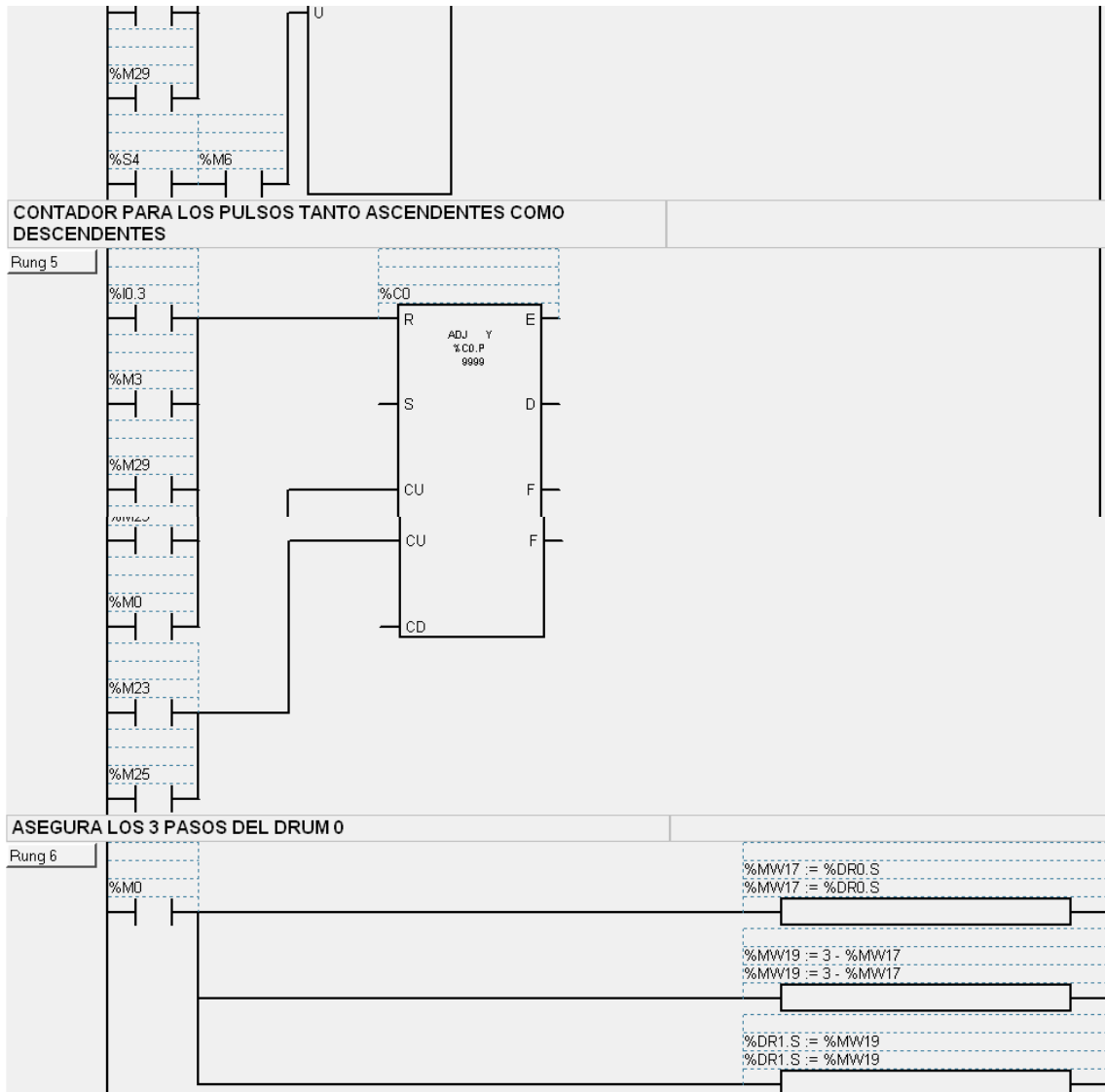


Al accionar las entrada %I0.3 se sacan los datos a la memoria FIFO %R0.O y se incorporan a otra variable del programa.

