



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SERVO
POSICIONAMIENTO, CON CONTROLADORES DE MOTORES,
CON PLC Y HMI PARA EL LABORATORIO DE
AUTOMATIZACIÓN Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA”.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTOR: ÁLVARO SEBASTIÁN VACA PANIMBOZA

DIRECTOR: Ing. PABLO ERNESTO MONTALVO JARAMILLO

Riobamba - Ecuador
2019

©2019, Álvaro Sebastián Vaca Panimboza.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Álvaro Sebastián Vaca Panimboza, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de diciembre de 2019.



Álvaro Sebastián Vaca Panimboza
C.I. 060442193-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Propuesta Tecnológica denominado **IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SERVO POSICIONAMIENTO, CON CONTROLADORES DE MOTORES, CON PLC Y HMI PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA**, realizado por el señor: **ÁLVARO SEBASTIÁN VACA PANIMBOZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. José Antonio Granizo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>2019-12-17</u>
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION		<u>2019-12-17</u>
Ing. Cesar Gallegos Logroño MIEMBRO DE TRIBUNAL		<u>2019-12-17</u>

DEDICATORIA

El presente trabajo le dedico a nuestro Dios padre, por darme la fortaleza de seguir adelante con mis sueños, a mis padres Orlando y Alba quienes me apoyaron y creyeron en mí, en especial a mi madre Alba quien, con su aliento, sus consejos han hecho crecer esta perseverancia en mí.

ÁLVARO SEBASTIÁN VACA PANIMBOZA

AGRADECIMIENTO

Agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, enfáticamente a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento por su formación académica, a mi Director de tesis Ing. Pablo Montalvo y miembro Ing. César Gallegos quienes con su experiencia y sabiduría han hecho posible la realización del presente trabajo.

ÁLVARO SEBASTIÁN VACA PANIMBOZA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Técnicas de posicionamiento.....	3
2.2 Servomotor.....	3
2.2.1 <i>Micro servo 9g (SG90)</i>	3
2.3 Motor de pasos.....	5
2.3.1 <i>Motor paso a paso 28BYJ-48</i>	5
2.3.2 <i>Controlador ULN 2003</i>	6
2.3.3 <i>Accionamiento motor a pasos</i>	7
2.4 Motor brushless.....	8
2.4.1 <i>Brushless A2212/10T</i>	8
2.4.2 <i>Controlador ESC 30A</i>	9
2.4.3 <i>Señales PWM</i>	10
2.4.4 <i>Sensor infrarrojo tipo encoder</i>	12
2.4.5 <i>Tacómetro de mano GM8905</i>	12
2.5 Tarjeta NI MyRIO 1900.....	13
2.5.1 <i>Distribución de los pines en MyRIO</i>	14
2.6 Integración de PLC y LabVIEW.....	15
2.7 Mantenimiento.....	16

2.7.1	<i>Mantenimiento programado</i>	16
2.7.2	<i>Plan de mantenimiento</i>	16
2.7.3	<i>Check List</i>	17
2.7.4	<i>Recomendaciones generales en la ejecución de mantenimiento</i>	17
2.7.5	<i>Recomendaciones para actividades de mantenimiento preventivo</i>	18
2.8	Marco legal	18
CAPÍTULO III		19
3.	DESARROLLO	19
3.1	Diseño del módulo de posicionamiento y control de velocidad	19
3.1.1	<i>Diagramas de conexión eléctrica de los elementos</i>	21
3.1.2	<i>Diagrama de alimentación servomotor</i>	21
3.1.3	<i>Diagrama de alimentación motor de pasos</i>	22
3.1.4	<i>Diagrama de alimentación brushless</i>	22
3.2	Programación de MyRIO en LabVIEW	23
3.2.1	<i>Creación del proyecto inicial en MyRIO</i>	24
3.2.2	<i>Control de posición de un servomotor</i>	25
3.2.3	<i>Control de posición de un motor de pasos</i>	28
3.2.4	<i>Control de velocidad de un motor brushless</i>	30
3.3	Integración del módulo de posicionamiento con un PLC siemens	33
3.3.1	<i>Control de posición mediante simulador de señales digitales</i>	36
3.3.2	<i>Control de posición mediante Touch Panel</i>	39
3.3.3	<i>Control de brushless desde Touch Panel</i>	44
3.4	Consideraciones técnicas de uso y mantenimiento	45
3.4.1	<i>Normativa de seguridad</i>	45
3.4.2	<i>Guía y recomendaciones de utilización de los equipos</i>	46
2.8.2	<i>Plan de mantenimiento</i>	47
2.8.3	<i>Check List</i>	49
3.5	Planteamiento de prácticas de laboratorio	50
4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	52
4.1	Cronograma de trabajo	52
4.2	Presupuesto	52
CONCLUSIONES		54
RECOMENDACIONES		55
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2. Servomotor SG 90.....	4
Figura 2-2. Ciclo de trabajo PWM.....	4
Figura 3-2. Stepmotor 28BYJ-48, y módulo ULN2003	5
Figura 4-2. Descripción controlador ULN 2003.....	6
Figura 5-2. Diagrama placa de control Stepmotor	6
Figura 6-2. Secuencia de pasos completos.....	7
Figura 7-2. Secuencia de medios pasos.	8
Figura 8-2. Motor A2212/10T	8
Figura 9-2. Controlador ESC 30A	9
Figura 10-2. PWM con ciclo de trabajo al 25%	11
Figura 11-2. PWM con ciclo de trabajo al 50%	11
Figura 12-2. PWM con ciclo de trabajo al 75%.....	11
Figura 13-2. Tacómetro de mano GM8905.....	12
Figura 14-2. Componentes NI MyRIO 1900	13
Figura 15-2. Funciones Primarias/secundarias puertos A y B.	14
Figura 16-2. Funciones Primarias/secundarias puerto C.....	15
Figura 1-3. Caja eléctrica	19
Figura 2-3. Base principal impresa en 3D.....	20
Figura 3-3. Vista frontal módulo posicionamiento	20
Figura 4-3. Vista lateral izquierda módulo posicionamiento	21
Figura 5-3. Módulo de posicionamiento ensamblado final.....	21
Figura 6-3. Conexión servomotor	22
Figura 7-3. Conexión motor de pasos con módulo ULN2003	22
Figura 8-3. Diagrama de conexión brushless y encoder	23
Figura 9-3. Puerto de expansión MyRIO.....	23
Figura 10-3. Librería MyRIO en LabVIEW.	24
Figura 11-3. MyRIO USB Monitor.....	25
Figura 12-3. Elemento PWM.....	25
Figura 13-3. Selección de la salida PWM.....	26
Figura 14-3. Diagrama de conexión PWM1 puerto A	26
Figura 15-3. Diagrama de bloque VI Servomotor	27
Figura 16-3. Panel frontal VI Servomotor	27
Figura 17-3. Elemento Digital Outputs.....	28
Figura 18-3. Diagrama de bloques VI motor de pasos.....	29

Figura 19-3.	Panel frontal VI motor de pasos	29
Figura 20-3.	Diagrama de conexión PWM0 puerto A	30
Figura 21-3.	Elemento encoder librería MyRIO	31
Figura 22-3.	Panel frontal VI brushless velocidad.....	32
Figura 23-3.	Diagrama de bloques VI brushless velocidad	33
Figura 24-3.	Configuración PLC en NI OPC Servers.....	34
Figura 25-3.	Variables agregadas en NI OPC Servers	35
Figura 26-3.	Librería OPC en LabVIEW	35
Figura 27-3.	Vinculación de elementos con variable OPC	36
Figura 28-3.	Simulador de señales digitales	36
Figura 29-3.	Asignación de valor numérico por entradas digitales.....	37
Figura 30-3.	Asignación de valor numérico a entradas digitales	37
Figura 31-3.	Vinculación del control de posición con memoria MD90.....	38
Figura 32-3.	Ángulo de giro motor de pasos con MD100	38
Figura 33-3.	Vinculación del control de posición con memoria MD100.....	39
Figura 34-3.	Touch Panel Imagen Raíz	40
Figura 35-3.	Restricción ángulo de giro servo	40
Figura 36-3.	Vinculación del control de posición con memoria MD110.....	41
Figura 37-3.	Restricción ángulo de giro servo	41
Figura 38-3.	Reseteo memorias correspondientes al ángulo de giro asignado	42
Figura 39-3.	Restricción valores de velocidad admitidos	42
Figura 40-3.	Operaciones obtención de RPM.....	43
Figura 41-3.	Imagen control del servomotor desde Touch panel.....	43
Figura 42-3.	Imagen control del motor de pasos desde Touch panel.....	44
Figura 43-3.	Segmento control brushless desde PLC	44

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Características motor SG-90.....	4
Tabla 2-2: Especificaciones motor brushless.....	9
Tabla 3-2: Especificaciones ESC 30A.....	9
Tabla 4-2: Especificaciones sensor tipo encoder.....	12
Tabla 5-2: Características tacómetro de mano.....	13
Tabla 6-2: Modelo estructura Plan de mantenimiento equipos.....	16
Tabla 7-2: Modelo de estructura Check List.....	17
Tabla 1-3: Listado de elementos utilizados.....	19
Tabla 2-3: Valores medidos para obtención de ecuación funcionamiento motor brushless.....	30
Tabla 3-3: Pulsaciones recibidas por el encoder para RPM deseadas de funcionamiento.....	32
Tabla 4-3: Parámetros motor brushless.....	33
Tabla 5-3: Inventario de equipos.....	47
Tabla 6-3: Tareas de mantenimiento por elemento principal.....	48
Tabla 7-3: Check List.....	50
Tabla 8-3: Practica N° 01 Objetivos.....	51
Tabla 9-3: Practica N° 02 Objetivos.....	51
Tabla 10-3: Practica N° 03 Objetivos.....	51
Tabla 1-4: Actividades desarrolladas cronológicamente.....	52
Tabla 2-4: Costos totales de implementación.....	53

LISTA DE ABREVIACIONES

- PC** Computadora Personal
OPC OLE For Process Control
VI Instrumento virtual
ESC Controlador de velocidad electrónico.

ÍNDICE DE ANEXOS

- A.** Desarrollo Guías De Laboratorio.
- B.** Programa cargado en PLC.

RESUMEN

Se realizó la implementación de un módulo de servo posicionamiento con controladores de motores, PLC y HMI, se empezó por la selección de los diferentes equipos y materiales, el diseño de la estructura del módulo y finalmente el montaje y conexión de los diferentes equipos, para verificar el funcionamiento de los dispositivos, se realizaron varios instrumentos virtuales que conFiguran y utilizan las características de la tarjeta MyRIO mediante el envío y recepción de señales digitales y señales PWM para controlar ya sea ángulo de giro o velocidad de avance en los diferentes motores, además se utilizó un encoder para la retroalimentación del valor de velocidad del motor brushless, el control de posición del servomotor y del motor de pasos, así como el control de velocidad del motor brushless se integraron con elementos de control en un Touch panel, que se enlazan a un PLC y al computador utilizando OPC de National Instruments, y funcionan conjuntamente con la tarjeta de procesamiento utilizada. Se elaboró un plan de mantenimiento englobando las principales actividades a ejecutarse individual y conjuntamente en los equipos que forman parte y son necesarios para la ejecución del proyecto. El propósito del plan es garantizar el buen funcionamiento del módulo en el transcurso del periodo de clases, y precautelar la seguridad de los usuarios y de los equipos, y se complementa con un Check List operativo a ser ejecutado por los usuarios previamente a la utilización de los elementos del módulo. Se puede identificar el motor necesario para procesos industriales o didácticos dependiendo de las características inherentes y requisitos del sistema propuesto, y gracias a que se pueden agregar funciones adicionales desde el PLC, la gama de aplicaciones se expande ampliamente, especialmente si se realizaran aplicaciones que utilicen el trabajo de los motores conjuntamente.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <LABVIEW>, <OPC>, <MYRIO>, <SERVOMOTOR>, <STEP MOTOR>.



ABSTRACT

The implementation of a servo positioning module with motor, PLC and HMI controllers was carried out, it started with the selection of the different equipment and materials, then the design of the module structure and finally the assembly and connection of the different equipment. To verify the operation of the devices, several virtual instruments were made which configure and use the characteristics of the MyRIO card by sending and receiving digital and PWM signals to control either the rotation angle or the forward speed in the different motors; in addition, an encoder was used for the feedback of the speed value of the brushless motor, the position control of the servomotor and stepper motor, as well as the speed control of the brushless motor were integrated with control elements in a Touch panel which are linked to a PLC and to the computer using OPC developed by National Instruments which work in conjunction with the used processing card. A maintenance plan was drawn up, encompassing the main activities to be carried out individually and conjointly in the equipment that is part and necessary for the execution of the project. The purpose of the plan is to guarantee the proper functioning of the module in class and to safeguard the wellbeing of users and equipment; it is complemented by an operational Check List to be fulfilled by users prior to the use of the elements of the module. The necessary engine for industrial or didactic processes can be identified depending on the inherent characteristics and requirements of the proposed system and thanks to the fact that additional functions can be added from the PLC, the range of applications expands widely, especially if applications that can use the work of engines jointly are developed.

KEYWORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <AUTOMATIC CONTROL>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <OLE FOR PROCESS CONTROL (OPC)>, <MYRIO (CARD)>, <SERVOMOTOR>, <STEP MOTOR>.



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el laboratorio de Control y manipulación Automática, de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica, tiene diversos equipos electrónicos y dispositivos que se comunican a través de HMI (interfaz hombre maquina) y PLC (controlador lógico programable), usado comúnmente por las empresas para control y manipulación de equipos en diversos procesos.

Con la diversidad de equipos implementados hace años atrás en trabajos de titulación, se amplía la variedad de módulos, con tecnología actualizada, controlando servo motor con los sensores de PLC y HMI a través de LabVIEW.

1.1 Planteamiento del problema

El laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento no posee un módulo de servo posicionamiento con controladores de motores servo con PLC y HMI de última tecnología, por lo que impide a los estudiantes capacitarse en el campo de la automatización industrial y los protocolos de comunicación industrial, impidiendo manipular un servo motor por medio de un software utilizando PLC y HMI.

Los PLC permiten controlar todo tipo de procesos y máquinas industriales, al tener entradas y salidas disminuyendo el cableado, ahorrando a la industria en mantenimiento, aumentando la vida útil de las máquinas industriales. Un HMI es responsable de recibir las ordenes o comandos de los operarios y trasladarlos a la máquina o instalaciones, si ocurriese algún error éste comunicaría el estado o situación de un determinado proceso.

La ventaja principal de un motor de pasos es la precisión en su posicionamiento, se aplica en: robots, impresoras digitales, radiocontrol, fotocomponedoras, pre-prensa, etc. El motor brushless se aplica en: aeroespacial, equipos de automatización e instrumentación. El Servomotor se utiliza en: automatizaciones industriales, robótica, radiocontrol.

1.2 Justificación

Las necesidades de las plantas manufactureras modernas, ha sido básicamente la comunicación industrial, siendo indispensable la automatización de procesos poniendo énfasis que el Ingeniero de Mantenimiento tenga conocimientos de servo motores y su comunicación mediante software y controladores PLC (controlador lógico programable) y HMI (interfaz hombre máquina) en una PC.

Se seleccionó un motor de pasos, un motor brushless y un servomotor, estos motores poseen diferentes características y aplicaciones en la industria, mismas que podrán ser identificadas por los estudiantes en el proceso de aprendizaje.

Con la implementación del módulo de servo posicionamiento con controladores de motores servo con PLC y HMI se logrará que los estudiantes desarrollen prácticas en la utilización de este protocolo de comunicación industrial, extendiendo la variedad de dispositivos existentes en el laboratorio y contribuyendo con el desarrollo de la comunidad, con fines académicos que van acorde con la misión y visión de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Implementar un módulo servo posicionamiento, con drivers de motores servo, con PLC y HMI para el laboratorio de control y manipulación Automática de la carrera de ingeniería de mantenimiento.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Configurar los respectivos softwares para los diferentes dispositivos con la ayuda de un PC.

Desarrollar la comunicación industrial entre el software PLC y HMI por medio de TIA Portal.

Elaborar un plan de mantenimiento que englobe las principales actividades y frecuencias para la ejecución de tareas correctivas y preventivas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Técnicas de posicionamiento

El posicionamiento de piezas comúnmente recurre a sistemas “pick and place” o también conocidos como “tomar y colocar”, dichos sistemas se encargan de manipular piezas durante procesos industriales de fabricación o montaje de piezas, elementos, aparatos o máquinas de diversa índole, suprimiendo la utilización de herramientas en los procesos industriales (López, y otros, 2014).

Las técnicas de posicionamiento requieren el desarrollo de un sistema de control, entre los más utilizados se tiene dos tipos de sistemas:

- Sistema de control (en bucle abierto).
- Sistema de regulación (en bucle cerrado).

“Un eje controlado con un sistema de control en bucle abierto, ejecuta el movimiento según un recorrido o ángulo previamente definido, aunque sin verificar si efectivamente se alcanza la posición requerida” (López, y otros, 2014).

“Si, por lo contrario, se dispone de un sistema de regulación, se efectúa continuamente una comparación entre el valor real y el valor programado. Cuando coinciden los dos valores, el eje se detiene” (López, y otros, 2014).

2.2 Servomotor

Se puede decir que un servomotor es un motor con varias características especiales, entre ellas cabe recalcar la gran precisión que demuestran, la variedad de forma o tipo de construcción que presentan (compactos, planos, rotor huevo, etc.), permiten su adaptación a una amplia gama de aplicaciones industriales (López, y otros, 2014).

2.2.1 Micro servo 9g (SG90). – Diminuto y ligero con alta potencia de salida, y funciona igual que los servos tipo estándar, pero más pequeño. El servo puede girar aproximadamente 180 grados

(90 en cada dirección), y se utiliza cualquier código de servo, hardware o biblioteca para controlarlo, Figura 1-2. Es un servo ideal para principiantes que deseen hacer cosas sin tener que construir un controlador de motor con retroalimentación y caja de engranajes. Este servo cabe perfectamente en lugares pequeños, y viene con 3 cuernos (brazos) y herrajes incluidos en su presentación (Electronilab, 2015).



Figura 1-2. Servomotor SG 90

Fuente: (Electronilab, 2015)

“El servo SG90 tiene un conector universal tipo “S” que encaja perfectamente en la mayoría de los receptores de radio control incluyendo los Futaba, JR, GWS, Cirrus, Hitec y otros” (Electronilab, 2015), Figura 2-2. Los cables en el conector están distribuidos de la siguiente forma: Rojo = Alimentación (+), Café = Alimentación (-) o tierra, Naranja = Señal PWM.

Tabla 1-2: Características motor SG-90

Características Motor Tower PRO	
Velocidad:	0.10 seg/60° @ 4.8V
Torque:	1.8 Kg-cm @ 4.8V
Voltaje de funcionamiento:	3.0-7.2Vcd.
Temperatura de funcionamiento:	-30 °C ~ 60 °C
Ángulo de rotación:	180°
Ancho de pulso:	500-2400 μs
Longitud de cable de conector:	24.5cm

Fuente: (Electronilab, 2015)

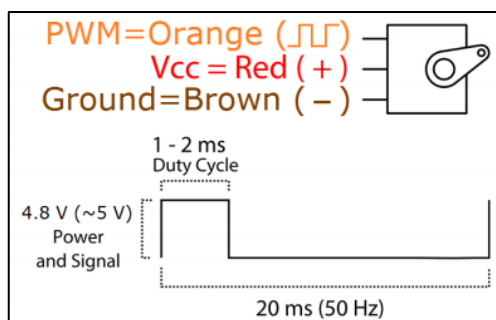


Figura 2-2. Ciclo de trabajo PWM

Fuente: (Electronilab, 2015)

2.3 Motor de pasos

Los motores de pasos debido a su gran exactitud de movimientos controlados, poseen una amplia gama de aplicación, especialmente para mecanismos de alta precisión. Para su funcionamiento se deben someter a dichos motores, a un paso o secuencia de pasos que variarán el movimiento del mismo desde ángulos inferiores a un grado, hasta grandes ángulos o grados que implicarían el giro de varias revoluciones del motor, dependiendo de la secuencia que se envía desde un microcontrolador (Robots Didácticos, 2019).

2.3.1 Motor paso a paso 28BYJ-48. – Es un motor electromecánico que convierte pulsos eléctricos en movimientos mecánicos exactos, Figura 3-2, su eje gira a paso con ángulos fijos al aplicarse en él, impulsos eléctricos en la secuencia correcta (Robots Didácticos, 2019).

La dirección de rotación del eje del motor se relaciona directamente con la secuencia de los pulsos. “La velocidad de la rotación del eje está relacionada con la frecuencia de los pulsos de entrada y la duración de la rotación está relacionada con la cantidad de pulsos que se aplican a la entrada” (Robots Didácticos, 2019).

“El motor 28BYJ-48, tiene un ángulo de paso de 5,625 grados (64 pasos por revolución), y cuenta con un reductor interno con una relación de 1/64. Combinados, la precisión total de este Step Motor es igual a $64 \times 64 = 4096$ pasos por vuelta, equivalente a un paso de $0,088^\circ$, que resulta en una precisión muy elevada. Debido a alguna razón mecánica no explicada por el fabricante, no son exactamente 4096 pasos, siendo el número real de pasos para completar una vuelta completa de 360° de 4076” (Robots Didácticos, 2019).



Figura 3-2. Stepmotor 28BYJ-48, y módulo ULN2003

Fuente: (Robots Didácticos, 2019)

2.3.2 Controlador ULN 2003. - Consiste en un conjunto de 7 pares de transistores en configuración Darlington, con diodo de protección de contracorriente, Figura 4-2. Cada salida es capaz de manejar 500 mA y hasta 50V en sus salidas, tiene un resistor en la entrada, de modo que se puede conectar directo a la salida del microcontrolador, el diodo protector evita daños en las entradas, si accidentalmente se les aplica un voltaje negativo, ver el diagrama de placa Control Step motor, Figura 5-2.



Figura 4-2. Descripción controlador ULN 2003.
Fuente: (Robots Didácticos, 2019)

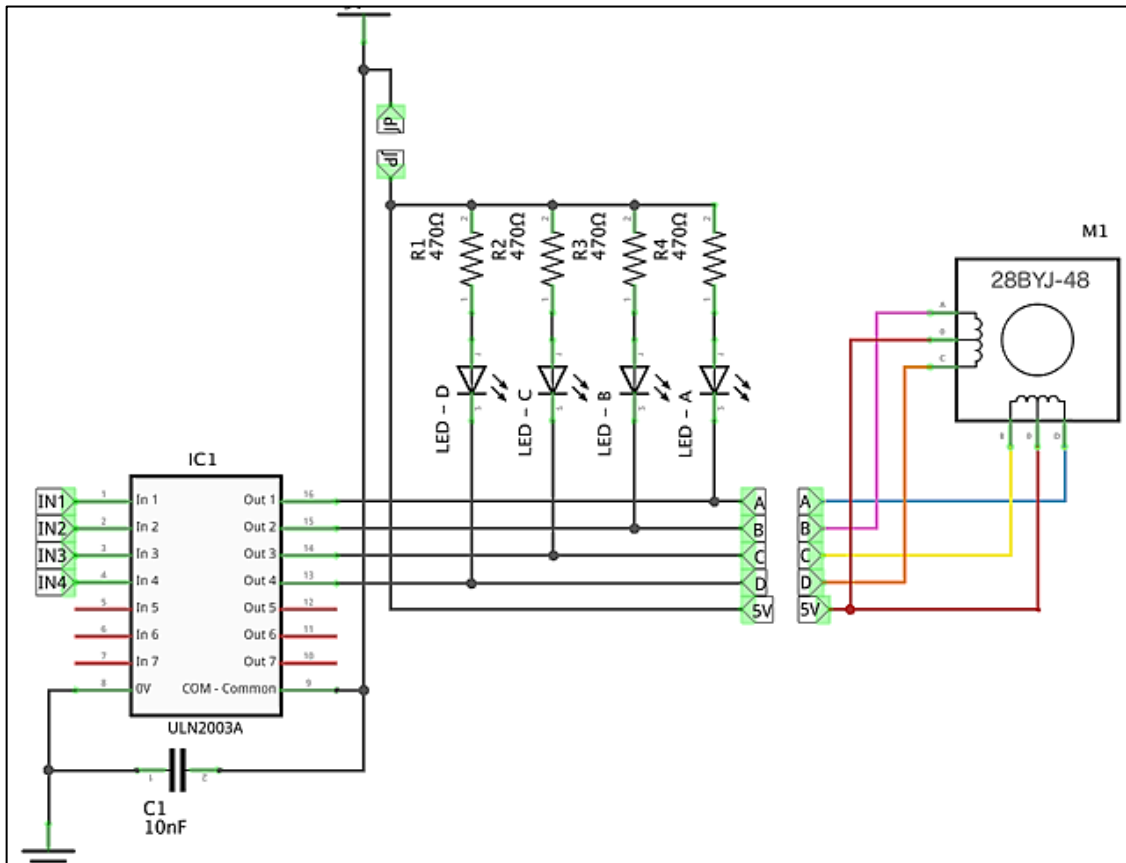


Figura 5-2. Diagrama placa de control Stepmotor.
Fuente: (Robots Didácticos, 2019)

Tabla 6-2: Parámetros de funcionamiento Stepmotor

Parámetros de funcionamiento	
Modelo:	28BYJ-48 – 5V
Tensión nominal:	5V (o 12 V, valor indicado en la parte trasera).
Cantidad de fases:	4.
Reductor de velocidad:	1/64
Ángulo de paso:	5,625° / 64 0,088°
Frecuencia:	100Hz
Resistencia en CC:	50Ω ±7 % (25° C)
Frecuencia con tracción:	> 600Hz
Frecuencia sin tracción:	> 1000Hz
Torque con tracción:	>34,3mN.m (120Hz)
Torque en auto posicionamiento:	>34,3mN.m
Torque con fricción:	600-1200 gf.cm
Arrastre en torque:	300 gf.cm
Resistencia de aislación	> 10MΩ (500V)
Aislación eléctrica:	600VAC/1mA/1s
Grado de aislación:	A
Aumento de temperatura:	< 40K (120Hz)
Ruido:	< 35dB (120Hz, sin carga, 10cm)

Fuente: (Robots Didácticos, 2019)

2.3.3 Accionamiento motor a pasos. – “Este motor tiene cuatro bobinados que son excitados en una precisa secuencia para hacer girar el eje” (Robots Didácticos, 2019).

Las dos secuencias más comunes de utilización son la de medios pasos y la de pasos completos, Figura 6-2 y Figura 7-2, el modo elegido, de medio paso “hall step”, primero excita una bobina, luego dos a la vez, luego la siguiente, y así sucesivamente hasta completar la secuencia. Para cambiar el sentido de giro, simplemente se invierte el orden de la misma, mientras que la secuencia de pasos completos activa dos bobinas a la vez, deja encendida la final de ellas y activa la siguiente, manteniendo siempre dos bobinas encendidas por paso realizado.



Figura 6-2. Secuencia de pasos completos

Fuente: (Robots Didácticos, 2019)

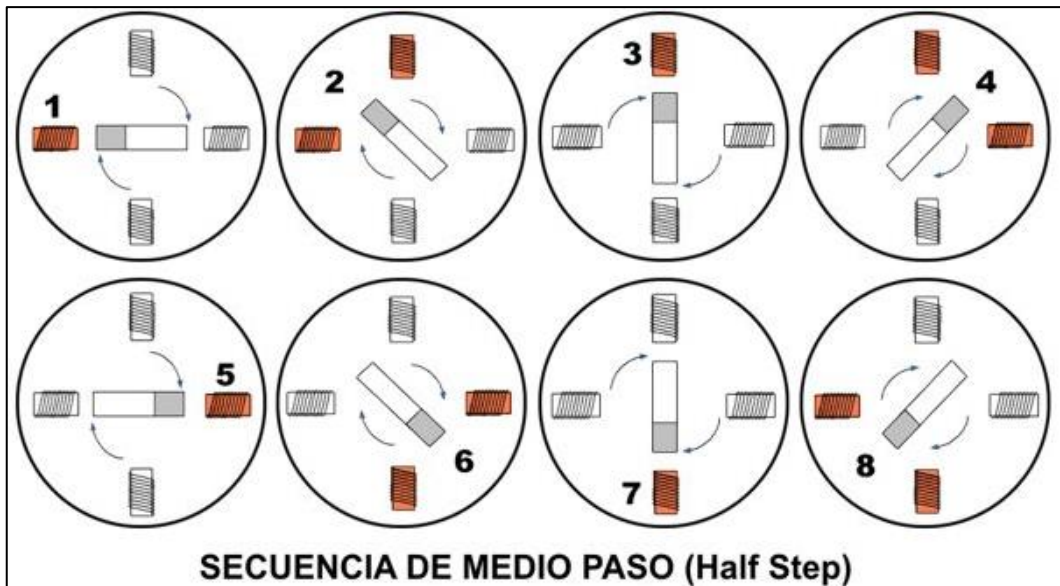


Figura 7-2. Secuencia de medios pasos.

Fuente: (Robots Didácticos, 2019)

De las dos secuencias mencionadas, la secuencia de medios pasos brinda una mejor precisión de control de giro.

2.4 Motor brushless.

“El motor brushless es un tipo de motor que no utiliza escobillas. Lleva siempre asociado un regulador de tensión o un variador, dependiendo del tipo de motor. Aparte hay multitud de formas y de construcciones de este tipo de motor, pero la filosofía de funcionamiento siempre es la misma” (Motores Eléctricos, 2013).

2.4.1 Brushless A2212/10T. – “Motor sin escobillas o brushless controlado por PWM, Figura 8-2, su uso ideal es para sistemas de vuelo tipo Quadcopter o sus variaciones, así como para vehículos aéreos de ala fija. Este motor brushless soporta hasta 12 A y se recomienda usar un controlador ESC de 30A” (Robotshop, 2019).



Figura 8-2. Motor A2212/10T

Fuente: (Robotshop, 2019)

El motor Brushless Motor A2212/10T 1400Kv ofrece un rendimiento, calidad y confiabilidad excelentes, se fabrica con rodamientos y componentes de calidad, siendo así uno de los motores sin escobillas más suaves y potentes de su clase, (Robotshop, 2019).

Tabla 2-2: Especificaciones motor brushless

Eficiencia máxima:	80%
Eficiencia de corriente máxima:	4-10 A (>75%)
Capacidad de corriente:	12 A / 60 s
Consumo de corriente sin carga a 10 V:	0.5 A
Eficiencia -MAX actual:	4-10A (> 75%)
RPM/V:	1400 KV
Diámetro del eje:	3.17 mm
Dimensiones:	28 x 28 x 39 mm
Peso:	52 g

Fuente: (Robotshop, 2019)

2.4.2 Controlador ESC 30A. – “El controlador de velocidad electrónico ESC 30A Multi Axis, Figura 9-2, es capaz de definir la velocidad de giro de un motor brushless mediante la generación de pulsos compatibles con este tipo de motores. Ideal para drones y aeromodelismo” (RSC drone good, 2019).



Figura 9-2. Controlador ESC 30A

Fuente: (RSC drone good, 2019)

Tabla 3-2: Especificaciones ESC 30A.

Especificaciones ESC 30A	
Salida:	Continua 30A, ráfaga 40A hasta 10 seg.
Voltaje de entrada:	Batería de litio de 2-3 celdas o batería de NiCd / NIMh de 5-12 celdas.
BEC:	2A / 5V (modo lineal).
Velocidad máxima:	210,000 rpm para 2 polos BLM, 70,000 rpm para 6 polos BLM, 35,000 rpm para 12 polos BLM. (BLM: Brushless Motor)
Tamaño:	45 mm (L) * 24 mm (W) * 11 mm (H).
Peso:	25g

Fuente: (RSC drone good, 2019)

2.4.3 Señales PWM. - La modulación de ancho de pulso (Pulse Width Modulation) de una señal es una técnica para lograr el efecto de una señal analógica sobre una carga, a partir de la variación de la frecuencia y ciclo de trabajo de una señal digital (National Instruments, 2014).

El ciclo de trabajo describe la cantidad de tiempo que la señal está en un estado lógico alto, como relación o porcentaje del tiempo total que toma completar un ciclo completo (National Instruments, 2014).

“La frecuencia establecida, determina que tan rápido se completa un ciclo (por ejemplo: 1000 Hz corresponde a 1000 ciclos en un segundo), y por consiguiente que tan rápido se cambia entre los estados lógicos alto y bajo” (National Instruments, 2014).

Al cambiar una señal del estado alto al bajo a una tasa lo suficientemente rápida y con un ciclo de trabajo determinado, la salida parecerá comportarse como una señal analógica constante al aplicarse a un dispositivo (National Instruments, 2014).

Las señales PWM son empleadas ampliamente en el control de aplicaciones, y su utilización principal es para el control de motores DC, también se usan para el control de válvulas, bombas, sistemas hidráulicos, y diversos dispositivos mecánicos. Se debe generar la frecuencia de la señal PWM, en base de la aplicación y del tiempo de respuesta del sistema a controlar (National Instruments, 2014).

Aplicaciones comunes de señales PWM. – a continuación, se muestran varias de las aplicaciones de las señales PWM con frecuencias de trabajo nominales de dispositivos:

- Calentar elementos o sistemas con tiempos de respuesta lentos: 10-100 Hz o superior.
- Motores eléctricos de corriente continua: 5-10 kHz o superior.
- Fuentes de poder o amplificadores de audio: 20-200 kHz o superior (National Instruments, 2014).

Ejemplo de regulación de señal PWM. – Mediante la utilización de PWM para crear una señal de 3V a partir de una fuente digital de 5 Vcd, se debe regular el ciclo de trabajo al 60%, Figuras 10-2 al 12-2. Es decir, se generaría una señal de 5V el 60% del tiempo, el voltaje promedio se calcula multiplicando el voltaje del estado lógico alto por el ciclo de trabajo, es decir:

$$5V \times 0.6 = 3V.$$

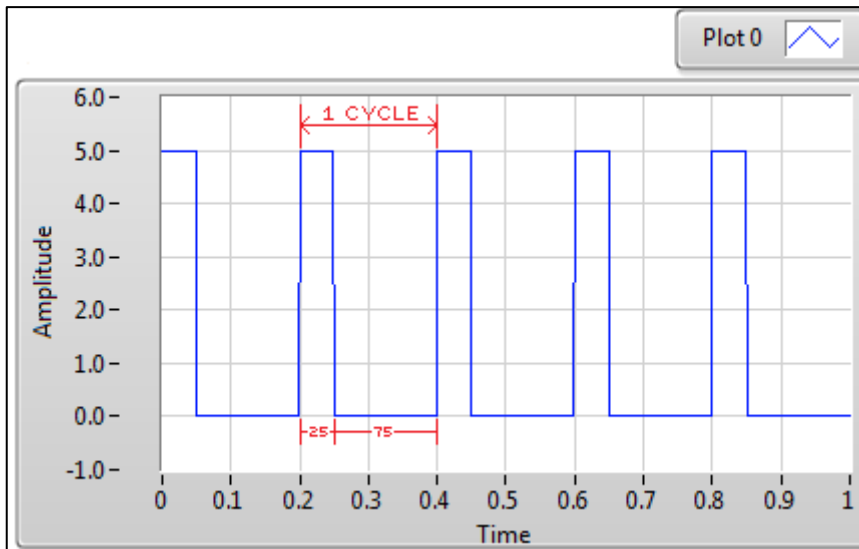


Figura 10-2. PWM con ciclo de trabajo al 25%
Fuente: (National Instruments, 2014)

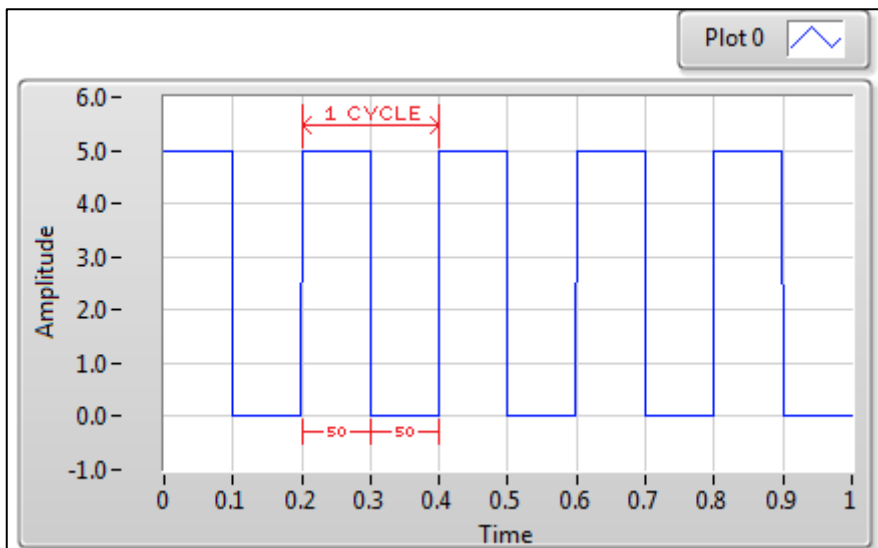


Figura 11-2. PWM con ciclo de trabajo al 50%
Fuente: (National Instruments, 2014)

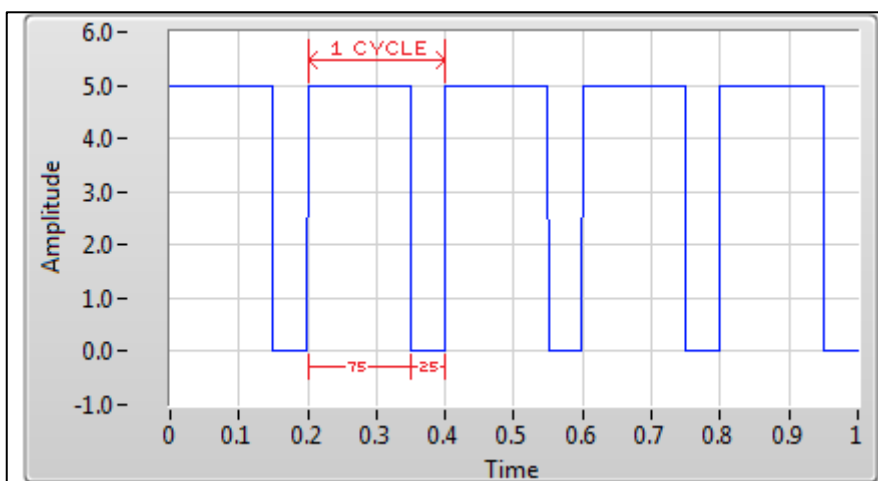
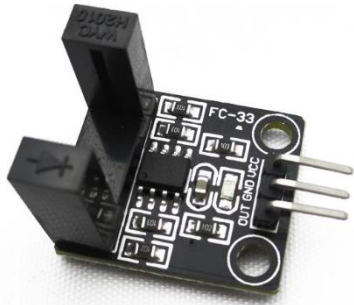


Figura 12-2. PWM con ciclo de trabajo al 75%.
Fuente: (National Instruments, 2014)

2.4.4 Sensor infrarrojo tipo encoder. – “Es un sensor de velocidad cuyo objetivo principal es comprobar el tipo de motor, también se utiliza ampliamente para la detección de la velocidad del motor, contador de pulsos, límite de posición, etc. (Carrod electrónica, 2014).

“Las opto ranuras que tienen el emisor y el sensor insertados en el encapsulado o PCB, sirven para mantener el alineamiento óptico. Estos sensores establecen un haz de luz directo entre emisor y receptor, el espacio entre ellos al ser ocupado por un objeto activa la detección, son muy usadas para controles de apertura, velocidad o detección de objetos” (Carrod electrónica, 2014).

Tabla 4-2: Especificaciones sensor tipo encoder

SENSOR TIPO HERRADURA		
	Modelo:	H2010
	Chip principal:	LM393
	Voltaje de alimentación mínimo:	3.3 V
	Voltaje de alimentación máximo:	5 V
	Salida efectiva:	Nivel bajo
	LED:	Indicador de funcionamiento
	Ancho de la ranura:	10 mm
	Forma de salida:	Conmutación digital (0 y 1)
	Número de pines:	3
	Compatible con:	Arduino, Raspberry, u otros MCU
	Dimensiones placa:	23 mm X 20

Fuente: (Carrod electrónica, 2014)

2.4.5 Tacómetro de mano GM8905. – Este tacómetro es uno de los instrumentos esenciales para medir la velocidad del motor, la velocidad de la línea o la frecuencia especialmente en la industria de la maquinaria, que requiere una medición de precisión. (EXTECH., 2019)



Figura 13-2. Tacómetro de mano GM8905

Fuente: (EXTECH., 2019)

Tabla 5-2: Características tacómetro de mano

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Resolución	0.1 rpm (2.5 ~ 999.9 rpm) 1 RPM (1000 ~ 99999 rpm)
Precisión	± (0.1% N + 5d) RPM; (2.5 ~ 999.9 rpm) ± (1% N + 5d) RPM; (1000 ~ 99999 rpm)
Potencia del láser	Clase II 2-5 MW
Muestreo	1 vez/segundo
Distancia de medición	50-500mm
Tiempo Bases	Cristal de cuarzo
Apagado automático	1 minuto sin ninguna operación
MAX/MIN/AVG/último valor	Y esporádica;
Indicación de batería baja	Y esporádica;
Retroiluminación LCD	Y esporádica;
Memoria	Y esporádica;
Entorno de funcionamiento	0 ~ 50°C; 32 ~ 122°F; 10% ~ 90% Rh

Fuente: (EXTECH., 2019)

2.5 Tarjeta NI MyRIO 1900

La tarjeta National Instruments MyRIO es un dispositivo portátil con entradas y salidas (E/S) reconFigurables (RIO), diseñado para que los estudiantes diseñen sistemas de control, robótica y mecatrónica, “siendo un dispositivo de hardware embebido, diseñado específicamente para el diseño de sistemas de ingeniería complejos y reales, de manera más rápida y económica, tiene un procesador que ejecuta un sistema de operación en tiempo real, así como un FPGA personalizado” (National Instruments, 2015).