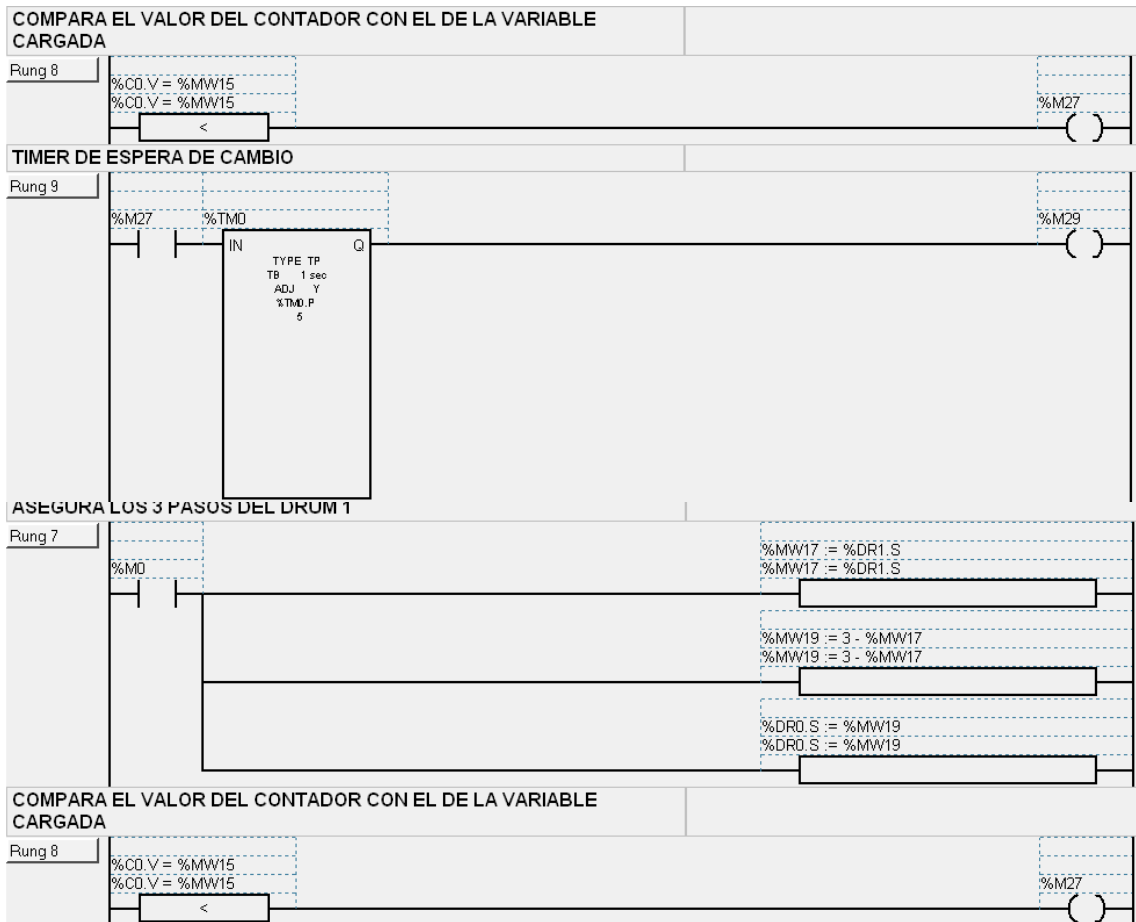
%R0.I evoca a la variable de la memoria para incorporar los datos a través del pulsador provenientes de la HMI.



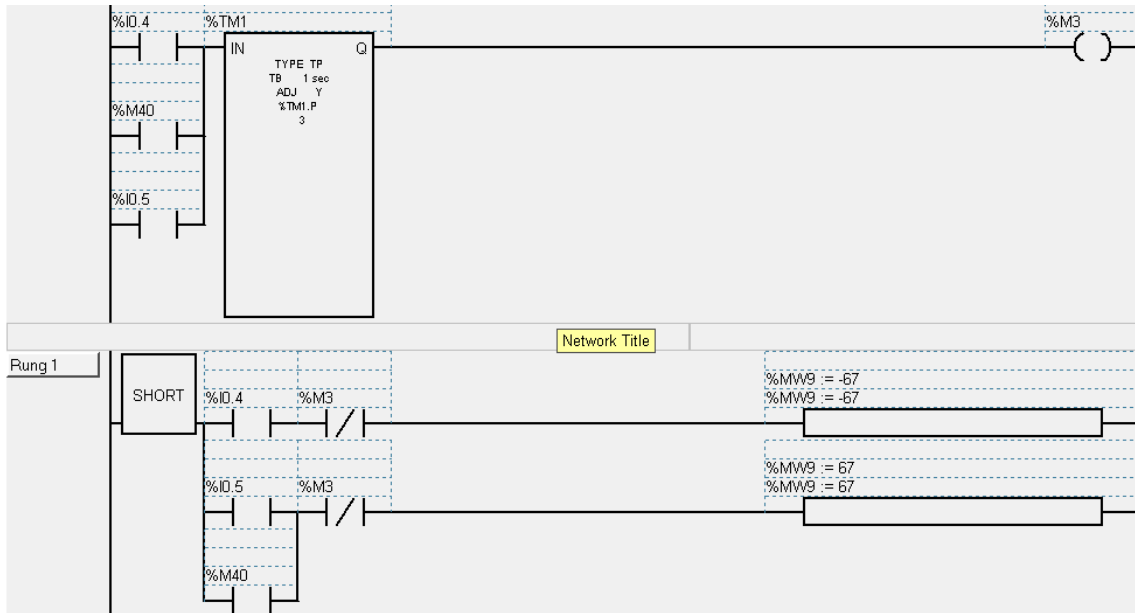
La variable se debe transformar a valor absoluto proveniente de la memoria FIFO debido a que presenta valores positivos y negativos, la comparación de mayor o menor que cero indicará el sentido de giro si es a la izquierda o a la derecha; de esta manera se procederá a activar el DRUM0 %DR0 para empezar el conteo incremental hacia la derecha. Lo mismo ocurre para el DRUM1 O %DR1 que activa el conteo de los pulsos del motor, pero en forma decremental y con sentido a la izquierda.



La señal proveniente de los DRUMS se incorporará a un contador normal %C0 dependiendo de su función ya sea incremental o decremental, el contador dará valores los cuales se utilizaran para hacer el control de posición. Además aseguramos que el disparo de los DRUMS sean un conteo de 0 a tres, de esta manera aseguramos que siempre obtengamos los mismos disparos para alcanzar un posicionamiento adecuado.



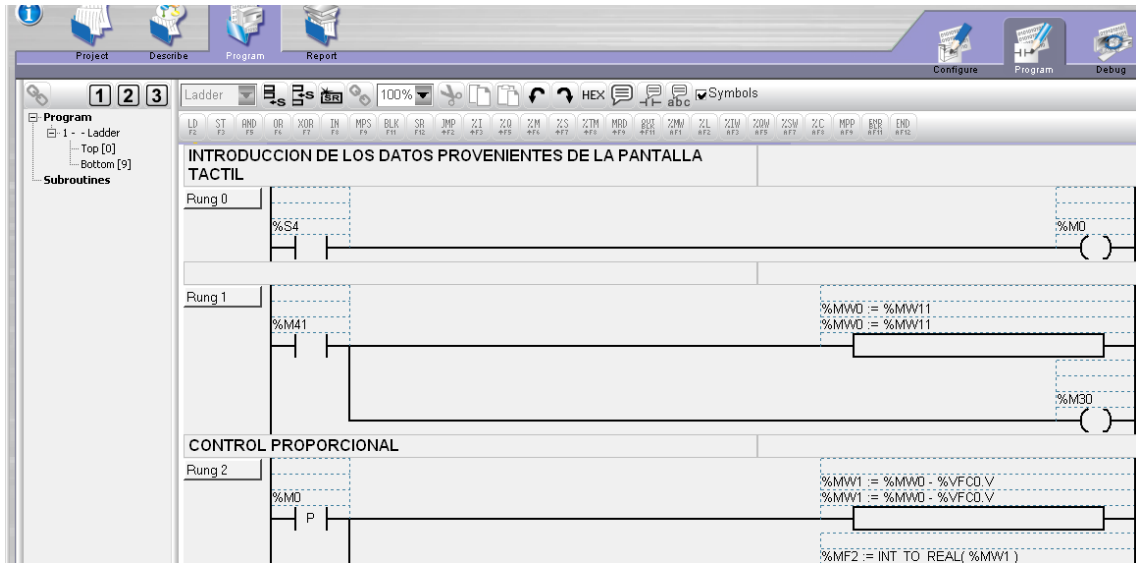
En la anterior grafica se observa la comparación entre el valor del contador `%C0.V` con el valor previamente cargado de esta manera cuando estos valores sean iguales indicara que el posicionamiento ha llegado al final, el cual vendrá acompañado de un tiempo de espera para incorporar otro dato a través de la HMI o sino continuar ejecutando la misma rutina.



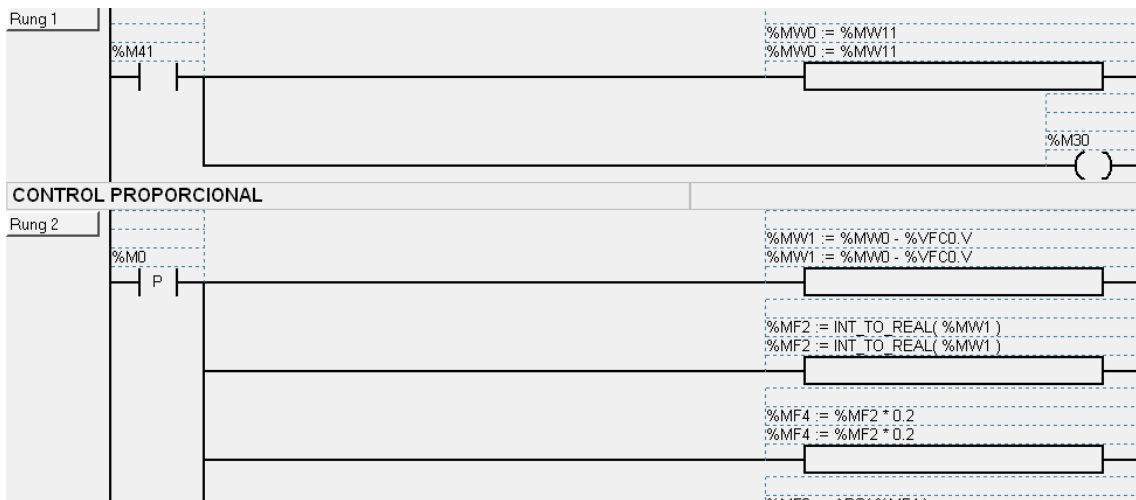
A continuación se observa la programación de la función HOME de la HMI, la cual nos da un punto de valor numérico cercano al centro del sistema de posicionamiento que para este caso es de 67 y lo comparamos de manera positiva y negativa, activándose mediante la acción de los finales de carrera para activar el desplazamiento hacia la derecha o la izquierda.