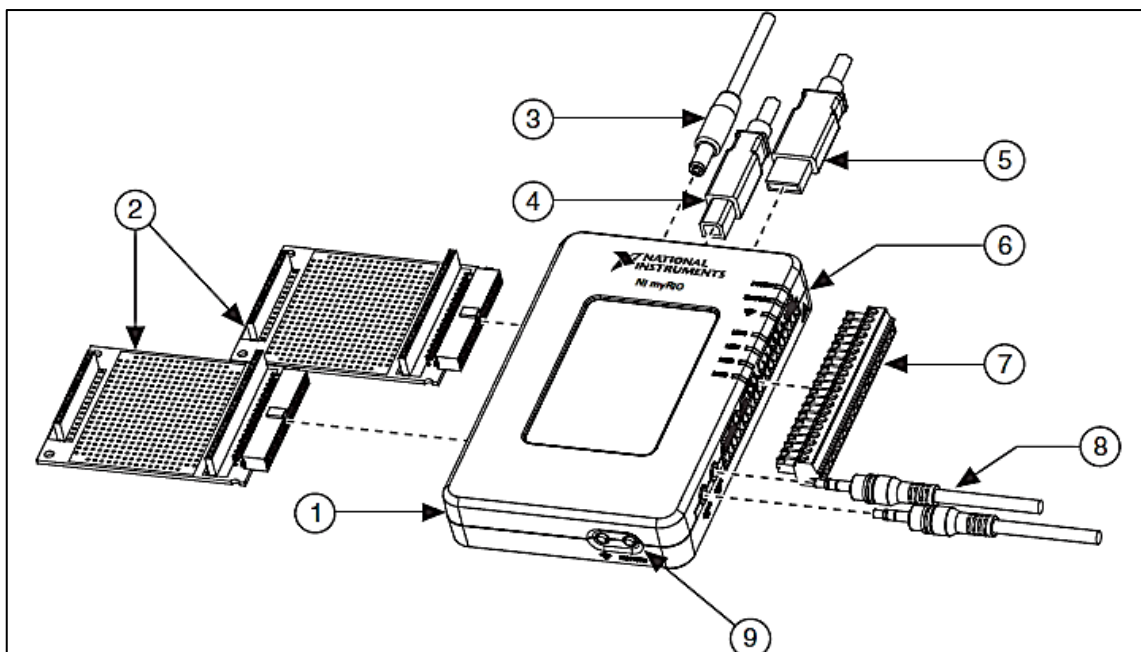


Figura 14-2. Componentes NI MyRIO 1900

Fuente: (National Instruments, 2015)

La Figura 14-2 muestra los principales componentes que componen el kit de MyRIO para programación y utilización de la tarjeta:

1. NI MyRIO-1900
2. Puerto de expansión MyRIO (MXP)
3. Cable de entrada de energía
4. Cable de dispositivo USB
5. Cable de host USB
6. LEDs
7. Terminal de tornillo mini puerto (MSP) Conector
8. Cables de entrada / salida de audio (uno incluido en el kit)
9. Botón

2.5.1 Distribución de los pines en MyRIO. - NI MyRIO-1900 es un dispositivo integrado compacto que proporciona entradas analógicas (AI), salidas analógicas (AO), entradas y salidas digitales (DIO), audio, y salidas de potencia, además, este dispositivo electrónico puede conectarse a una computadora host a través de USB y 802.11b, g, n. Los puertos de expansión (MXP) NI MyRIO-1900 A y B, llevan conjuntos idénticos de señales mismas que se distinguen en el software como conectores (Conector A/DIO1 y Conector B/DIO1). Algunos pines de los puertos poseen funciones secundarias, así como funciones primarias, Figuras 15-2 y 16-2. Para el puerto C del dispositivo igualmente los pines cuentan con funciones primarias y secundarias (National Instruments, 2015).

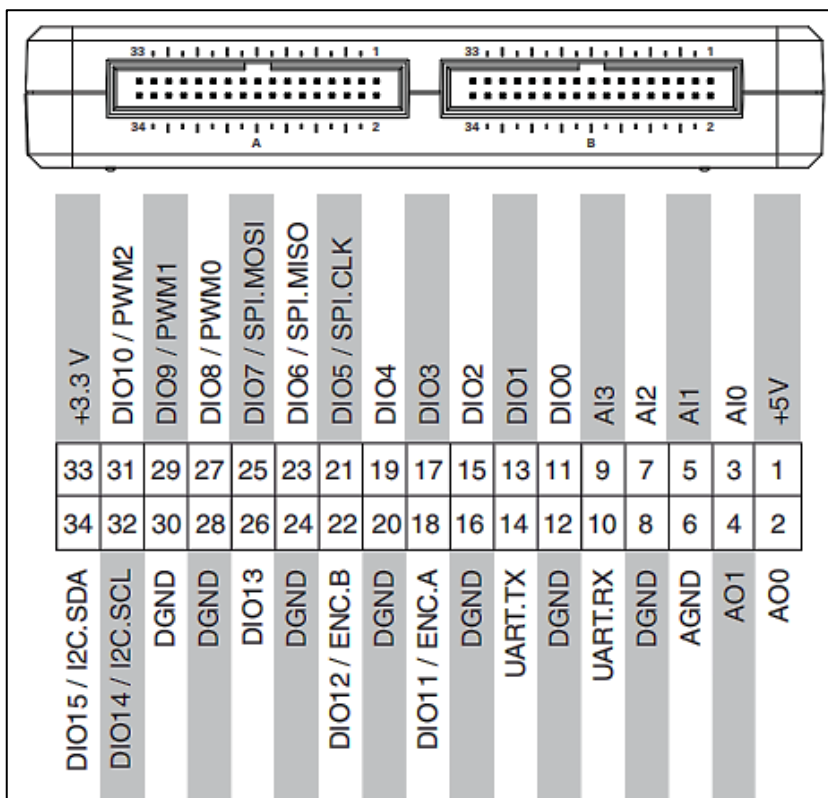


Figura 15-2. Funciones Primarias/secundarias puertos A y B.

Fuente: (National Instruments, 2015)

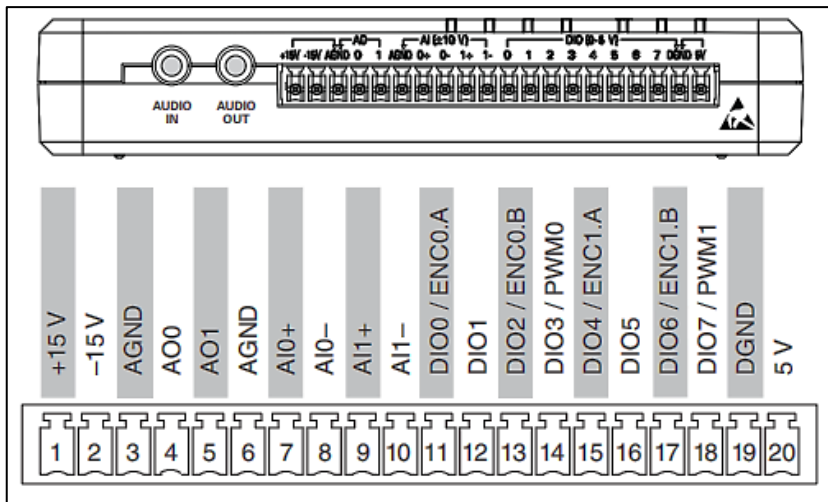


Figura 16-2. Funciones Primarias/secundarias puerto C

Fuente: (National Instruments, 2015)

2.6 Integración de PLC y LabVIEW.

“El software NI LabVIEW puede comunicarse con cualquier controlador lógico programable (PLC) de varias maneras. OLE para Control de proceso (OPC) define el estándar para la comunicación de datos de planta en tiempo real entre dispositivos de control e interfaces hombre-máquina (HMI). Los servidores OPC están disponibles para prácticamente todos los PLC y controladores de automatización programables (PAC).” (National Instruments, 2019).

LabVIEW permite la adquisición de datos para control y análisis, a través de la programación realizada en sus dos pantallas; la pantalla de Frontal y la pantalla de Diagrama bloques (National Instruments, 2019).

National Instruments ofrece varias opciones para interactuar con diferente gama de PLC:

- Servidores NI OPC
- Módulo de Control de Datos y Supervisión (DSC)
- Comunicación utilizando el protocolo OPC UA en LabVIEW
- Comunicación sobre Ethernet / IP utilizando LabVIEW
- Comunicación a través de DeviceNet utilizando LabVIEW y hardware compatible con Compact RIO / PXI / PCI.
- Comunicación sobre ModBus utilizando LabVIEW con la API de ModBus.
 - La API de ModBus es una biblioteca gratuita no compatible.
 - La comunicación ModBus además es posible a través del Módulo DSC y Servidores OPC.
- Comunicación serial directa (National Instruments, 2019).

2.7 Mantenimiento

2.7.1 Mantenimiento programado. – “Las acciones llevadas a cabo mediante esta estrategia se realizan a intervalos regulares de tiempo o cuando los equipos se sacan de operación. Este tipo de actividad requiere sacar de funcionamiento el equipo y solo puede ser bien planificada cuando la falla es dependiente del tiempo de operación. Eso no es lo común en nuestras plantas de tratamiento. Las actividades que son siempre factibles de programar son la lubricación y la limpieza. Para llevarlas a cabo, los fabricantes de los equipos indican la frecuencia con que se requieren. Con esta información se puede establecer la programación correspondiente”.

2.7.2 Plan de mantenimiento. - “Es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no, siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta. Hay todo un conjunto de equipos que se consideran no mantenibles desde un punto de vista preventivo, y en los cuales es mucho más económico aplicar una política puramente correctiva (en inglés se denomina run to failure, o ‘utilizar hasta que falle’)” (Química Clínica, 2002).

El plan de mantenimiento engloba tres tipos de actividades:

- “Las actividades rutinarias que se realizan a diario, y que normalmente las lleva a cabo el equipo de operación”.
- “Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año”.
- “Las actividades que se realizan durante las paradas programadas”.

Tabla 6-2: Modelo estructura Plan de mantenimiento equipos

Plan de mantenimiento.			Frecuencia				
			A:	SM:	T:	M:	S:
Ítem	Tareas	Herramientas, recursos y materiales	S	M	T	SM	A
1		•					
2		•					
3		•					
4		•					
5		•					
6		•					
7		•					
8		•					
9		•					

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

2.7.3 Check List. - Las “listas de control”, “listas de chequeo”, “check-lists” u “hojas de verificación”, son formatos creados para realizar actividades repetitivas, controlar el cumplimiento de una lista de requisitos o recolectar datos ordenadamente y de forma sistemática. Se usan para hacer comprobaciones sistemáticas de actividades o productos asegurándose de que el trabajador o inspector no se olvida de nada importante (Química Clínica , 2002).

El objetivo de esta lista de verificación es reportar cualquier situación de daño o que requiera mantenimiento para la planificación o ejecución de actividades preventivas o correctivas por parte del ente responsable de los equipos de laboratorio.

Tabla 7-2: Modelo de estructura Check List

CHECKLIST				
Equipo:		Frecuencia:		
Fecha:		T. Estimado:		
Realizado por:		T. Real:		
Ítem	Descripción tarea	Cumple		Observaciones
		Si	No	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
Responsable:				

Firma				

Fuente: Sebastián Vaca, 2019

2.7.4 Recomendaciones generales en la ejecución de mantenimiento. - Es oportuno indicar una serie de recomendaciones que permitan orientar y facilitar la solución de problemas, y aplicar el sentido común (Química Clínica , 2002).

Guía para la solución de problemas técnicos en los sistemas analíticos.

- Mantener la calma, permite pensar con mayor claridad.
- El secreto para una correcta reparación es un buen conocimiento de cómo funciona el sistema en condiciones normales.
- No hacer suposiciones de lo que no funciona, concretar el problema.
- Recordar si ya había pasado algo similar en otra ocasión, e información que pueda ayudar a solucionar el problema actual.

- Intentar solucionar el problema de la manera más simple, los problemas simples son los más frecuentes, y los más probables.
- Realizar una única actuación (cambio de una pieza, por ejemplo) cada vez. Así se podrá concretar mejor la causa del problema y cuál ha sido la solución (Química Clínica , 2002).

2.7.5 Recomendaciones para actividades de mantenimiento preventivo. - A continuación, se enlistan varias actividades o consideraciones a ser tomadas en cuenta para la ejecución de actividades de mantenimiento para el módulo de servo posicionamiento y equipos adicionales necesarios.

- La limpieza puede realizarse con pincel, brocha o franela, y se puede aplicar aire comprimido seco para la limpieza interna y externa de los equipos. Se pueden usar disolventes o desengrasante industrial que no contengan productos clorados (tricloroetileno o tetracloruro de carbono) o solventes aromáticos (tiñer, acetona, tolueno, etc.).”
- Si se desmontan partes o elementos para actividades de mantenimiento deben ser limpiadas, revisadas minuciosamente previamente al montaje de las mismas, debe reportarse el estado y de ser necesario reemplazarse elementos que presenten signos de deformación o rotura, o que no cumplan su función principal.
- Todos los elementos o partes ajustables deben apretarse a una presión admitida y siempre utilizando herramientas adecuadas (clásicas de taller). Nunca debe ajustarse las uniones roscadas en forma desmedida, o con el uso de herramientas o implementos improvisados.

2.8 Marco legal.

El desarrollo del presente trabajo de titulación se basa en el Reglamento de Régimen Académico de 2017, que establece como una de las actividades pertinentes para complementar el proceso de graduación el desarrollo del mismo. Definiendo que: “El trabajo de titulación es el resultado investigativo, académico o artístico, en el cual el estudiante demuestra el manejo integral de los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación profesional; deberá ser entregado y evaluado cuando se haya completado la totalidad de horas establecidas en el currículo de la carrera, incluidas las prácticas pre profesionales” (CES, 2017).

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO

Se diseñó un módulo que aloja en él, los elementos necesarios para el control de posición de ángulos de giro para un motor de pasos, y para un servomotor normal, y se realizó el control de velocidad para un motor brushless, todo esto controlado desde LabVIEW, mediante la utilización de una tarjeta MyRIO, instalando sus respectivos drivers y toolkits.

3.1 Diseño del módulo de posicionamiento y control de velocidad.

Se utilizó como alojamiento de todos los componentes una caja plástica para elementos eléctricos con cubierta transparente, Figura 1-3, en la cual se montaron en una base impresa en 3D, Figura 2-3, los motores seleccionados en la parte superior, y sus controladores en la parte interior. Todos los elementos se encuentran conectados internamente a una bornera de conexión que se visualiza en la parte frontal del módulo de posicionamiento, Figura 3-3.

Tabla 1-3: Listado de elementos utilizados

Ítem	Detalle	Cantidad
1	Caja eléctrica plástica 150 mm x 120 mm.	1
2	Base impresa en 3D	1
3	Servomotor SG 90.	1
4	Motor de pasos 28BYJ-48	1
5	Motor Brushless A2212/10T	1
6	ESC 30A	1
7	Módulo controlador con ULN 2003	1

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019



Figura 1-3. Caja eléctrica

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

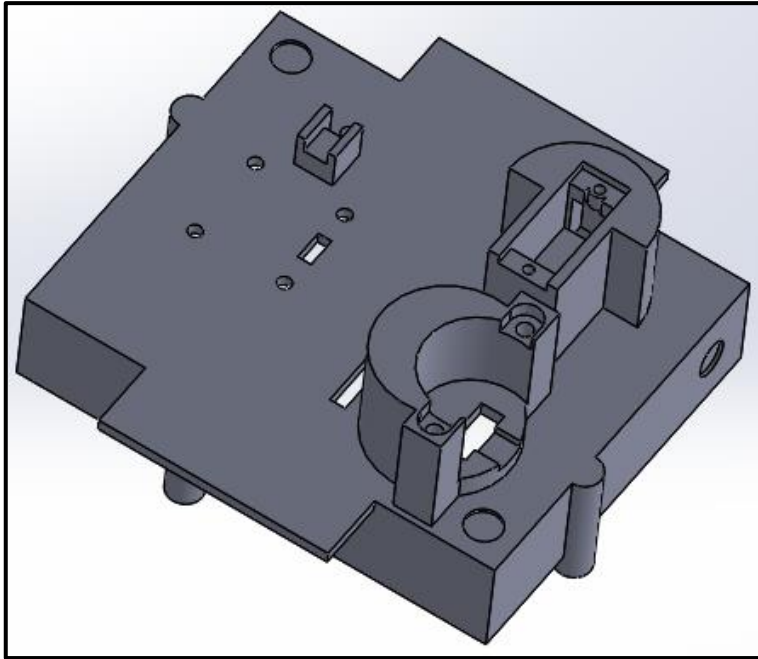


Figura 2-3. Base principal impresa en 3D
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

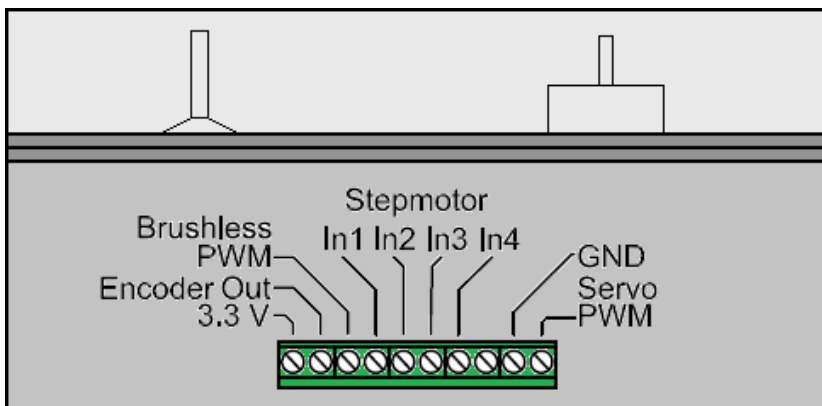


Figura 3-3. Vista frontal módulo posicionamiento
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

El encoder se alimenta de 3.3 Vcd, devuelve la misma señal booleana a su salida para ser procesada posteriormente en forma de conteo de pulsos por unidad de tiempo con respecto al motor de pasos se precisa de la utilización de cuatro salidas digitales de la tarjeta MyRIO y para el control de velocidad del motor brushless y control de posición del servomotor se necesita la utilización de un puerto PWM por cada motor.

La alimentación principal del módulo que se muestra en la Figura 4-3, se realiza mediante una fuente de corriente continua de 12Vcd, el circuito de potencia del motor brushless trabaja a este valor de voltaje, con un consumo máximo de corriente de 2500 mA, mientras que para el servomotor y motor de pasos se conectan a un convertidor DC buck que regula el voltaje a un valor de 5Vcd.

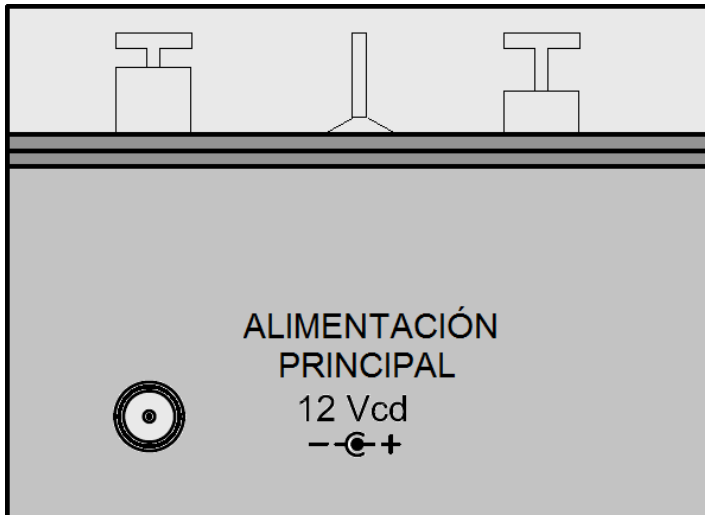


Figura 4-3. Vista lateral izquierda módulo posicionamiento
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

En la Figura 5-3, se muestra el módulo de posicionamiento ensamblado donde se pueden apreciar los motores montados y los puertos de conexión en borneras de los mismos.