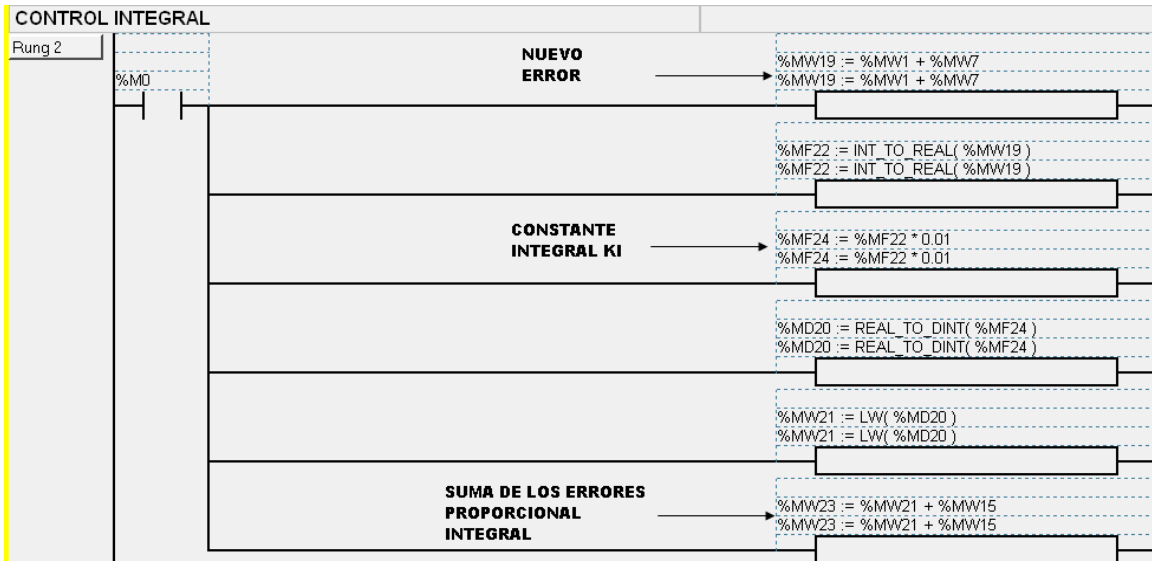
7.2. PROGRAMA MOTOR DC

Se incorporan los datos provenientes de la HMI a través de la variable %MW11

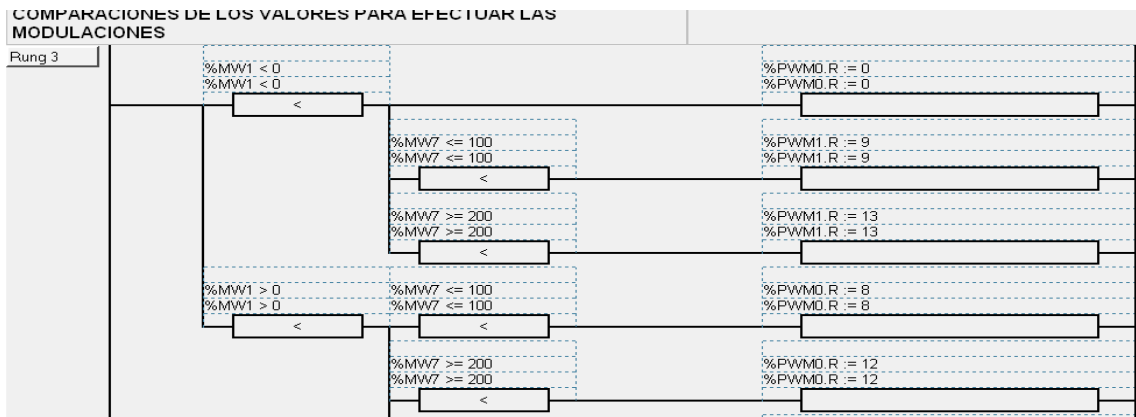


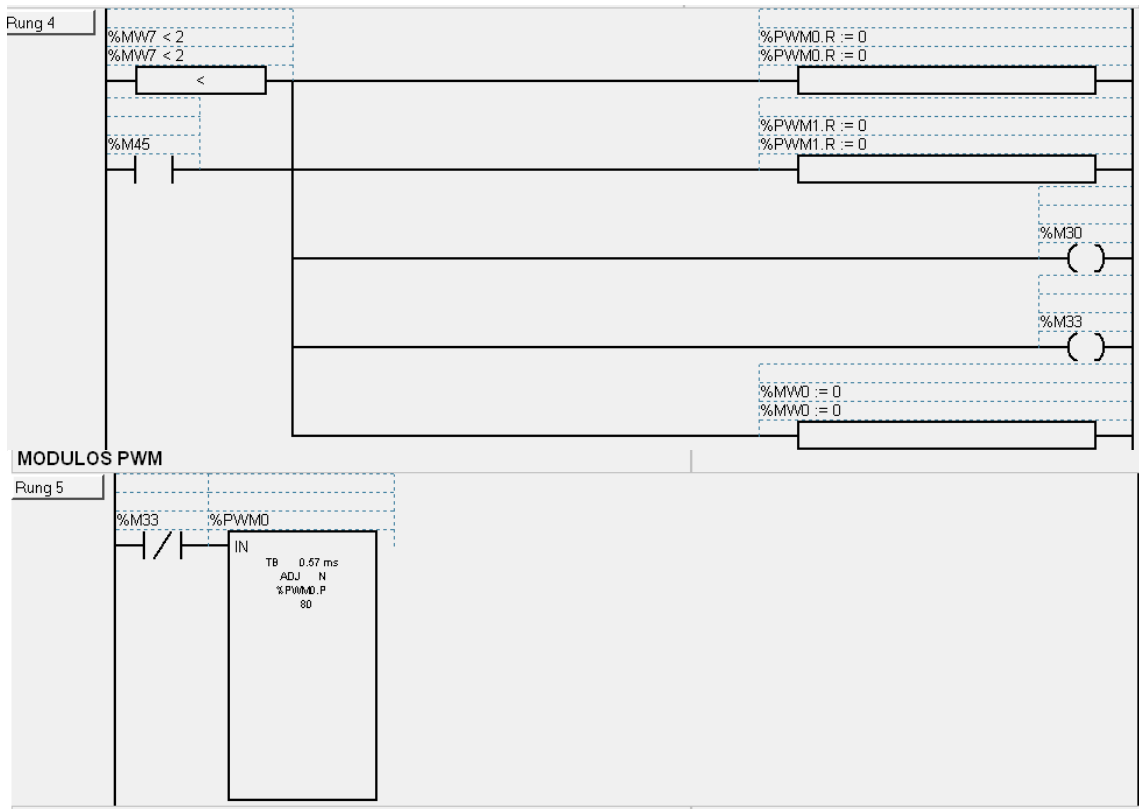
Los datos provenientes del contador rápido %VFC0.V junto con el valor se SET POINT que se incorpora a través de la HMI son restados para generar el error con el cual lo se multiplicara por la constante proporcional, que para este caso será de 0.2.



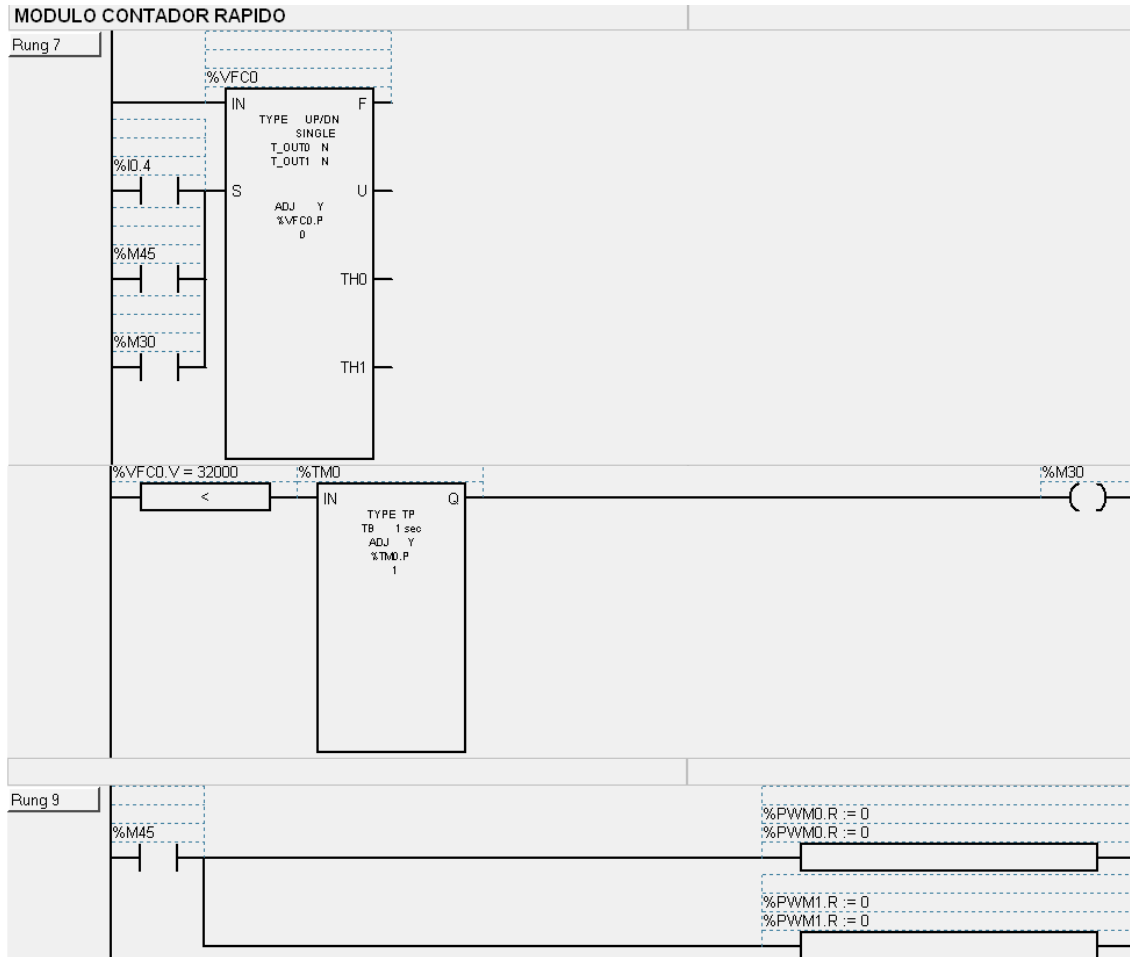


La parte de control integral está definida por ser muy parecida a la parte proporcional, la cual consta de encontrar el error integral a través de el error proporcional y con este nuevo error sumarlo y multiplicarlo por la constante integrativa que para este caso será de 0.01, una vez se obtiene estos errores se procede a sumarse e incorporarlo a la variable por el cual se hará las modulaciones que será %MW7.