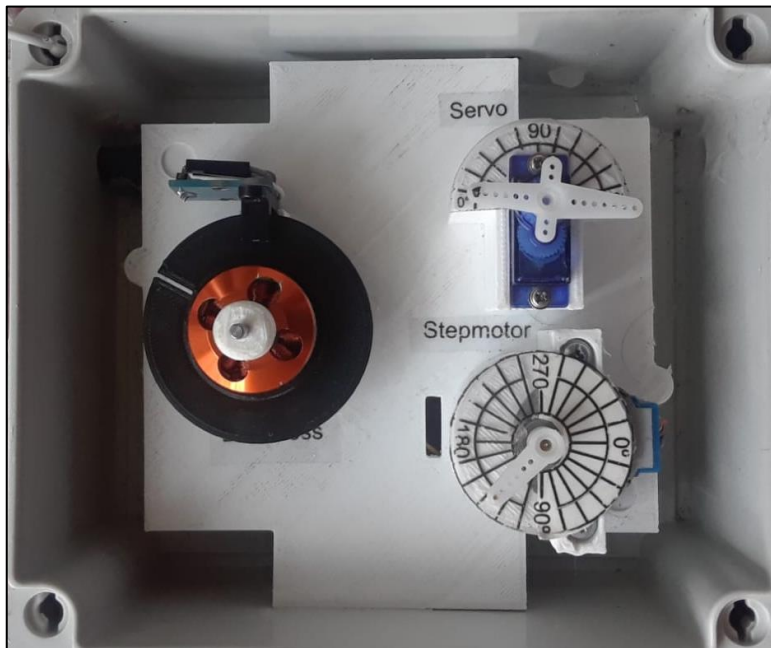


Figura 5-3. Módulo de posicionamiento ensamblado final
 Fuente: Sebastián Vaca, 2019.

3.1.1 Diagramas de conexión eléctrica de los elementos. - En las siguientes Figuras se mostrará individualmente el diagrama de alimentación de los dispositivos eléctricos y electrónicos del módulo de posicionamiento.

3.1.2 Diagrama de alimentación servomotor. - El servomotor dispone de 3 pines de conexión que corresponden a la alimentación voltaje positivo, voltaje negativo o tierra, y el cable que recibe

la señal de control PWM, el servomotor se conecta al convertidor DC Buck interno de 5 Vcd mediante el cable rojo del mismo, se coloca a tierra con el cable café en una bornera del módulo, y el cable de señal (naranja) se entrelaza con la bornera del módulo a la que corresponderá la salida PWM de la tarjeta MyRIO, tal como se muestra en la Figura 6-3.

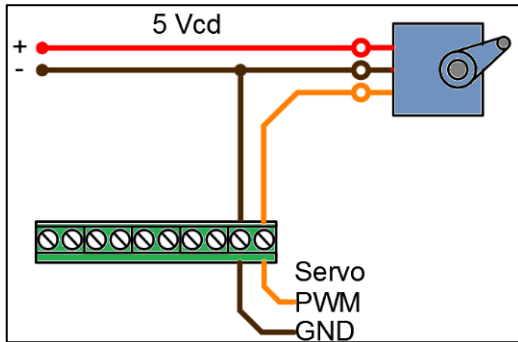


Figura 6-3. Conexión servomotor
Fuente: Sebastián Vaca, 2019

3.1.3 Diagrama de alimentación motor de pasos. – El módulo controlador ULN 2003 aísla completamente el circuito de mando del circuito de potencia dirigido al motor de pasos, las cuatro entradas de este módulo se entrelazan, a las borneras correspondientes de cuatro salidas digitales de MyRIO, el circuito de potencia se alimenta a 5Vcd, y de igual manera se conecta a tierra GND (-), tal como se muestra en la Figura 7-3.

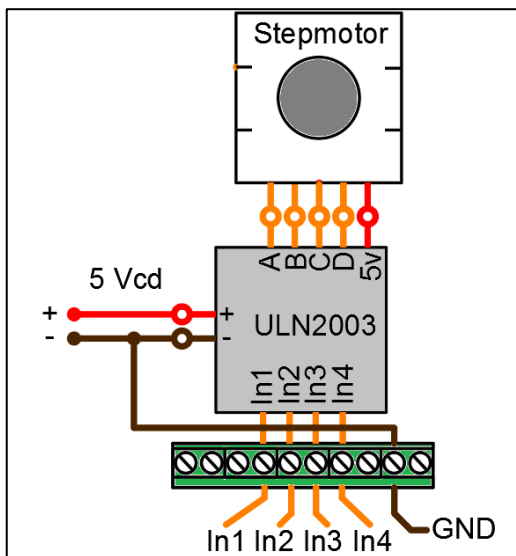


Figura 7-3. Conexión motor de pasos con módulo ULN2003
Fuente: Sebastián Vaca, 2019.

3.1.4 Diagrama de alimentación brushless. – Este motor requiere de la conexión de un controlador de velocidad ESC 30A, mismo dispositivo que se alimenta a 12 Vcd, cuenta con tres

salidas principales que se conectan a los tres conectores del motor brushless, y posee tres pines pequeños que envían un voltaje de 5 Vcd, y reciben una señal PWM desde un pin de la tarjeta MyRIO para el control velocidad. La velocidad del brushless se monitorea mediante la utilización de un encoder tipo herradura que se energiza a 3,3 voltios y devuelve una señal digital al PC, Figura 8-3, dependiendo de cuantas veces pasa un objeto, en este caso una hélice a través de él.

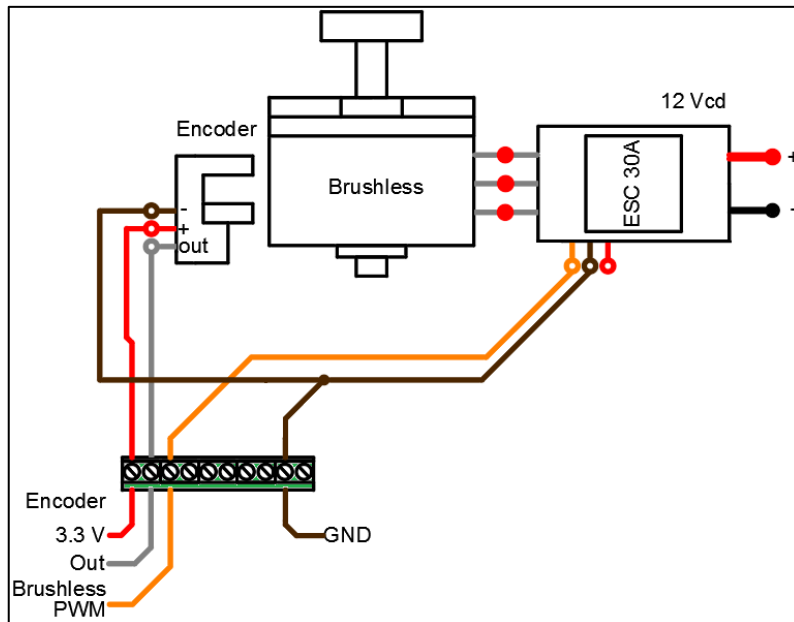


Figura 8-3. Diagrama de conexión brushless y encoder
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

3.2 Programación de MyRIO en LabVIEW.

El módulo de posicionamiento y control de velocidad se programó utilizando los pines necesarios y disponibles en el puerto A de la tarjeta MyRIO, mediante la utilización de una placa, mostrada en la Figura 9-3, conocida como puerto de expansión MyRIO (MXP).

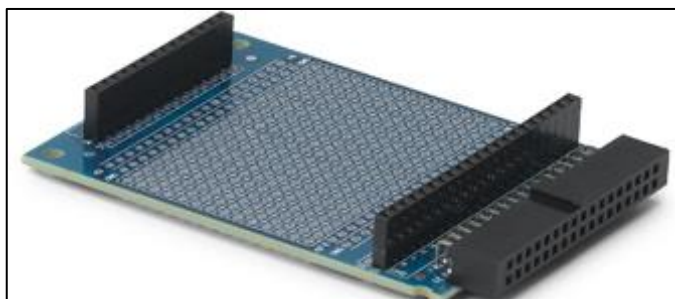


Figura 9-3. Puerto de expansión MyRIO.
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Previamente a la utilización de la tarjeta MyRIO, el PC debe tener instalado el software LabVIEW, los respectivos drivers para utilización de la tarjeta, así como la librería MyRIO,

Figura 10-3, que facilitará la configuración para la utilización de los diferentes pines de entradas y salidas del dispositivo.

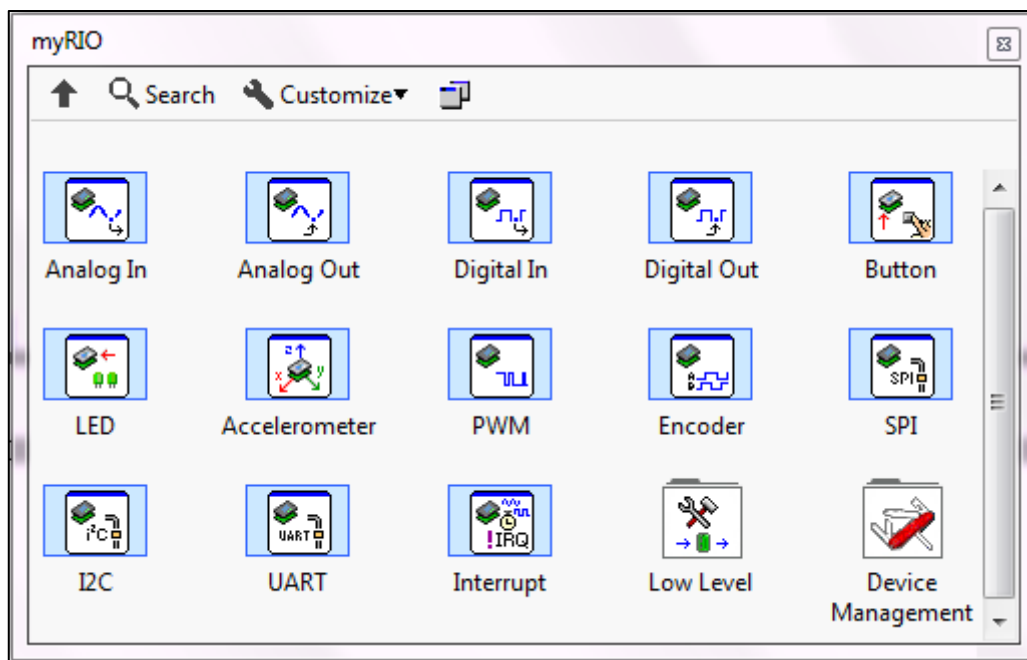


Figura 10-3. Librería MyRIO en LabVIEW.

Fuente: (National Instruments, 2015)

3.2.1 Creación del proyecto inicial en MyRIO. – Al conectar la tarjeta MyRIO al PC, se despliega una ventana automáticamente, que analizará si se cuentan con los softwares y elementos necesarios para la utilización del dispositivo, esta ventana llamada “MyRIO USB Monitor” dispone de pestañas que permiten crear un proyecto inicial tras la guía y configuración de inicio rápido, Figura 11-3, abrir directamente LabVIEW (para usuarios más experimentados), ejecutar el monitor de entradas y salidas para visualización en tiempo real de las variables de los pines de la tarjeta, permite también la configuración de parámetros de la tarjeta, y finalmente muestra la opción de no realizar ninguna acción tras la conexión de MyRIO.

Para este caso se procedió a crear un proyecto inicial al seguir los pasos de la opción, “Launch the Getting Started Wizard”, manteniendo la configuración establecida en MyRIO por el propietario de la tarjeta.

El proyecto creado en LabVIEW mostrará la tarjeta MyRIO agregada, y contendrá todas las librerías y VI que son utilizados en la ejecución del proyecto. Posteriormente, mediante la utilización del módulo DSC de LabVIEW se integra una librería OPC para la comunicación del módulo con un PLC a través del computador.

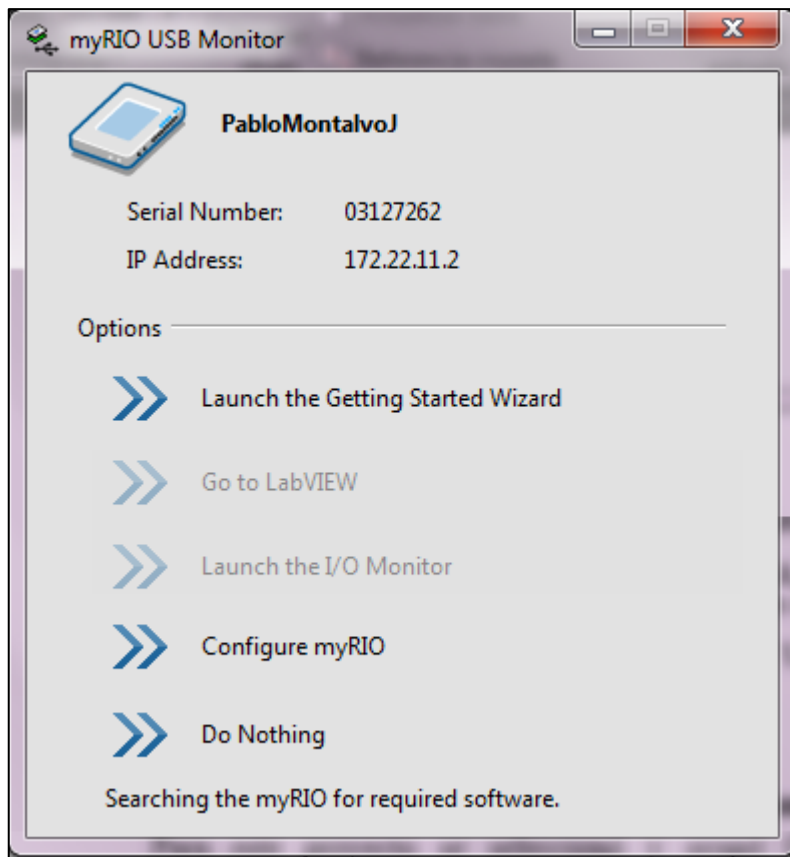


Figura 11-3. MyRIO USB Monitor

Fuente: (National Instruments, 2015)

3.2.2 Control de posición de un servomotor. – El ángulo de giro del servomotor se controla mediante la aplicación de un valor PWM fijo para las diferentes posiciones o ángulos comprendidos entre 0 y 180° del mismo, esto se logra gracias al elemento PWM de la librería de LabVIEW MyRIO, Figura 12-3.

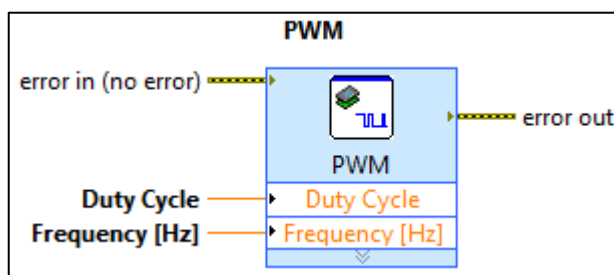


Figura 12-3. Elemento PWM

Fuente: (National Instruments, 2015).

El elemento PWM de la librería cuenta con dos entradas principales correspondientes a la frecuencia normal de funcionamiento del servomotor, y la segunda al ciclo de trabajo que se enviará, el VI desarrollado, permite ingresar un ángulo de giro deseado y enviar el ciclo de trabajo PWM correspondiente al servomotor, la Figura 13-3, muestra la asignación del puerto PWM asignado al servo en la tarjeta MyRIO.

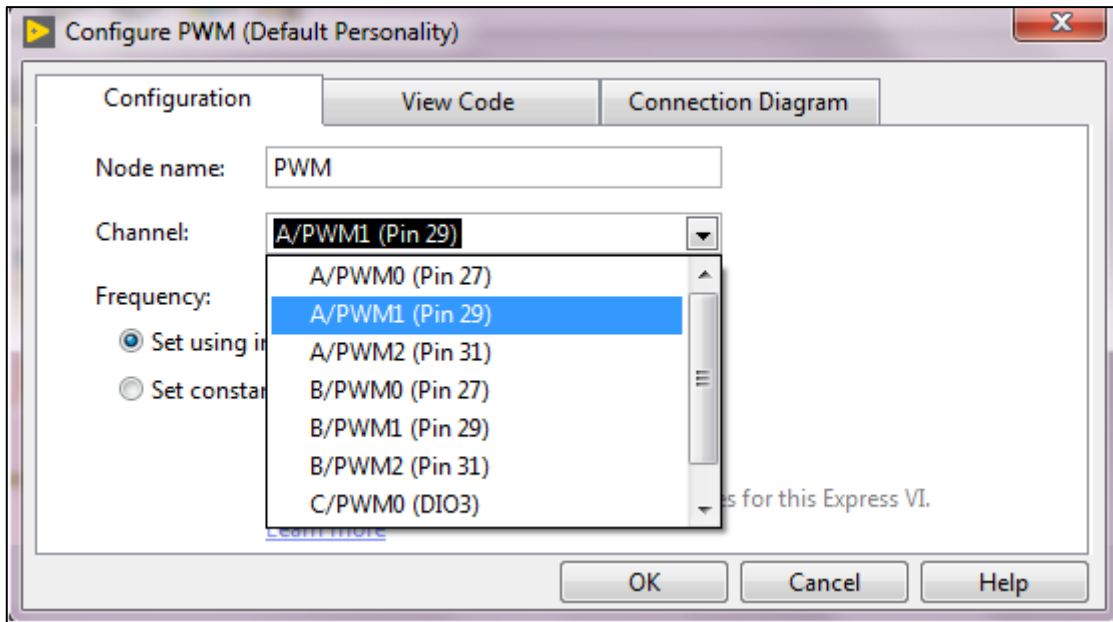


Figura 13-3. Selección de la salida PWM
Fuente: (National Instruments, 2015)

La tarjeta MyRIO cuenta con salidas PWM en todos y cada uno de sus tres puertos, el VI creado para el control de posición del servo motor utiliza la señal PWM2 del conector o puerto A. Esta señal PWM1 corresponde al pin 31, que se asigna al **DIO10** de la tarjeta de expansión de MyRIO, Figura 14-3 que a su vez se entrelaza con el módulo de posicionamiento en el pin de conexión denominado “Servo PWM”.

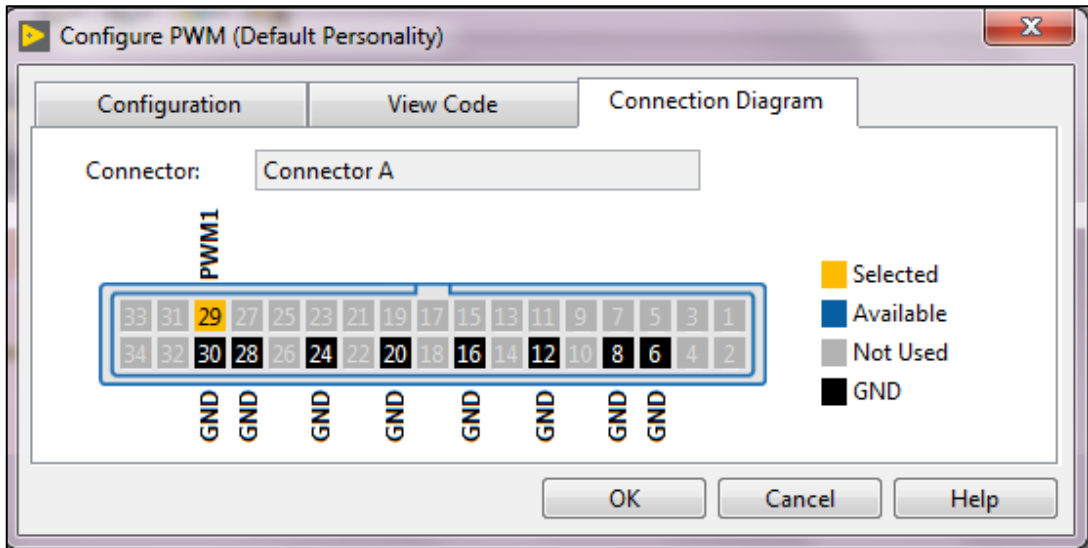


Figura 14-3. Diagrama de conexión PWM1 puerto A
Fuente: (National Instruments, 2015)

En el VI creado basta con realizar una conversión matemática para la obtención de un ciclo de trabajo “duty cycle” comprendido entre 500 a 2400 μ s (valores nominales), Figura 15-3, valor

que se rectifica al observar el funcionamiento real del servomotor, calibrando los valores mencionados para obtener de manera precisa los ángulos establecidos.

La frecuencia normal de trabajo del servomotor se fija a 50hz, Figura 16-3, y la velocidad de avance del mismo dentro del torque admisible es de 0.1seg/60°, a 4.8 Vcd.