Se compara la variable incorporada a través de la HMI %MW1 con cero para generar el movimiento ya sea para la derecha o izquierda, de esta manera la variable %MW7 la cual posee los errores anteriormente explicados, se comparara con valores del PWM, y observar las modulaciones a través del funcionamiento del motor.



Se observa el modulo del contador rápido %VFC0 con sus parámetros como set, el cual se le incorporo contactores para reiniciar el conteo una vez este haya terminado, de esta manera se controla el sistema, debido a que el valor del contador rápido es necesario para obtener los controles previamente mencionados. El modulo de contador rápido recoge la información proveniente de las entradas de alta frecuencia que para este caso son %Q0.0 y %Q0.1. Una vez el sistema ha terminado su posicionamiento este se reinicia a valores de cero para estar atento a una nueva incorporación de dato por la HMI.

RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar un óptimo control PID mediante un PLC de gama alta que pueda almacenar algoritmos matemáticos como integrales, derivadas y operaciones con todo tipo de reales.
- ❖ Utilizar una base de tiempo baja para la modulación PWM, de esta manera podremos garantizar una posición ideal.
- ❖ Trabajar con un encoder de mayor sensibilidad que nos garantice un disparo de pulsos definidos y constantes para obtener un posicionamiento eficaz.
- ❖ Incorporar un mejor acople mecánico de poleas y ejes, para reducir pérdidas en el motor y en el posicionamiento del sistema.
- ❖ Introducir una correa dentada de mayor rigidez para generar una mayor tensión en el arreglo mecánico.
- ❖ Garantizar una adecuada polarización de las salidas transistorizadas Q0 y 01 por donde el PWM hace su modulación, pues estos transistores son muy sensibles a este tipo de fallas.
- ❖ Diseñar unos drivers adecuados que tomen las variables de control provenientes del PLC, para que el hardware realice su función específica.

CONCLUSIONES

Se incorporo una mejora sustancial para las maquinas de CNC que utilizan desplazamiento; Adicionando el PLC, PC y HMI para el control de sus rutinas, generando un alto desempeño, reducción del tiempo de proceso y elevación de productividad.

Se desarrollo prototipos mecánicos, para observar el cambio de posición y velocidad mediante la incorporación de datos provenientes de una HMI, que junto con el PLC permitió tener un monitoreo y control del sistema para los motores paso a paso y DC.

Se usaron los módulos internos de programación del PLC, para el monitoreo, visualización e inicialización de la posición y velocidad de los motores paso a paso y DC, así mismo se diseño un sistema de fácil manejo y con un optimo desempeño para este control.

Se uso los diferentes tipos de comunicación permitidos entre los elementos PLC, PC y HMI como MODBUS e ETHERNET, lo cual facilito el monitoreo, manipulación e inicialización del sistema de control.

Se probó diferentes tipos de control de posición y velocidad para el motor DC, de esta manera se encontró un método eficaz que permitió, que este sistema ejecutara las rutinas estipuladas, con un óptimo desempeño de control.

Se incorporo un PI para el control de posición y velocidad del prototipo mecánico del motor DC mejorando sustancialmente su inicialización y desempeño al momento de realizar las rutinas pre establecidas.

Se observo que para sistemas de precisión en desplazamiento es recomendable utilizar un motor paso a paso, ya que por su configuración interna permite un posicionamiento muy exacto en longitudes cortas.

Se necesito de varias pruebas para la sintonización de los drivers de control, pues con elementos como el encoder del motor DC, que maneja datos a frecuencias altas, la adquisición de estos pulsos debía ser muy optima.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Máquinas de control numérico (CNC). [Página de Internet].
<http://www.monografias.com/trabajos14/maquinacontrnum/maquinacontrnum.shtml>
[Consulta: 2010-01-09].
- [2] Control numérico por computadora. [Página de Internet].
http://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico_por_computadora [Consulta: 2010-02-08].
- [3] Torno CNC. [Página de Internet].
<http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:MoriSeikiLathe.jpg> [Consulta: 2010-03-06].
- [4] PWM. [Página de Internet]. <http://www.domotica.us/PWM> [Consulta: 2010-03-10].
- [5] Señal PWM. [Página de internet].
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Duty_cycle_general.png [Consulta: 2010-05-05].
- [6] CELIS V., Juan Pablo. Sistemas de Control de Posición y Velocidad para maquinas de CNC usando PLC. Bucaramanga, 2010, Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.
- [7] VILLAMIZAR R., Juan Carlos, CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES. SYNC Editores, 2002.
- [8] Sistemas Retroalimentados. [Página de Internet].
http://www.angelfire.com/armandordx/Tesis_Armando_Rdz_Dic_06.pdf. [Consulta: 2010-03-10].
- [9] Tipos de Sistemas Retroalimentados. [Página de Internet].
<http://www.abb.com/product/us/9AAC133417.aspx>. [Consulta: 2010-03-10].
- [10] Control ON-OFF. [Página de Internet].
www.unipamplona.edu.co/...1/.../sintonizacion_de_controladores.pdf. [Consulta: 2010-03-10].
- [11] Control ON-OFF con histéresis. [Página de Internet].
<http://www.utm.mx/~temas/temas-docs/e1103.pdf>. [Consulta: 2010-03-10].
- [12] Control PID. [Página de Internet]. http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:PID_cycle_general.png. [Consulta: 2010-01-01].

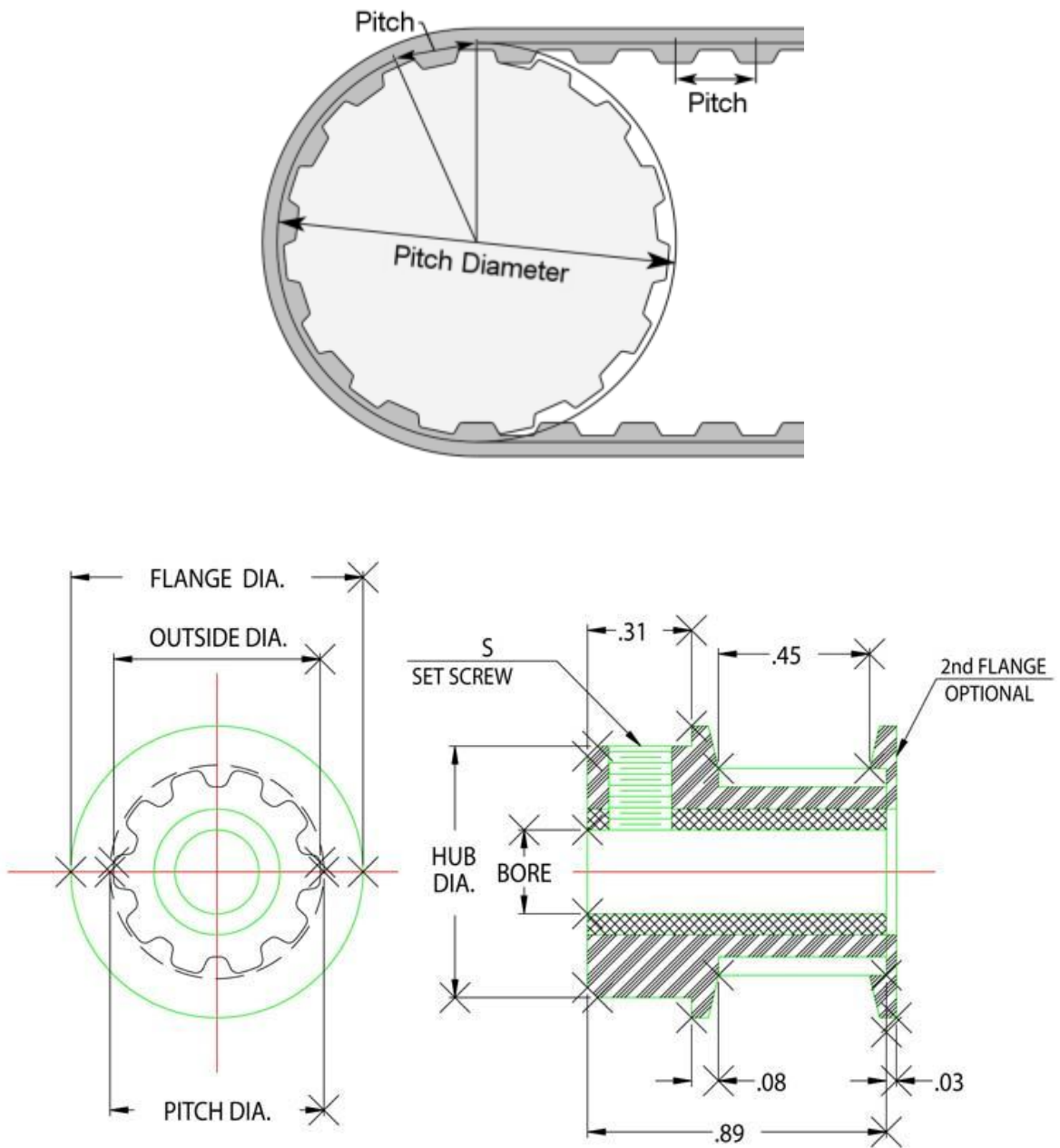
- [13] Control PID. [Página de Internet]. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000400007&script=sci_arttext. [Consulta: 2010-03-10].
- [14] Control Proporcional. [Página de Internet]. <http://www.scribd.com/doc/26311368/Acciones-Basicas-de-Control>. [Consulta: 2010-03-10].
- [15] Control PID. [Página de Internet]. slideshare.net/joemac007/curso-de-instrumentacion. [Consulta: 2010-03-10].
- [16] Control PID. [Página de Internet]. http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo [Consulta: 2010-03-10].
- [17] TELEMECANIQUE. Guía de hardware. Septiembre, 2007. 15p
- [18] LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN. [Página de Internet]. <http://www.mailxmail.com/curso-controladores-logicos-programables/programacionplc-1> [Consulta: 2010-03-16]
- [18] PROFIBUS. [Página de Internet]. <http://www.etitudela.com/profesores/mpm/profibusomron/downloads/profibus1.pdf> [Consulta: 2010-03-08]
- [19] PROFIBUS. [Página de Internet] <http://www.ethernetindustrial.es/> [Consulta: 2010-03-08]
- [20] CABLE MULTIMAESTRO. [Página de Internet] <http://translate.google.com.co/translate?hl=es&sl=en&tl=es&u=http%3A%2F%2Fwww.download.schneider-electric.com%2F85256E540060851A%2Fall%2FC125713F005265E2C1257228004A39EA%3FOpenDocument%26L%3DEN>. [Consulta: 2010-14-03].
- [21] Familiarizándose con Vijeo-Designer. [Página de Internet]. http://www.infoplcs.net/Descargas/Descargas_Schneider/Descargas-Modicon.htm [Consulta: 2010-03-13].
- [22] Motor de DC. [Página de Internet]. <http://www.directindustry.es/prod/siemens/motor-electrico-cc-7659-19430.html/> [Consulta: 2010-03-11].
- [23] <http://www.superrobotica.com/Images/S330100big.JPG> [Página de Internet]. [Consulta: 2010-03-10].
- [24] <http://www.superrobotica.com/Images/S330300big.JPG> [Página de Internet]. [Consulta: 2010-03-10].