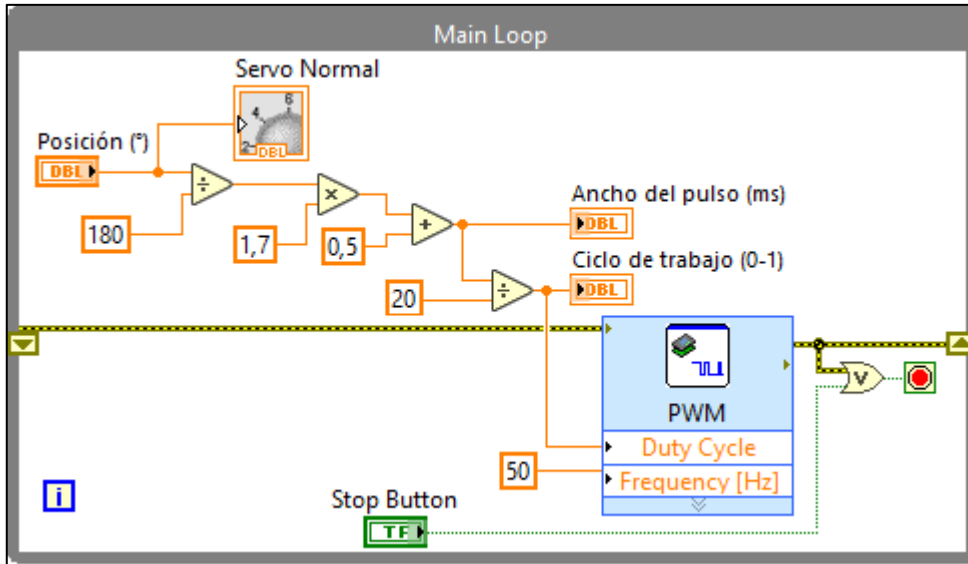


Figura 15-3. Diagrama de bloque VI Servomotor

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

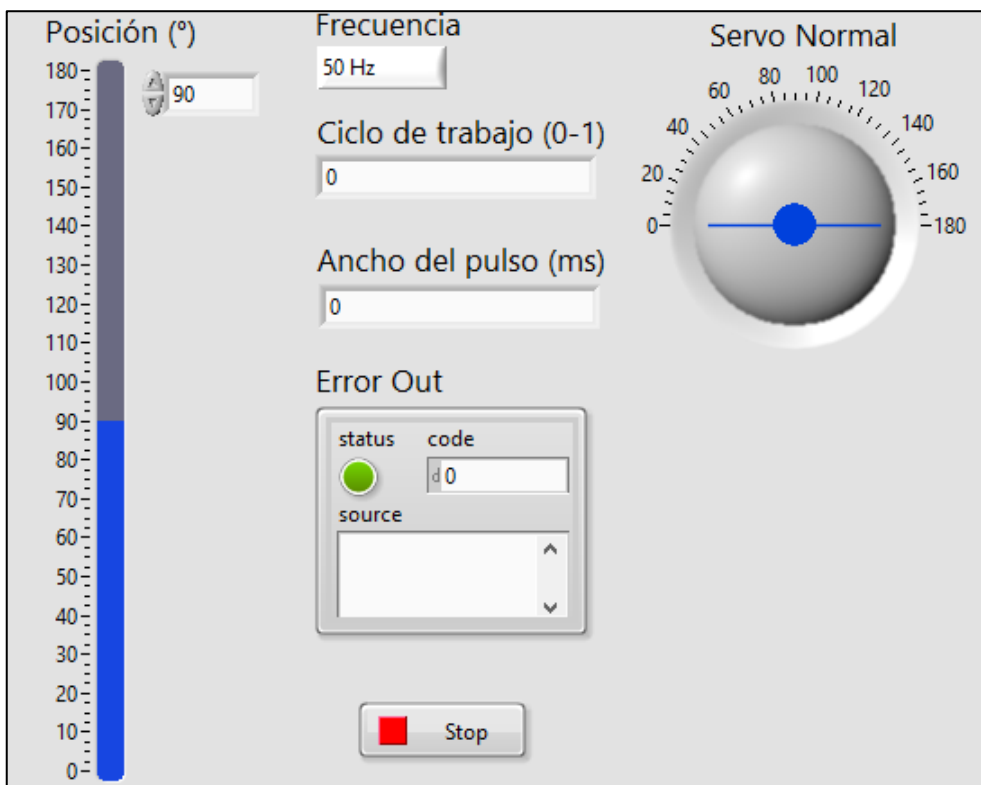


Figura 16-3. Panel frontal VI Servomotor

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

3.2.3 Control de posición de un motor de pasos. – El ángulo de giro o revoluciones de este motor dependerá de la cantidad de pasos que se envíen a través del controlador, el sentido de giro se establecerá mediante el orden de la secuencia de pasos que se envíe, y la velocidad se determina mediante el tiempo de duración de cada paso.

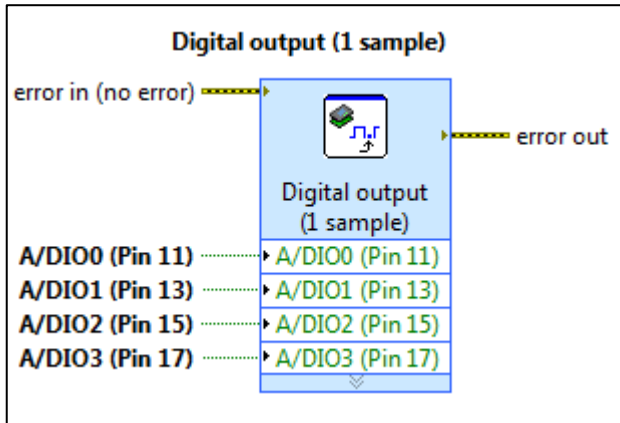


Figura 17-3. Elemento Digital Outputs
Fuente: (National Instruments, 2015)

Para realizar este control en ciclo abierto se necesita de la utilización de cuatro salidas digitales de la tarjeta MyRIO que se configuran al escoger el elemento “Digital Outputs” de la librería, Figura 17-3, al seleccionar este elemento se configura el puerto de la tarjeta a utilizar y las salidas digitales correspondientes a los pines del puerto seleccionado. Los puertos de la tarjeta de expansión se conectan con el módulo de posicionamiento para las entradas del motor de pasos (Stepmotor) de la siguiente manera:

DIO0 – **In1**

DIO1 – **In2**

DIO2 – **In3**

DIO3 – **In4**

El VI realizado permite ingresar un ángulo de giro, y envía al controlador del motor de pasos el número de combinaciones o pasos necesarios para alcanzar el ángulo de giro deseado, Figura 18-3. Además, se establecieron dos secuencias de medios pasos que se pueden seleccionar indistintamente para establecer el sentido de giro del motor, la velocidad de giro del motor se puede controlar al variar el tiempo de envío de pasos (ms) en la secuencia.

La Figura 19-3 muestra los elementos agregados en el panel frontal de LabVIEW, donde el arreglo booleano colocado en el panel frontal permite visualizar el paso en el que se encuentra el motor, es decir la bobina del mismo que se está energizando, un indicador muestra en LabVIEW el avance del giro del motor de pasos, mientras que en el módulo se dispone de una hélice sobre una escala graduada que cumple la misma función.

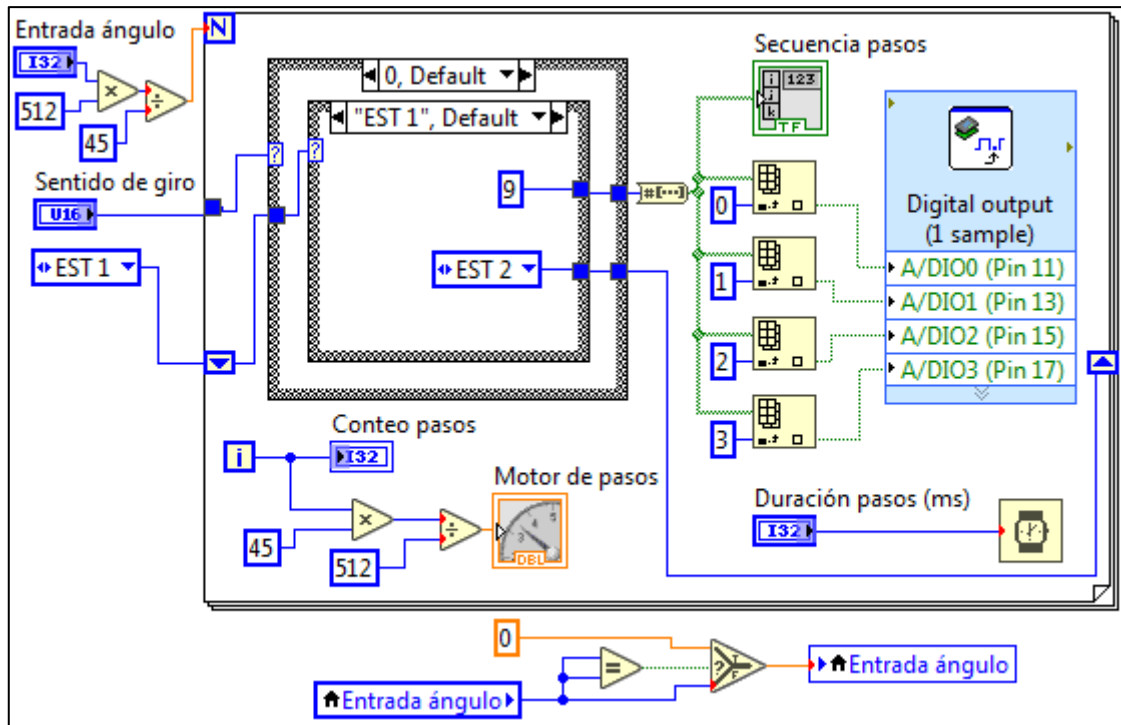


Figura 18-3. Diagrama de bloques VI motor de pasos
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

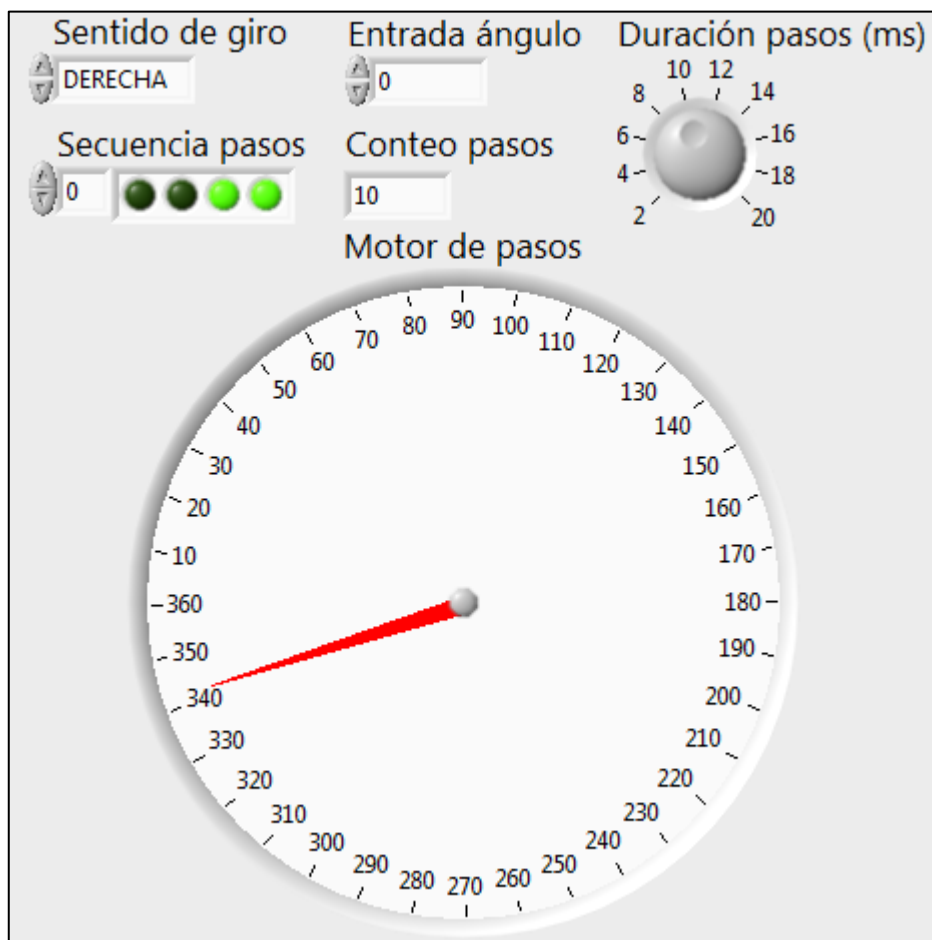


Figura 19-3. Panel frontal VI motor de pasos
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

3.2.4 Control de velocidad de un motor brushless. – Este aparato utiliza valores de PWM ingresados a un controlador ESC 30A, para variar la velocidad de giro dentro de los parámetros establecidos por el motor. Para medir las revoluciones dadas por el brushless se utiliza un sensor infrarrojo tipo encoder C.

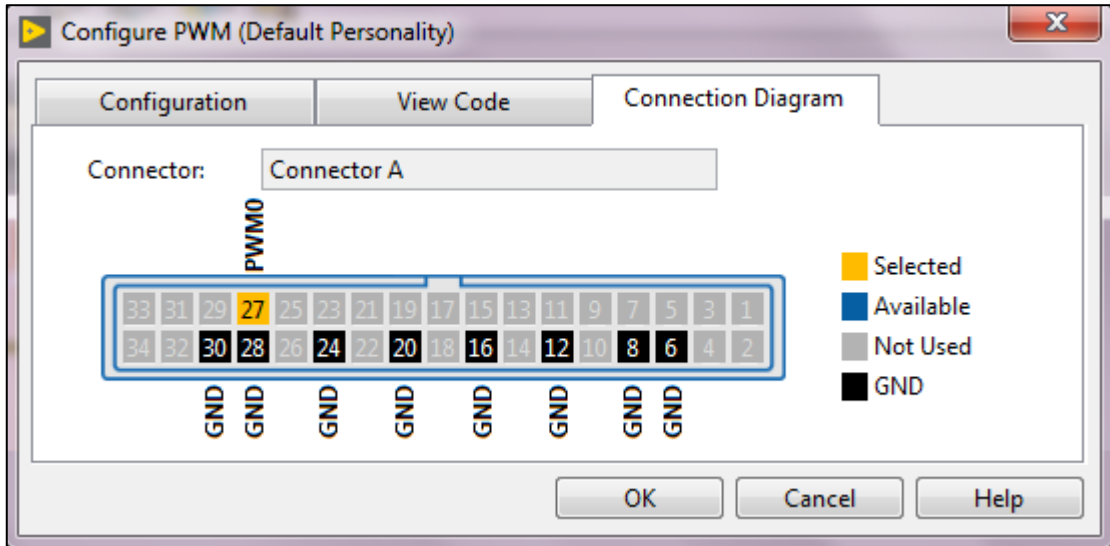


Figura 20-3. Diagrama de conexión PWM0 puerto A
Fuente: (National Instruments, 2015)

De igual manera que para el servomotor se configuró una salida PWM, en este caso se tomó la señal PWM0, correspondiente al pin 27 de la tarjeta MyRIO, Figura 20-3, y que corresponde al pin **DIO8** de la tarjeta de expansión del puerto A.

Para el rango de velocidad de funcionamiento del motor brushless se obtuvo de manera práctica el valor del ciclo de trabajo que debe asignarse, al comprobar la correspondencia entre las RPM medidas mediante un tacómetro digital con el valor de ciclo de trabajo enviado desde LabVIEW, permitiendo obtener una ecuación lineal del funcionamiento del motor en base a las dos variables consideradas.

La ecuación obtenida se obtuvo mediante el elemento “solver” de Excel, con los valores promedios de 12 mediciones realizadas para el valor fijo de ciclo de trabajo asignado, dichos valores se muestran en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Valores medidos para la obtención de la ecuación del funcionamiento motor brushless.

Ciclo de trabajo	Mediciones RPM												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Pro
0,062880	4650	4662	5091	4655	4677	4679	4945	4673	4652	4670	4904	4797	4755
0,063384	5658	5521	6095	5709	5728	5607	5970	5331	5628	5178	5289	5206	5577

Ciclo de trabajo	Mediciones RPM												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Pro
0,063888	6497	6162	6522	6513	6346	6157	6167	6783	6450	6357	6178	6158	6358
0,064391	7312	6962	7313	7146	6953	6959	6970	6987	6971	6960	6977	6964	7040
0,064895	7709	7674	7970	7706	7713	7713	7716	7730	7730	7715	7692	7666	7728
0,065399	8422	8346	8684	8391	8415	8670	8427	8517	8418	8473	8478	8301	8462
0,065903	9091	9071	9072	9104	9134	9092	1059 2	9137	9140	9134	9147	9108	9235
0,066407	9703	9527	9679	9688	9635	9462	9464	9449	9440	9450	9475	9441	9534
0,066910	10142	9976	10940	10422	10020	10016	10015	10026	9998	10016	10050	10026	10137

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

La ecuación 1 corresponde a la ecuación obtenida para la asignación de ciclo de trabajo por PWM para el funcionamiento del motor brushless en el rango de 5000 a 10000 RPM.

$$Y_1 = 1342430,5 X_1 - 79471. \quad (1)$$

Donde:

Y_1 = RPM deseadas motor brushless.

X_1 = Ciclo de trabajo necesario.

También se colocó un encoder de herradura como elemento de medición de las RPM a las que trabaja el motor brushless, se utiliza el elemento de la librería de LabVIEW denominado encoder, que corresponde al puerto A en el pin 12 de la tarjeta MyRIO, Figura 21-3.

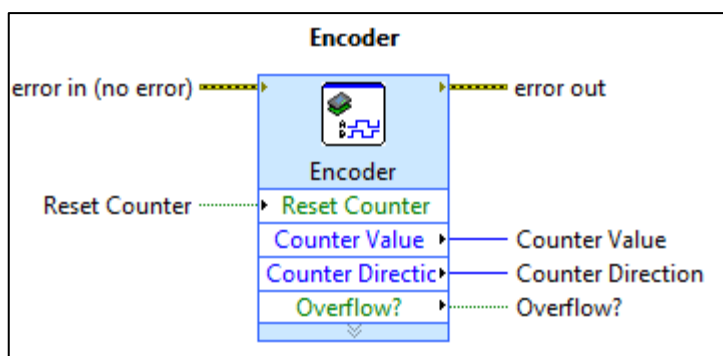


Figura 21-3. Elemento encoder librería MyRIO

Fuente: (National Instruments, 2015)

Para obtener una lectura más exacta de las RPM mediante la utilización del encoder, se realizó de igual manera una ecuación en base a las pulsaciones recibidas en una unidad de tiempo, los valores registrados de pulsaciones se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Pulsaciones recibidas por el encoder para las RPM deseadas de funcionamiento.

RPM	Mediciones pulsaciones recibidas del encoder										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10000	172	170	170	171	169	168	169	167	168	168	169,2
9000	159	159	157	156	159	155	153	153	153	154	155,8
8000	150	146	143	141	142	141	142	140	136	135	141,6
7000	133	129	129	129	124	123	123	123	123	123	125,9
6000	116	114	110	108	109	107	103	102	103	102	107,4
5000	99	93	92	86	86	87	87	86	80	78	87,4

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

La ecuación 2 corresponde a la ecuación obtenida para las RPM medidas a través del elemento encoder del motor brushless en el rango.

$$Y_2 = 0,01628285547 X_2 + 9,0952404942 \quad (2)$$

Donde:

Y_2 = Pulsaciones captadas por el encoder.

X_2 = RPM medidas.

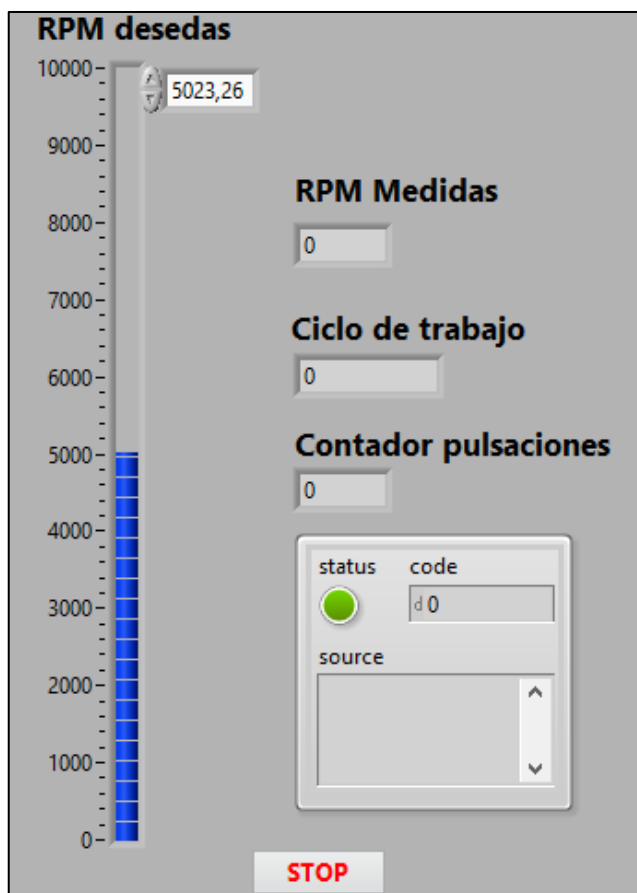


Figura 22-3. Panel frontal VI brushless velocidad

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

La Figura 22-3 muestra el panel frontal del VI para el control de velocidad del motor brushless.

El VI creado, envía un ciclo inicial de seteo al procesador ESC 30A, y el motor empieza su funcionamiento a mínimo 5000 RPM, los parámetros principales de funcionamiento se muestran en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Parámetros motor brushless

MOTOR BRUSHLESS	
Ciclo inicial para seteo	0,0599443
Ciclo de trabajo mínimo	0,062923927
Ciclo de trabajo máximo	0,066648515
RPM mínimas	5000
RPM máximas	10000

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

La Figura 23-3 muestra el diagrama de bloques del VI creado para el funcionamiento del motor brushless.

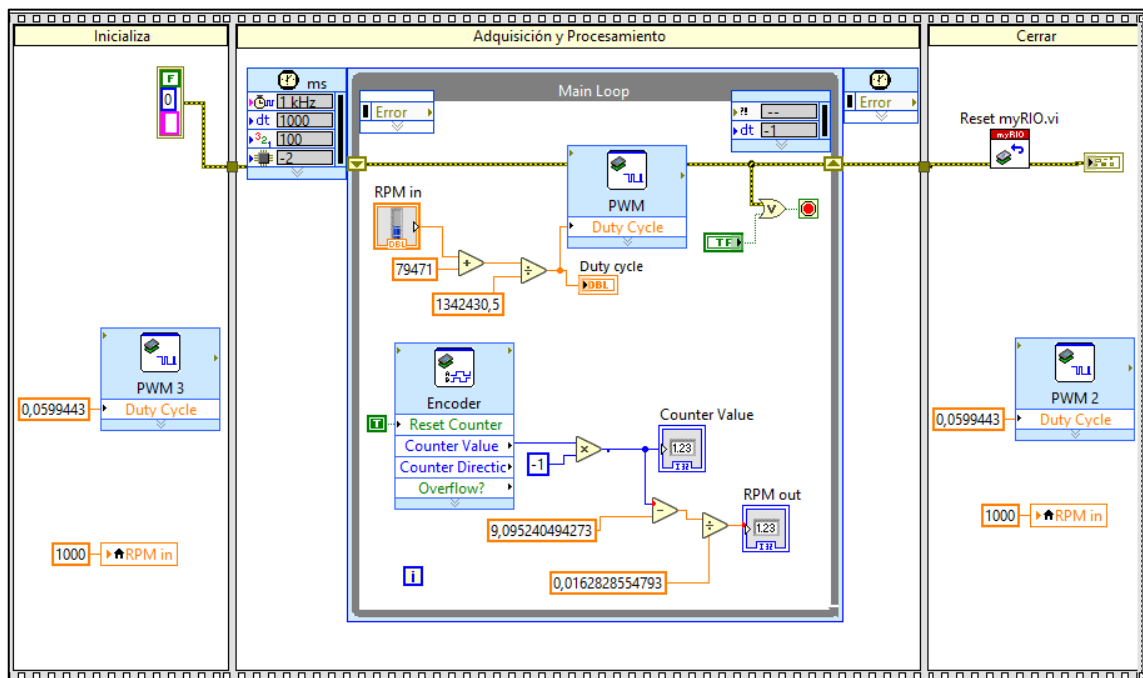


Figura 23-3. Diagrama de bloques VI brushless velocidad

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

3.3 Integración del módulo de posicionamiento con un PLC siemens.

En este proyecto se seleccionó y ocupó OPC de National Instruments para intercomunicar un PLC SIEMENS a través de LabVIEW con una tarjeta MyRIO, para ello, el PC debe tener instalado el módulo DSC de LabVIEW, que a su vez posee el programa NI OPC Servers.

En este “NI OPC Servers” se crea una vía de comunicación al agregar el dispositivo PLC con la IP asignada, Figura 24-3, y las variables del mismo que se deseen escribir/leer con LabVIEW, una vez agregadas todas las variables necesarias se procede a crear la librería OPC dentro del proyecto que contiene los programas de control (VI), y dentro de esta librería se agregan individualmente cada variable del PLC a utilizar.

Para todos los casos de programación se utilizó una variable directa desde el PLC, cuyo valor es generado mediante un simulador de señales digitales Siemens, Figura 25-3, o es ingresado desde un elemento de entrada colocado en un Touch Panel, restringiendo el valor de la variable a los límites de posición del servo (180°) y para el motor de pasos (360°).

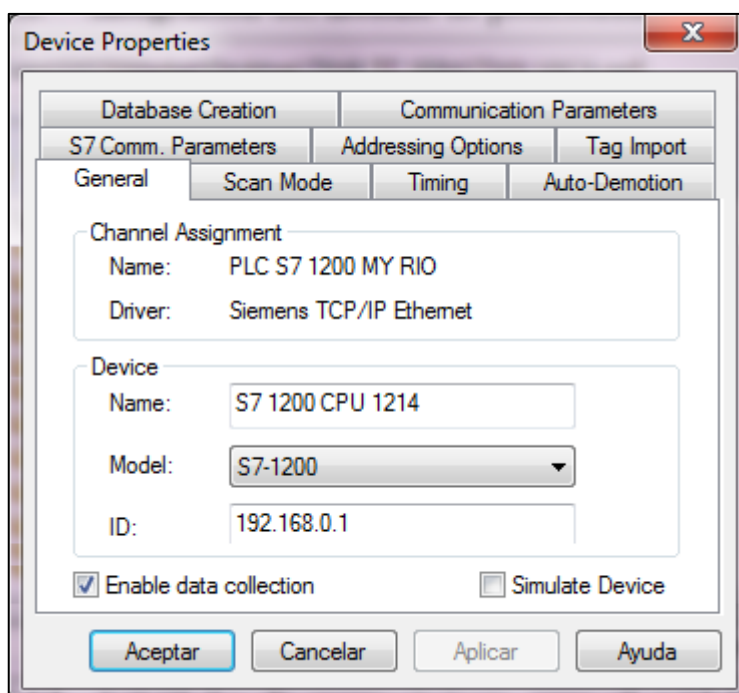


Figura 24-3. Configuración PLC en NI OPC Servers
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

El paso final para establecer la comunicación entre el PLC y LabVIEW es, vincular cualquier control o indicador colocado en el panel frontal del programa, Figura 26-3, con una variable OPC de la librería creada en el proyecto, Figura 27-3.

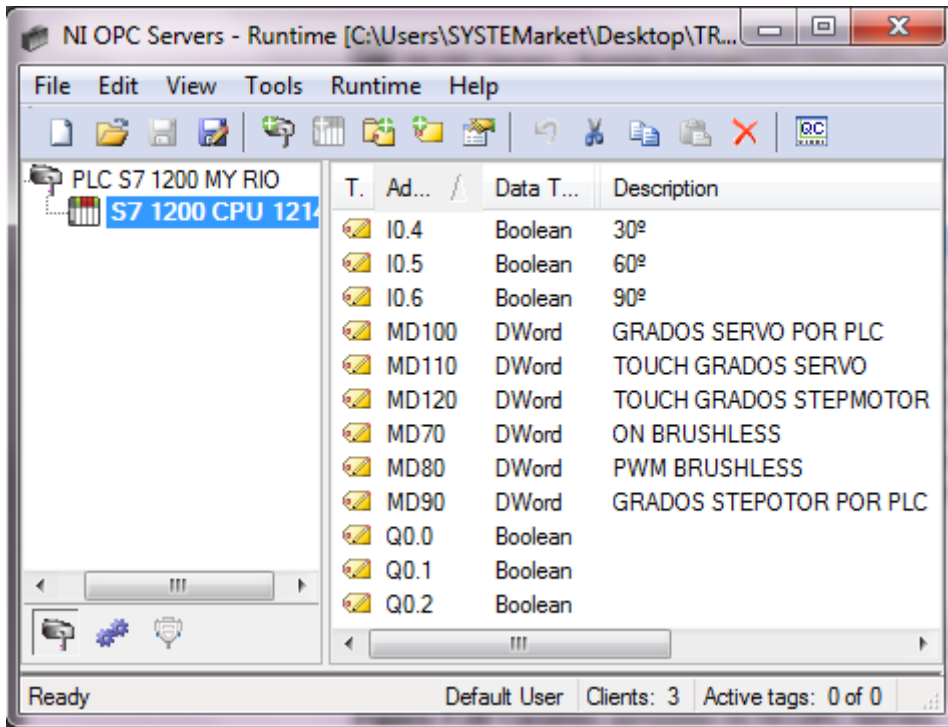


Figura 25-3. Variables agregadas en NI OPC Servers
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

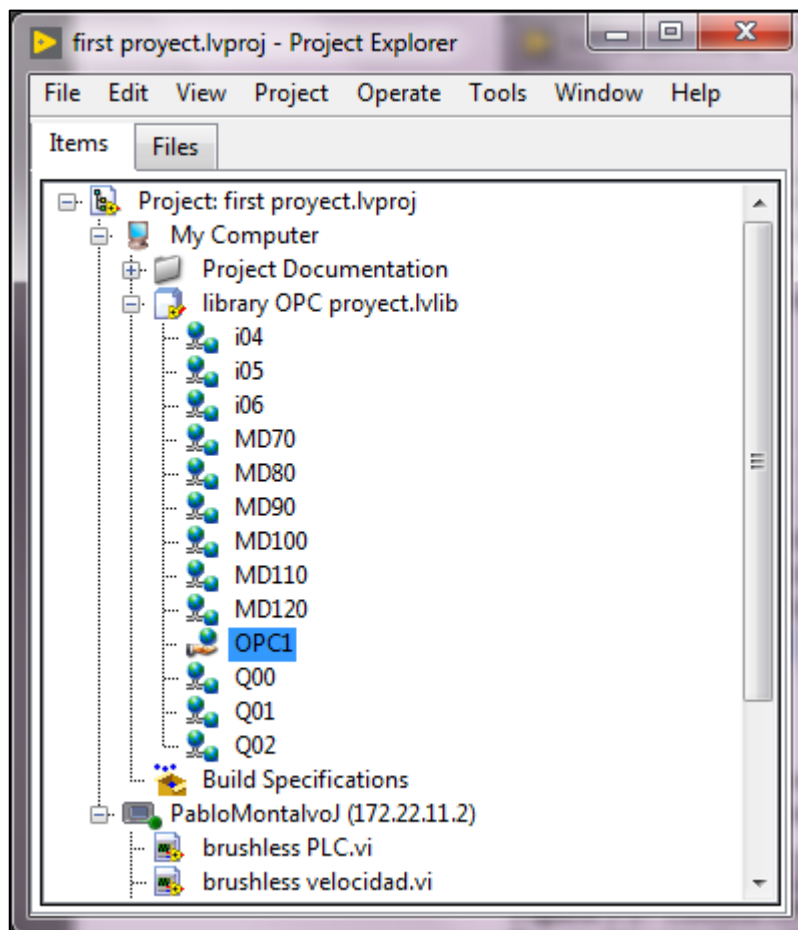


Figura 26-3. Librería OPC en LabVIEW
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

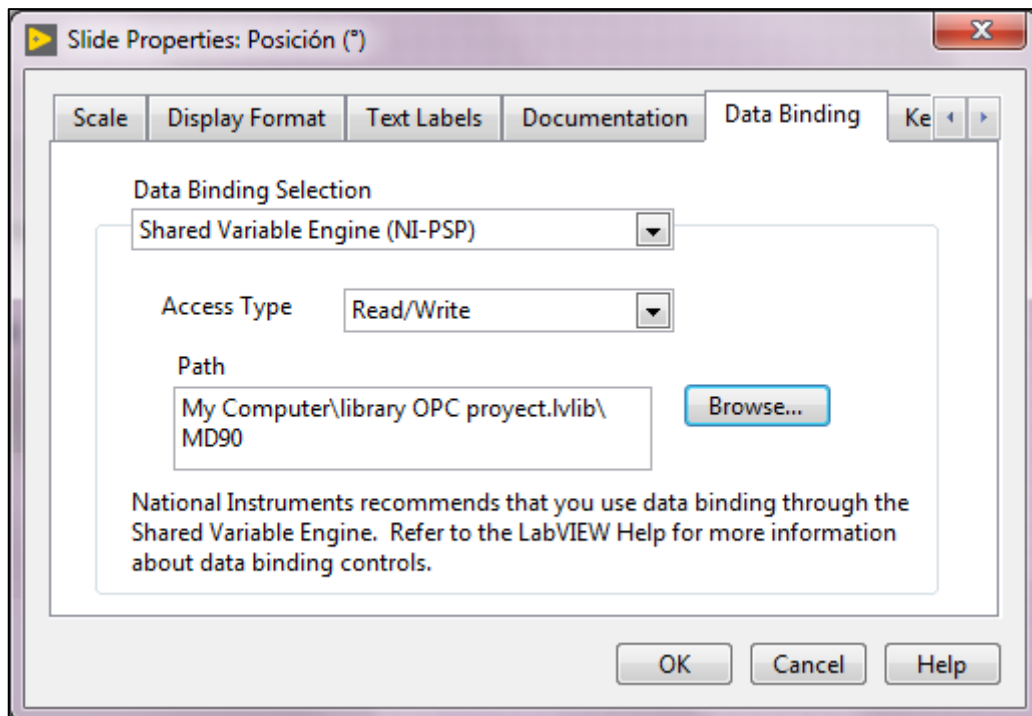


Figura 27-3. Vinculación de elementos con variable OPC
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

3.3.1 Control de posición mediante simulador de señales digitales. – Se utilizó tres interruptores del simulador de señales digitales que activan un valor numérico fijo, Figura 28-3, la suma numérica de los valores es asignada a una memoria interna del PLC del tipo MD, y es leída por el PC.

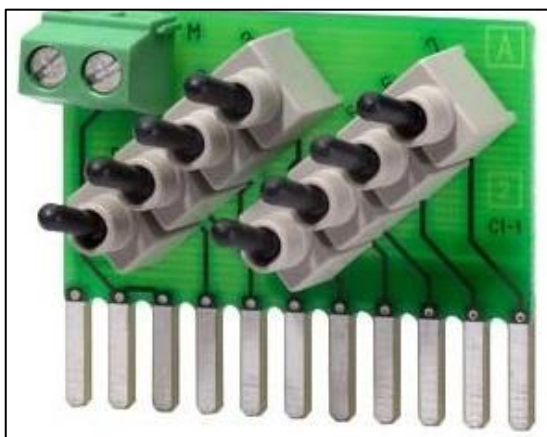


Figura 28-3. Simulador de señales digitales
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Control de posición del servo motor. – En el software TIA Portal V13 se creó un programa que asigna un valor numérico a la memoria MD90 al recibir la señal en cualquiera de las tres entradas digitales utilizadas, Figura 29-3.

Se trabajó con las entradas digitales I0.4, I0.5 e I0.6, mismas que al activarse asignan valores numéricos de 30, 60 y 90 a memorias internas del PLC, además activan las salidas físicas Q0.0, Q0.1 y Q0.2.

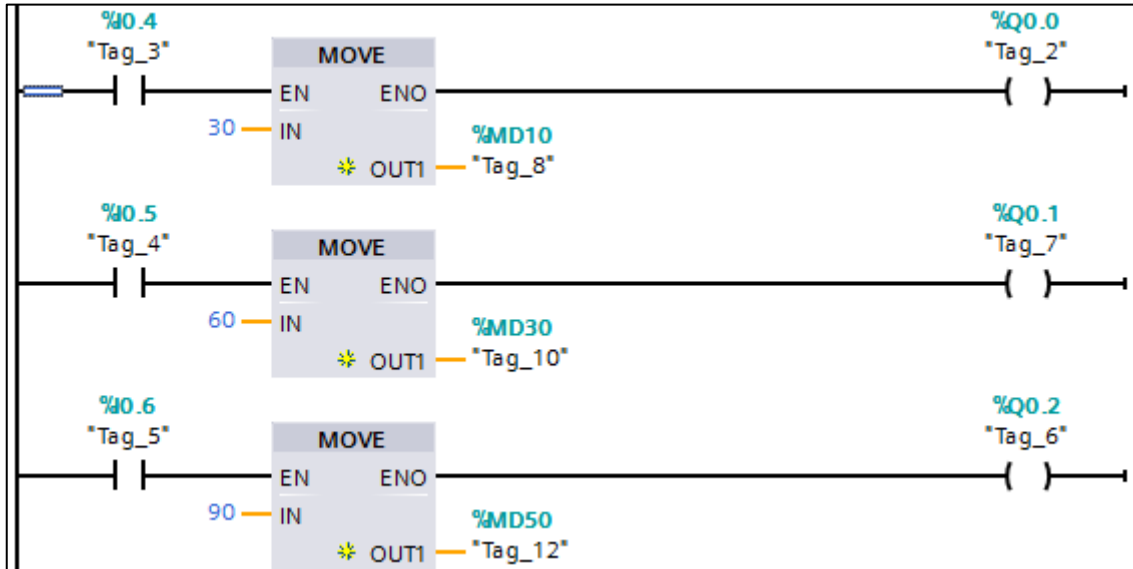


Figura 29-3. Asignación de valor numérico por entradas digitales
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Estos valores se ingresan a un bloque suma y el resultado de dicho bloque, es asignado a la memoria MD90, Figura 30-3, procesado por el computador, y vinculado al elemento de entrada del VI que controla el ángulo de giro del servomotor, Figura 31-3.

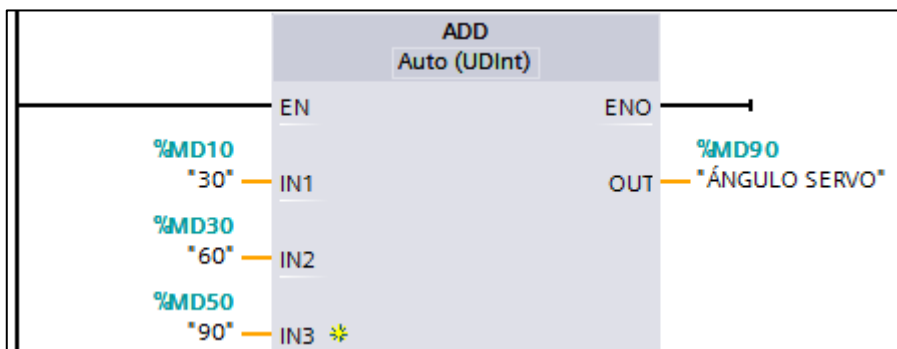


Figura 30-3. Asignación de valor numérico a entradas digitales
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Mediante las combinaciones binarias realizadas con los tres interruptores del simulador de señales digitales se puede obtener una variación de giro del servomotor entre 0 y 180° con pasos fijos de mínimo 30°.

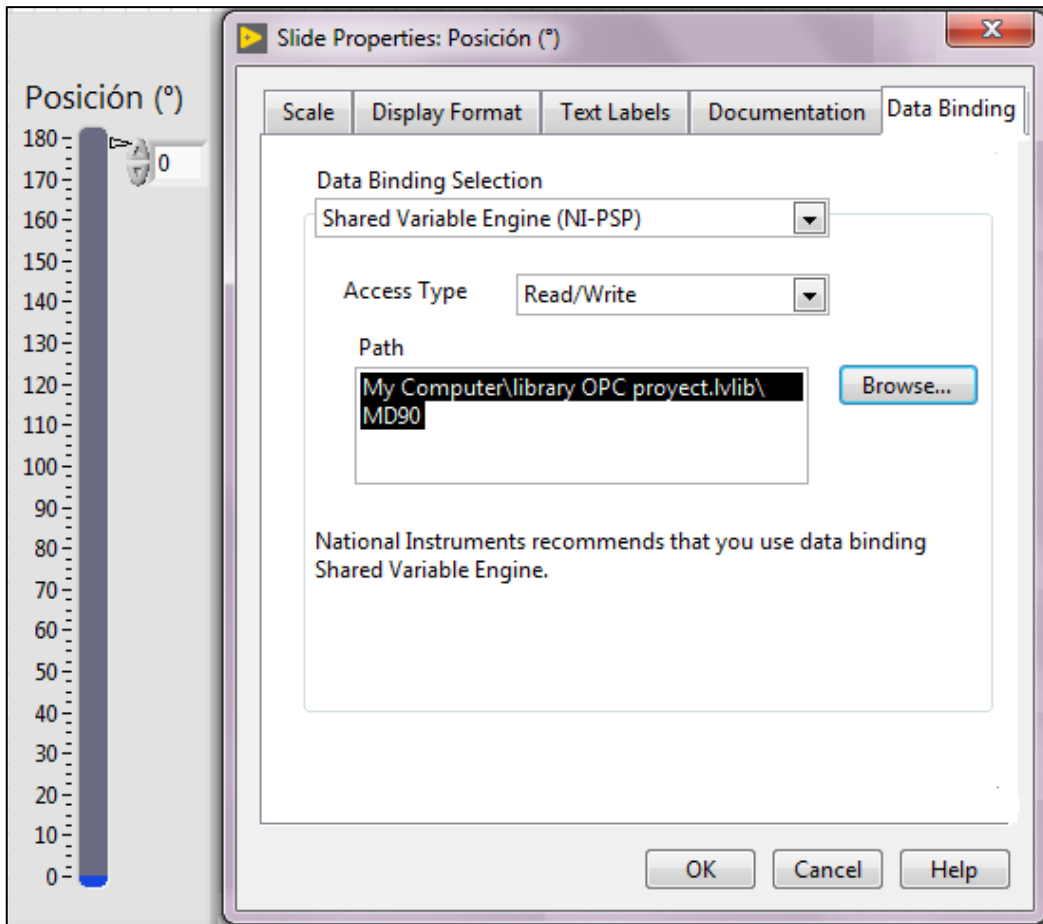


Figura 31-3. Vinculación del control de posición con memoria MD90
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Control de posición del motor de pasos. – En el programa creado en TIA Portal para el control de posición del servomotor, se agregó un bloque que duplica los valores generados por el simulador de señales, y este valor es asignado a la memoria MD100, que es procesada mediante OPC Servers y se vincula con el elemento de entrada del VI que asigna el ángulo de giro del motor de pasos, Figura 32-3.