[25] Autómatas programables. Twido Guía de instalación del software. TWD USE 10AS spa Version 2.0. [Consulta: 2010-03-10].

[26] Desarrollo y Construcción de Prototipos Electronicos edición: 2005. autor: Bueno Martín a Ángel. editorial Navarra Editores Madrid Esp.

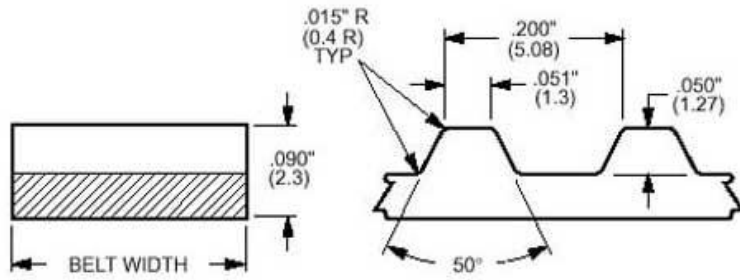
[27] Ingeniería de Control Moderno. Autor Katsuhiko Ogata. Editorial. Prentice Hall. Edición. 2005 Mexico df.

ANEXO A: ESPECIFICACIONES DE LAS POLEAS Y CORREAS



1/5" Pitch Timing Pulleys, XL Series - Figure 1

Toll Free: 1-800-544-6642 • Local: 440-352-8995 • www.TorqueTransmission.com



MATERIAL:
Nylon Covered, Fiberglass Reinforced, Neoprene

LOADING CAPACITY:
343 lbf/in. (60 N/mm) Belt Width

BREAKING STRENGTH:
≥457 lbf/in. (80 N/mm) Belt Width

TEMPERATURE RANGE:
-40°F to 248°F (-40°C to 120°C)

QB-XL -
 PITCH LENGTH CODE

ANEXO B: ESPECIFICACIONES DEL MOTOR CON ENCODER

Japan Servo Motor and Encoder

P/N DS48BE25-2

Rated Motor Specs at Continuous Rotation

- Rated Power Output: 28W
- Rated Voltage: 24VDC
- Rated Torque 14 oz-in @ 2700 RPM
- Rated Speed: 2700 RPM @ 18 oz-in
- Rated Current: 2 AMPS @ 18 oz-in

Motor Specs

- No Load Speed: 3600 RPM
- No Load Current: 0.6 AMPS
- Torque Constant: 9 oz-in/AMP
- EMF Constant: 6.4V/KRPM

Encoder Specs/Electrical Specs

- Voltage: 5VDC
- Current: 100 MA
- Standard Pulse: 360 P/R single Channel
- Output Circuit Method: Open Collector Output
- Max Count Frequency: 50 KHZ

<input type="checkbox"/> Wiring	<input type="checkbox"/> Red	<input type="checkbox"/> Yellow	<input type="checkbox"/> Black	<input type="checkbox"/> Shield
<input type="checkbox"/> Connection	<input type="checkbox"/> 5V	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> GND	<input type="checkbox"/> - -----
<input type="checkbox"/> Pin #	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

Motor Dimensions:

Motor Length with Encoder: 4.84"

Motor Diameter: 1.89"

Shaft Dimensions:

Shaft Length: 1.085"

Shaft Diameter: 5.5mm (with knurl)

4 Tapped (M4) Holes on Face for mounting