Al vincularse esta memoria con el elemento de control de ángulo de giro, permite asignar al motor de pasos giros de hasta 360° con variaciones fijas mínimas de 60°, Figura 33-3, dependiendo de las combinaciones binarias que se apliquen o configuren mediante los tres interruptores utilizados.

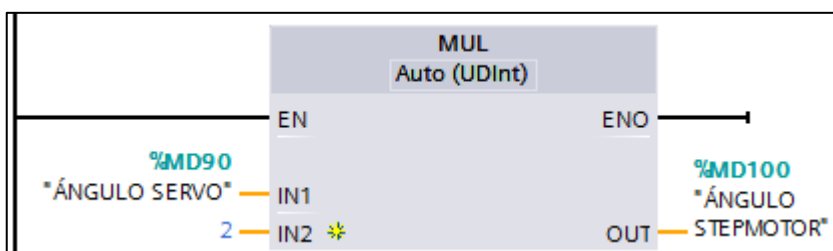


Figura 32-3. Ángulo de giro motor de pasos con MD100
 Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

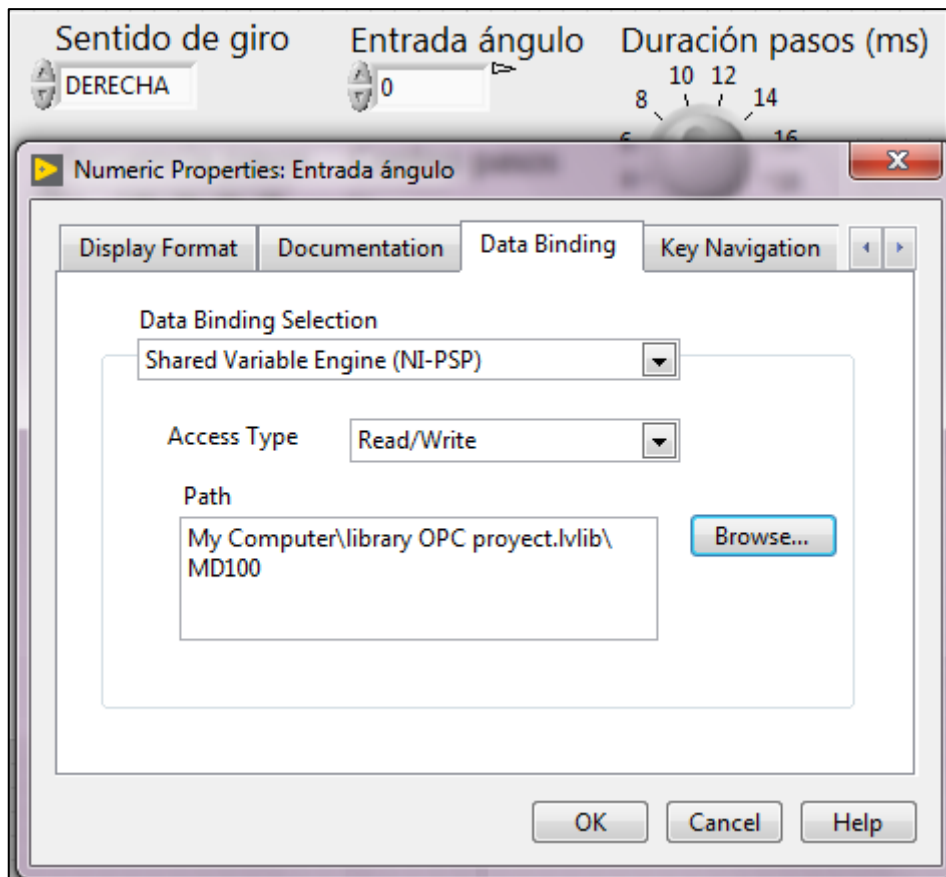


Figura 33-3. Vinculación del control de posición con memoria MD100
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

3.3.2 Control de posición mediante Touch Panel. – Se colocaron elementos de entrada/salida en una imagen del Touch Panel, que permiten ingresar los valores de ángulos de giro, que se asignan a memorias internas del PLC para ser procesados por el computador, y ser vinculados a los elementos de entrada de control de posición en el VI correspondiente para cada motor.

Además, se colocaron elementos tipo barra con los rangos de los valores posibles o admisibles de giro de cada motor, y se creó restricciones para bloquear ángulos de giro fuera del rango admitido por los motores, ya que la señal emitida de PWM podría dañar a los mismos.

La Figura 34-3 muestra la vista principal del Touch panel, en la cual a través de los botones F1, F2 y F3, se puede acceder a las pantallas de control de los motores servomotor, motor de pasos y motor brushless respectivamente.

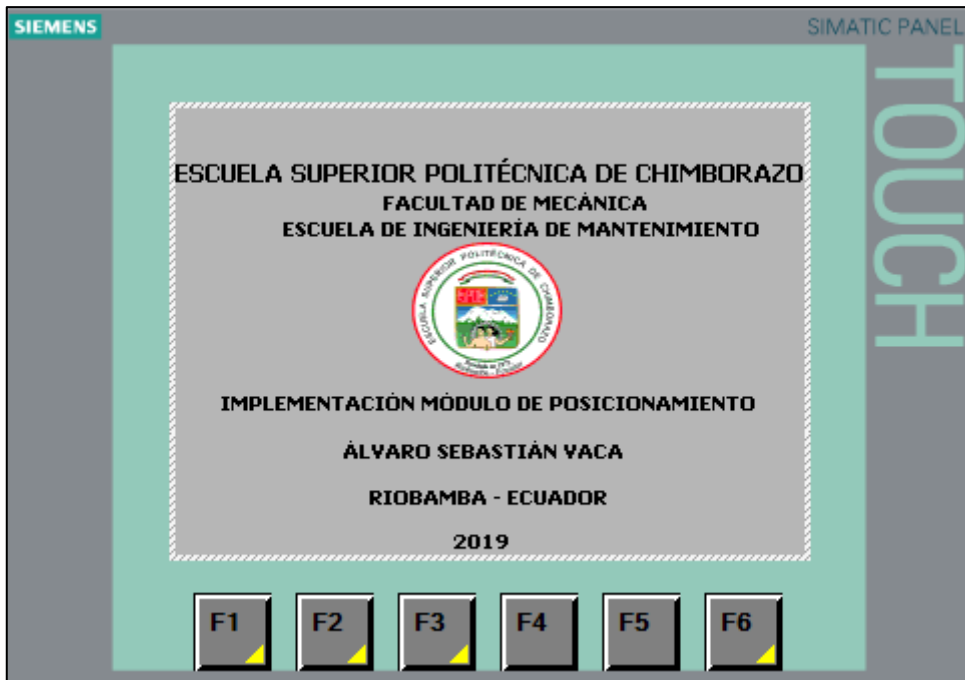


Figura 34-3. Touch Panel Imagen Raíz
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Control de posición servo desde Touch panel. – Se vinculó el elemento de entrada colocado en el Touch Panel con la memoria interna del PLC “MD20”, y se agregó un bloque al programa de TIA Portal para la restricción o asignación del rango admisible de valores que se instauran a la memoria MD10, Figura 35-3, y que se vincularán al elemento de entrada para control de posición del servomotor en el VI correspondiente. Los valores admisibles para el servomotor se encuentran dentro del rango 0 a 180°.

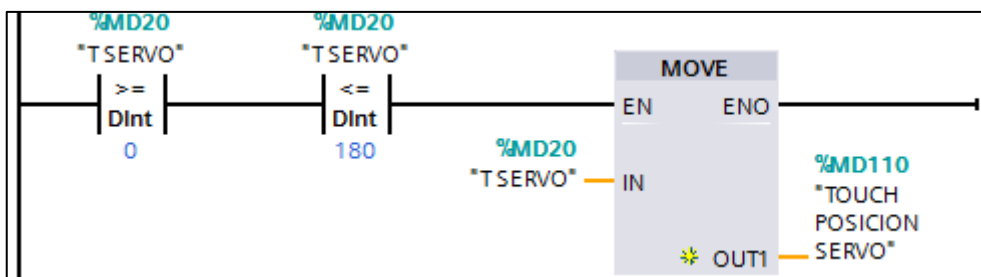


Figura 35-3. Restricción ángulo de giro servo
Fuente: Sebastián Vaca, 2019

El elemento barra del Touch Panel se entrelazó con la memoria MD110 para verificar el ángulo de giro asignado que está siendo enviado al VI de LabVIEW para el control, Figura 36-3.

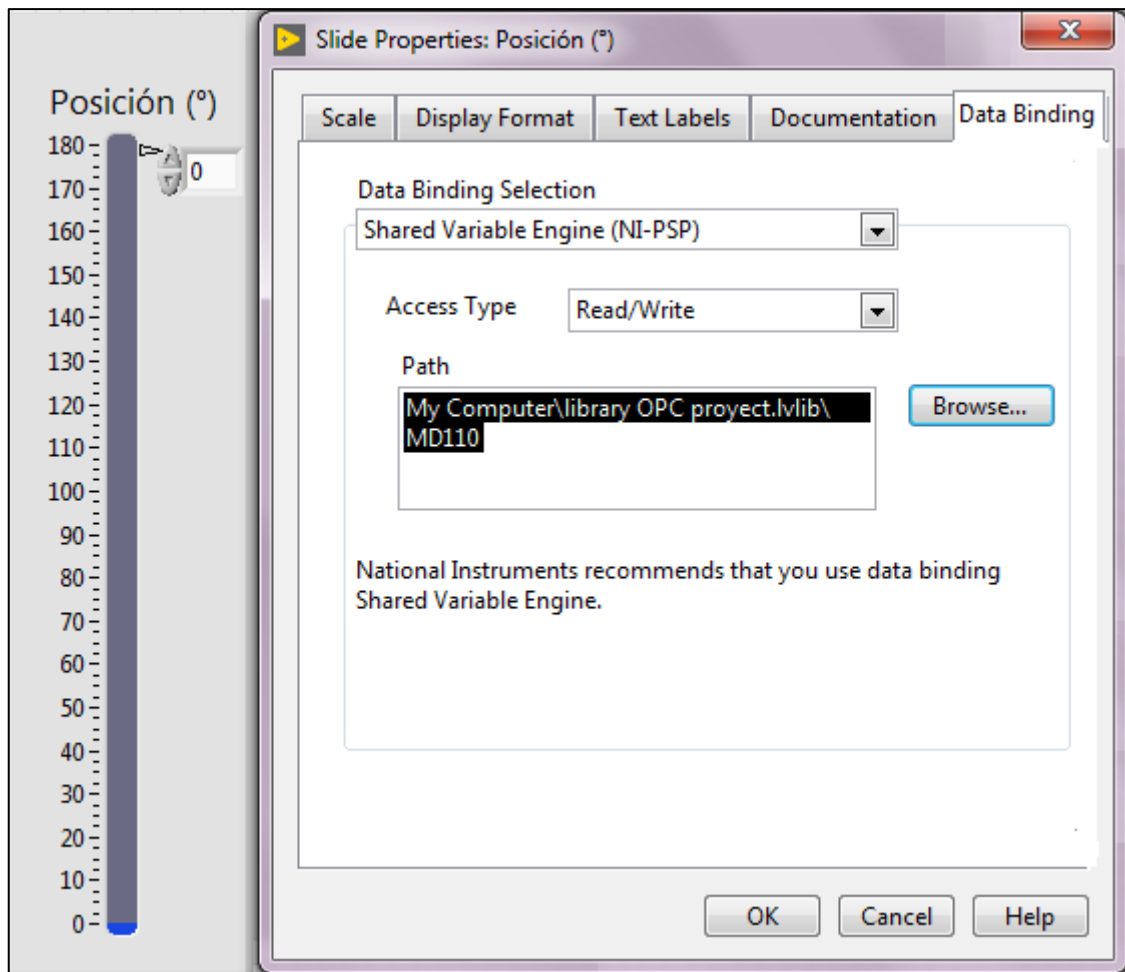


Figura 36-3. Vinculación del control de posición con memoria MD110

Fuente: Sebastián Vaca, 2019

Control de posición motor de pasos desde Touch panel. – Se vinculó el elemento de entrada colocado en el Touch Panel con la memoria interna del PLC “MD40”, y se agregó un bloque al programa de TIA Portal para la restricción o asignación del rango admisible de valores que se instauran a la memoria MD120, Figura 37-3, y que se vincularán al elemento de entrada para control de ángulo de giro del motor de pasos en el VI correspondiente. Se generan valores de giro de máximo de 360° por pulsación.

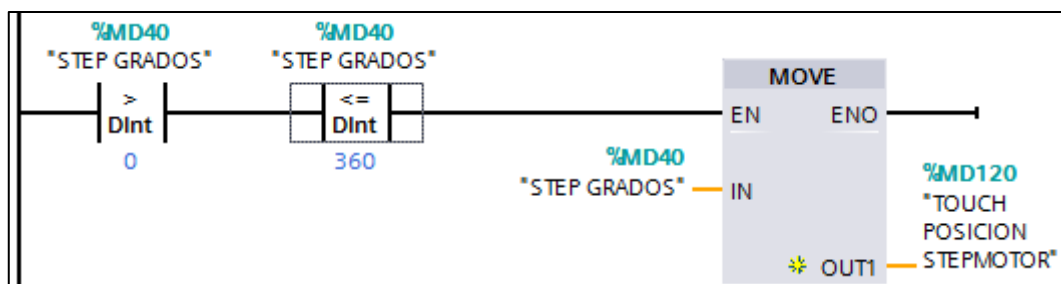


Figura 37-3. Restricción ángulo de giro servo

Fuente: Sebastián Vaca, 2019.

El VI para el control de posición del motor de pasos debe recibir el ángulo por un pequeño tiempo o pulsación y luego resetearse a 0°, Figura 38-3, por lo cual se creó otro segmento en el programa de PLC que cumpla dicha función.

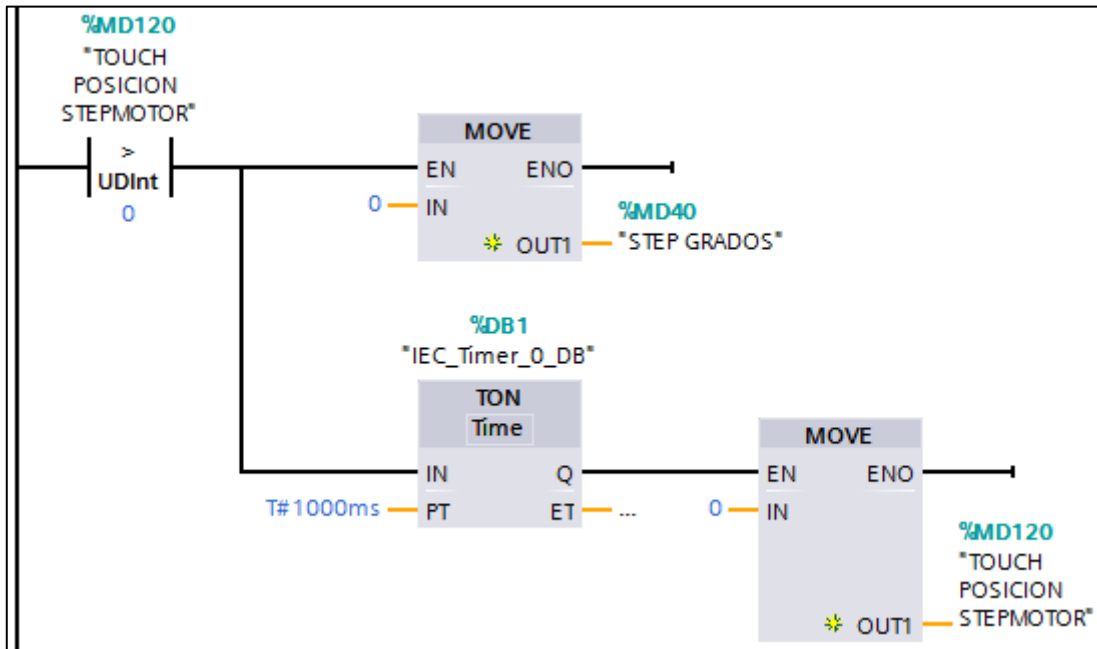


Figura 38-3. Reseteo memorias correspondientes al ángulo de giro asignado

Fuente: Sebastián Vaca, 2019

El control numérico creado en el Touch panel con la designación “velocidad” y vinculado a la memoria MD140, Figura 39-3, controla el tiempo de duración de cada paso o señal digital enviada al motor, correspondiendo 10 ms a la velocidad nominal de 1,45 RPM, y que permite variar las misma entre 5 y 15 ms de duración de pasos, dando una velocidad final comprendida entre 0,95 y 2,9 RPM.

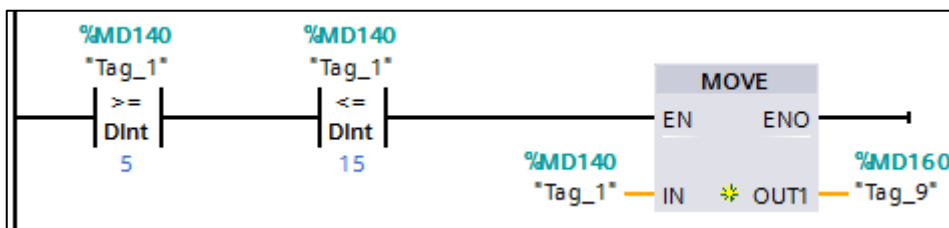


Figura 39-3. Restricción valores de velocidad admitidos

Fuente: Sebastián Vaca, 2019

Si el valor ingresado en el Touch está dentro del rango admisible, se transfiere dicho valor a la memoria MD160, misma que se vincula al elemento de control de velocidad del VI del motor brushless.

Para visualizar las RPM en el Touch panel se vincula el elemento barra y elemento RPM del Touch panel con el resultado de la operación matemática asignado a la memoria MD220, Figura 40-3.

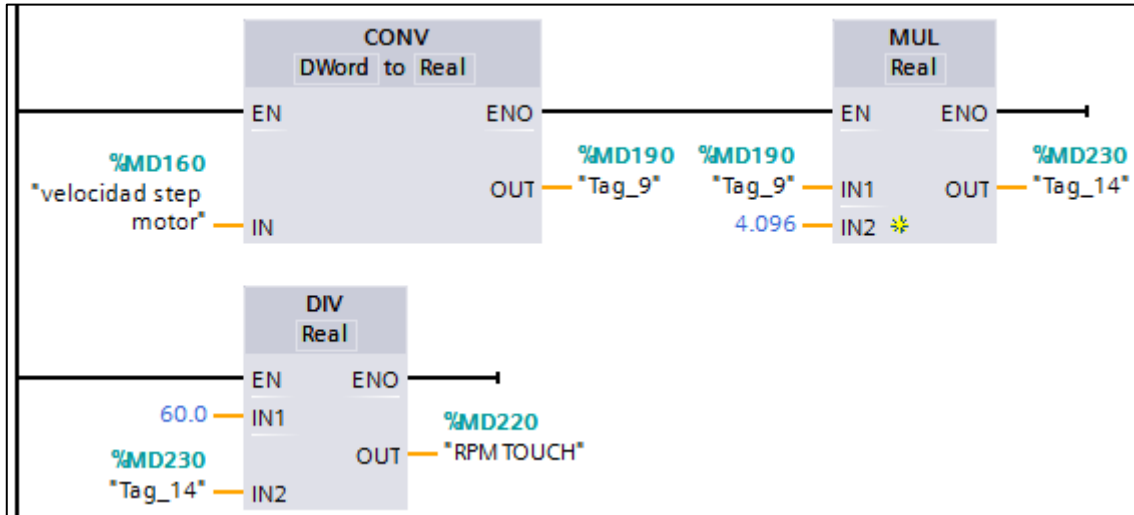


Figura 40-3. Operaciones obtención de RPM
Fuente: Sebastián Vaca, 2019

En las Figuras 41-3 y 42-3 se muestran las pantallas de control para el servomotor y para el motor de pasos del módulo de posicionamiento. Dichas pantallas permiten ingresar el ángulo de giro deseado, lo envían a LabVIEW, que a su vez transmite los valores a la tarjeta MyRIO.



Figura 41-3. Imagen control del servomotor desde Touch panel
Fuente: Sebastián Vaca, 2019.



Figura 42-3. Imagen control del motor de pasos desde Touch panel
Fuente: Sebastián Vaca, 2019.

3.3.3 Control de brushless desde Touch Panel. – Se colocaron elementos de entrada/salida en una imagen del Touch Panel, Figura 44-3, que permiten ingresar los valores para iniciar el funcionamiento del motor brushless (M0.0) a velocidad mínima, Figura 43-3, y variar la misma (MD200) dentro de un rango permisible comprendido entre las 5000 y 10000 RPM.

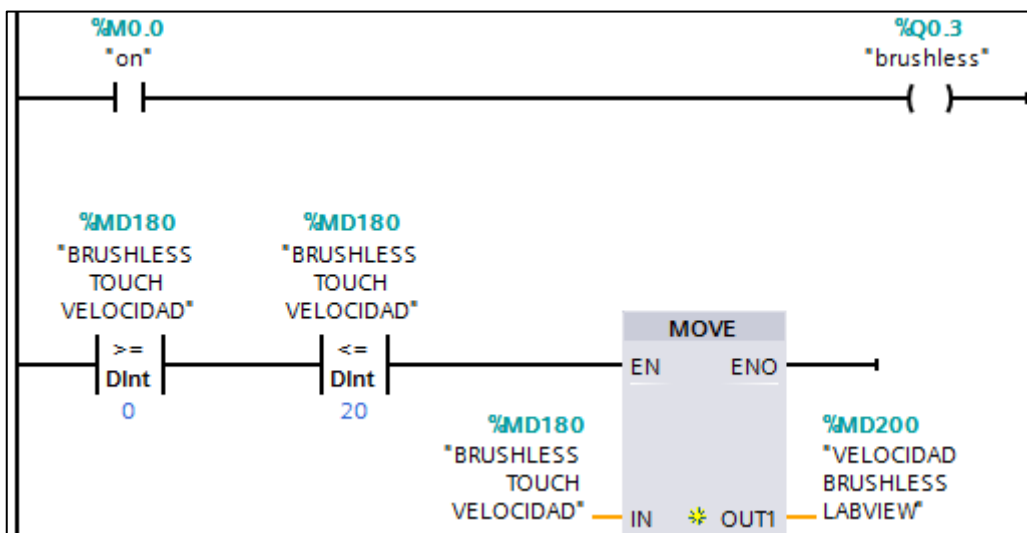


Figura 43-3. Segmento control brushless desde PLC
Fuente: Sebastián Vaca, 2019



Figura 44-3. Imagen para control del motor brushless desde Touch panel
Fuente: Sebastián Vaca, 2019

3.4 Consideraciones técnicas de uso y mantenimiento.

Para garantizar el buen funcionamiento de los elementos que integran el módulo se plantea el desarrollo, y socialización con encargados y usuarios del proyecto la documentación que incluye normativa de seguridad, guía y recomendaciones de utilización, y plan de mantenimiento. Además, de la ejecución de un Check List operativo, a llevarse a cabo previo a cada utilización de los equipos.

3.4.1 Normativa de seguridad. - Para garantizar la seguridad de los usuarios y asegurar el buen funcionamiento de los equipos utilizados se establece normas de seguridad, mismas que se detallan a continuación.

- No realice actividades de mantenimiento cuando los equipos se encuentren energizados.
- Previamente a la utilización de los equipos, asegúrese que el área de trabajo se encuentre limpia, y libre de objetos y sustancias que puedan ocasionar incidentes. Un ambiente limpio y sin humedad, es óptimo y recomendable.

- No utilice cables de conexión, o fuentes de alimentación con cables y conectores en mal estado, con rajaduras, cables sueltos, etc. La utilización de los mismos, implica un riesgo elevado para las personas y para los equipos.
- No manipule los módulos sin la previa capacitación y reconocimiento de los parámetros de funcionamiento de los elementos, verifique minuciosamente los diagramas de conexión planteado.
- Compruebe los voltajes de alimentación requerido por los equipos y regule el valor requerido en la fuente de alimentación, proceda a energizarlos.
- Utilice la fuente de alimentación propia del módulo. Si se utiliza otro tipo de fuente asegúrese que el voltaje y la polaridad de alimentación sean los adecuados.
- Los equipos pueden ser utilizados por estudiantes bajo la supervisión de un tutor o responsable. En caso de encontrar una anomalía en el módulo, reporte al encargado de laboratorio. Las actividades de mantenimiento solo deben ser realizadas por personal calificado y autorizado.

3.4.2 Guía y recomendaciones de utilización de los equipos. - El módulo trabaja con dos voltajes de potencia diferentes, para facilitar la utilización del mismo se plantean las siguientes recomendaciones.

- Conecte la alimentación eléctrica de la tarjeta MyRIO, y conecte la tarjeta al computador, proceda a abrir el proyecto de LabVIEW desarrollado para el control de posición y velocidad de los elementos del módulo.
- Entrelace los pines correspondientes de la tarjeta MyRIO con los pines específicos del módulo de posicionamiento tal como se muestra en la Figura 3-3. Ajuste los tornillos que sujetan los cables de control y señal al módulo sin ejercer demasiada fuerza sobre los mismos y con un destornillador adecuado.
- El servomotor y el motor de pasos trabajan a 5 Vcd, coloque el valor específico en la fuente y proceda a conectarla al módulo. Después de energizar el módulo puede utilizar cualquiera de los motores desde el VI de control correspondiente.

- El motor brushless se energiza a 12 Vcd, y debe recibir un ciclo de trabajo inicial de 1000 μ s, por lo cual es necesario ejecutar primero el VI de control correspondiente al motor, y luego proceder a energizarlo con el voltaje correspondiente para setear el funcionamiento del motor.
- Asegúrese de que los equipos que funcionan dentro de la red Ethernet se encuentran enlazados al verificar el estado de conexión de los mismos con los puertos del Switch.
- El motor brushless se caracteriza por tener una gran potencia, misma que se disminuyó en el módulo y configuró en lo VI de control. Utilice revoluciones bajas de giro para disminuir el consumo de energía y precautelar el bienestar del equipo.
- Por la baja velocidad del motor de pasos, ingrese valores bajos de ángulo de giro para optimizar el tiempo que demora la verificación de ejecución del mismo.

3.4.3 Plan de mantenimiento. – Para el desarrollo del plan de mantenimiento se parte del inventario de los equipos, se engloban las respectivas tareas de mantenimiento realizadas a cada elemento y finalmente se sintetizan conjuntamente con la frecuencia de realización de cada actividad en una tabla que muestra el plan completo. La siguiente tabla 5-3 muestra los equipos considerados y englobados dentro del plan de mantenimiento.

Tabla 5-3: Inventario de equipos

Ítem	Equipo	Cantidad
1	Módulo de posicionamiento.	1
2	Módulo de PLC con Touch Panel.	1
3	Tarjeta MyRIO 1900.	1
4	Tarjeta de expansión de entradas/salidas para MyRIO.	1
5	Cable de poder 110 Vca.	1
6	Cable de red Ethernet.	1
7	Fuente de poder 5 – 12 Vcd.	1
8	Fuente de poder MyRIO.	1
9	Cables de conexión de control.	10
10	Cable serie de comunicación MyRIO.	1

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

En la Figura 45-3 se muestran todos los elementos que integran y cumplen una función para el control de posición desde un Touch panel, con conexión a una tarjeta MyRIO utilizando el software LabVIEW.

Las tareas de mantenimiento se desglosan dependiendo los elementos y equipos requeridos para la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta, la estructura de la red, y que los equipos se hallan sujetos a las personas responsables de laboratorio que deben garantizar el estado óptimo de

funcionamiento de los equipos en el transcurso del semestre de clases para la utilización de los mismos en el proceso de enseñanza.

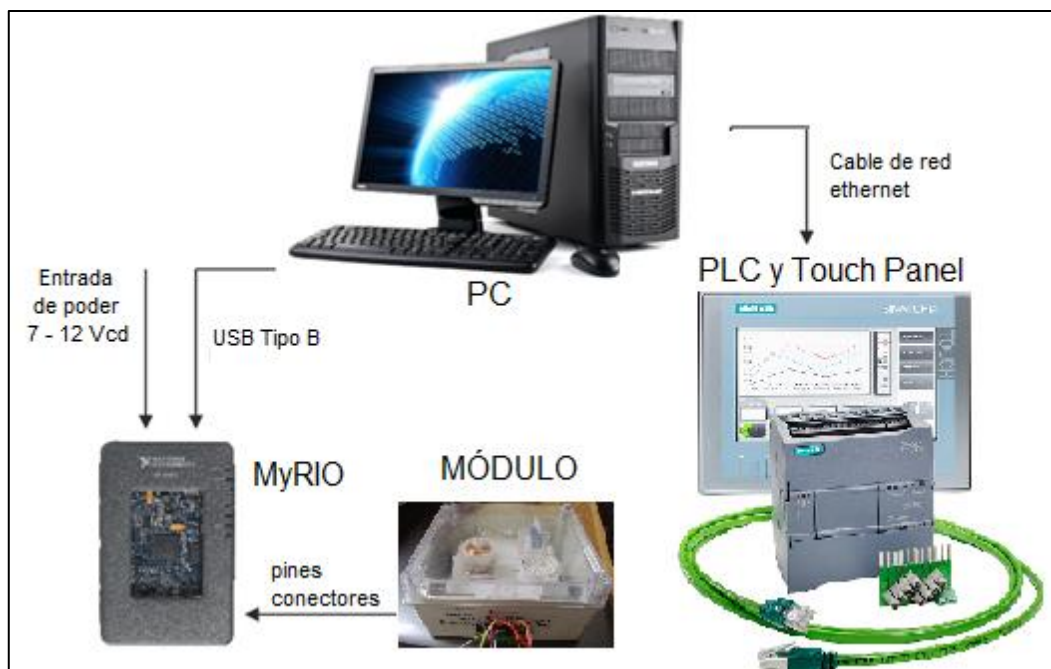


Figura 45-3. Estructura de red
Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Tabla 6-3: Tareas de mantenimiento por elemento principal

Ítem	Tarea	Frecuencia	Materiales	Mano de obra (H/H)
Módulo de posicionamiento.				
1	Inspección del estado físico externo del módulo, limpieza.	Semestral	-	1/12
	Inspección y limpieza de los cables de conexión de control y señal entre dispositivos.	Semestral	Limpiador de contactos, franela	1/6
	Revisión del estado de la fuente de alimentación, su cable y conector.	Semestral	-	1/12
	Pruebas de funcionamiento de los elementos que componen el módulo.	Semestral	-	1/4
Tarjeta MyRIO				
2	Inspección del estado físico externo de la tarjeta, puerto por puerto, limpieza total externa.	Semestral	-	1/12
	Revisión del estado de la fuente de alimentación, su cable y conector.	Semestral	-	1/12
	Revisión del estado del cable de conexión al PC.	Semestral	-	1/12

Ítem	Tarea	Frecuencia	Materiales	Mano de obra (H/H)
	Inspección y prueba de funcionamiento de la tarjeta de expansión de entradas digitales/analógicas.	Semestral	-	1/4
	Pruebas de funcionamiento de las características de cada función de la tarjeta MyRIO.	Semestral	-	1/4
Módulo de PLC y Touch Panel				
3	Inspección, y limpieza total interna y externa del módulo	Semestral	Limpiador de contactos, franela	1/6
	Reajuste de tornillos y pernos de todos los elementos internos, en borneras o entradas/salidas de variables físicas.	Semestral	-	1/12
	Inspección del estado de los cables y conectores de red.	Semestral	-	1/12
	Registro de estado de funciones PLC.	Semestral	-	1/6

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

En general se toman las recomendaciones del fabricante para establecer las tareas y frecuencias de las actividades de mantenimiento, pero al ser equipos de laboratorio se encuentran sometidos a riesgos por la utilización frecuente en el proceso de aprendizaje, se complementa con el Check List.

Las actividades mencionadas se engloban dentro de un plan, conjuntamente con los recursos y materiales necesarios para la ejecución de la tarea, y las frecuencias de ejecución por actividad. Es aconsejable realizar las actualizaciones de firmware del PLC, y Touch Panel según amerite el software.

Las reparaciones menores que sean necesarias en el periodo de utilización de los equipos, se encuentran sujetas a disponibilidad de tiempo de los encargados y stock de repuestos y materiales necesarios. Cualquier incidencia o situación en los equipos, será identificada y reportada al encargado.

3.4.4 Check List. - El encargado de la ejecución del Check List son los estudiantes que procedan a utilizar los equipos.

El tiempo de ejecución de la lista de verificación no debe tomar más de 15 minutos, al ser completada, debe emitirse un registro e informar de inmediato al responsable en caso de detectarse anomalías.

Tabla 7-3 Check List

CHECKLIST				
Equipo: Módulo se servo posicionamiento		Frecuencia: Previo al uso del equipo.		
Fecha: 29/07/2019		T. Estimado: 15 min		
Realizado por: Sebastián Vaca		T. Real: 12 min		
Ítem	Descripción tarea	Cumple		Observaciones
		Si	No	
1	Las fuentes de alimentación, cables y conectores muestran señales de encontrarse en buen estado.	X		
2	Las borneras de conexión se encuentran en buen estado y libre de cualquier elemento extraño en ellas.	X		
3	Los cables de conexión con pines de 1,5 mm se encuentran en buen estado.	X		
4	El cable de poder muestra condiciones óptimas para funcionamiento.	X		
5	Todos los elementos ethernet registran conexión en el Switch Siemens.	X		
6	Los equipos externamente se encuentran libres de abolladuras, rajaduras o signos de rotura.	X		
Responsable:				

Firma				

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

3.5 Planteamiento de prácticas de laboratorio.

Se plantean las guías para el desarrollo de prácticas de laboratorio a desarrollarse con el módulo de servo posicionamiento, la estructura de cada guía de laboratorio (**Anexo A**) incluye los siguientes contenidos:

- Datos generales. - Tema, nombres, fechas de realización y entrega
- Objetivos. - General y específicos.
- Metodología. - Instrucciones
- Desarrollo. - Equipos y recursos a utilizar, procedimiento de la práctica.
- Resultados obtenidos.
- Conclusiones.

Las siguientes tablas reflejan los temas y los objetivos a ser alcanzados por los estudiantes tras el desarrollo de las prácticas de laboratorio planteadas.

Tabla 8-3: Practica N° 01 Objetivos

TEMA:	Control de posición de un servomotor desde un Touch panel con MyRIO y LabVIEW.
OBJETIVOS	Objetivo General: Realizar el control de posición de un servomotor integrando PLC, Touch Panel desde un PC.
	Objetivos Específicos: Configurar los dispositivos para integrarlos mediante el PC. Realizar los programas de control en LabVIEW para MyRIO, y en TIAPortal para el PLC y Touch panel. Entrenar al estudiante en la utilización de los diferentes equipos electrónicos.

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Tabla 9-3: Practica N° 02 Objetivos

TEMA:	Control de posición de un motor de pasos desde un Touch panel con MyRIO y LabVIEW.
OBJETIVOS	Objetivo General: Realizar el control de posición de un motor de pasos integrando PLC, Touch Panel desde un PC.
	Objetivos Específicos: Configurar los dispositivos para integrarlos mediante el PC. Realizar los programas de control en LabVIEW para MyRIO, y en TIAPortal para el PLC y Touch panel. Entrenar al estudiante en la utilización de los diferentes equipos electrónicos.

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Tabla 10-3: Practica N° 03 Objetivos

TEMA:	Control de velocidad de un motor brushless desde un Touch panel con MyRIO y LabVIEW.
OBJETIVOS	Objetivo General: Realizar el control de velocidad de un motor brushless integrando los diferentes dispositivos.
	Objetivos Específicos: Configurar los dispositivos para integrarlos mediante el PC. Realizar los programas de control en LabVIEW para MyRIO, y en TIAPortal para el PLC y Touch panel. Entrenar al estudiante en la utilización de los diferentes equipos electrónicos.

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Cronograma de trabajo

Tabla 1-4: Actividades desarrolladas cronológicamente

ID	TAREA	INICIO	FIN	DURACIÓN (Días)
1	Realización y aprobación del anteproyecto.	01/02/2019	01/04/2019	60
2	Diseño del módulo de servo posicionamiento.	22/04/2019	29/04/2019	8
3	Búsqueda y establecimiento de materiales necesarios para el módulo	30/04/2019	15/05/2019	16
4	Cotización de materiales y elementos necesarios.	16/05/2019	25/05/2019	10
5	Adquisición de materiales y elementos necesarios.	26/05/2019	27/05/2019	2
6	Elaboración del módulo de servo posicionamiento.	28/05/2019	07/06/2019	11
7	Instalación de software necesario, TIA portal, LabVIEW MyRIO y DSC.	08/06/2019	10/06/2019	3
8	Programación para la comunicación entre LabVIEW, MyRIO y los motores del módulo de servo posicionamiento.	11/06/2019	15/06/2019	5
9	Programación para la integración del módulo con PLC Siemens, LabVIEW, MyRIO y módulo de servo posicionamiento.	16/06/2019	18/06/2019	3
10	Pruebas de funcionamiento individual de los motores.	19/06/2019	28/06/2019	10
11	Calibración del control de posición del servomotor, ajuste de la ecuación lineal.	01/10/2019	11/10/2019	11
12	Comprobación del control de velocidad del motor brushless con tacómetro externo.	05/11/2019	22/11/2019	18
13	Calibración del control de velocidad del motor brushless, reajuste ecuación de funcionamiento y retroalimentación por encoder.	23/11/2019	03/12/2019	11
15	Desarrollo del trabajo escrito	22/04/2019	05/12/2019	228

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

Nota: La realización del trabajo escrito se realizó conjuntamente con el avance gradual de la parte física del proyecto.

4.2 Presupuesto

Los costos de implementación del módulo de posicionamiento engloban los costos o valores directos de materiales y equipos, y costos indirectos que incluyen transporte y documentación.

El valor de costos totales refleja claramente la optimización de recursos en comparación a la adquisición de elementos didácticos o industriales de marcas reconocidas de exuberantes precios y que cumplen con las mismas funciones.

Tabla 2-4: Costos totales de implementación

COSTOS TOTALES			
	Ítem	Cantidad	Costo unitario USD
COSTOS DIRECTOS	Motor brushless	1	30
	Módulo ESC 30 A	1	10
	Servomotor	1	05
	Motor de pasos y controlador	1	10
	Impresiones 3D	1	50
	Caja eléctrica plástica	1	10
	Materiales eléctricos	1	20
	Fuente variable 5 -12 Vcd	1	20
	COSTOS INDIRECTOS	Impresiones	1
	Transporte	1	50
COSTOS TOTALES			255.00 USD

Elaborado por: Sebastián Vaca, 2019

CONCLUSIONES

Se seleccionó los elementos que formarían parte del módulo de posicionamiento, se realizó el diseño del mismo, se ejecutó el montaje y conexión de los equipos.

Se configuró cada dispositivo para el control de posición o velocidad desde el PC, desde el PLC y desde el Touch Panel, creando VI en LabVIEW para la integración de dispositivos, y con la ayuda de TIA Portal se cargó en el PLC y Touch Panel el programa diseñado para dispositivos Siemens.

Se desarrolló dentro de las consideraciones de uso y mantenimiento del módulo una normativa de seguridad, una guía y recomendaciones de utilización y mantenimiento enfocadas a los usuarios garantizando su seguridad y la de los equipos.

Se elaboró un plan de mantenimiento englobando las principales actividades de mantenimiento a ejecutarse individual y conjuntamente en los equipos que forman parte y son necesarios para la ejecución del proyecto.

RECOMENDACIONES

Procure trabajar con los dispositivos implementados en el módulo de posicionamiento a potencias mínimas de consumo energético, esto precautela el buen funcionamiento y durabilidad de los equipos al disminuir el desgaste de los mismos.

Identifique el motor necesario para aplicaciones industriales o didácticas dependiendo de las características inherentes del mismo, y que den cumplimiento a los requerimientos del sistema propuesto.

Se puede agregar varias funciones adicionales desde el PLC dirigidas a procesos industriales o didácticos, e integrarlas con la tarjeta MyRIO a través de LabVIEW utilizando OPC de National Instruments.

BIBLIOGRAFÍA

Carrod electrónica. Productos carrod sensores. [En línea] 2014. [Consulta: 13 julio 2019.] Disponible en: <https://www.carrod.mx/products/optoranura-h21b1-switch-optico-salida-darlington-1>.

CES. *Reglamento de regimen academico*. 22 marzo 2017. RPC-SE-13- No. 051-2013.

Electronilab. Electronilab Servo. [En línea] 2015. [Consulta: 09 julio 2019.] Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/micro-servo-9g-towerpro/>.

LÓPEZ, Javier y MORALES, José. Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores mediante plc con interfaz scada. [En línea] 2014. [Consulta: 09 julio 2019.] Disponible en: <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13477/TFM%20Jos%C3%A9%20Antonio%20Morales%20Ceballos%20y%20Javier%20L%C3%B3pez%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Motores Eléctricos. Motores eléctricos. [En línea] 2013. [Consulta: 13 julio 2019.] Disponible en: <http://motores.nichese.com/brushless.htm>.

National Instruments. ¿Que es una Señal Modulada por Ancho de Pulso (PWM)? [En línea] 2014. [Consulta: 13 julio 2019.] Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/AA1BDEA4AA224E3E86257CE400707527>.

National Instruments. How Do I Communicate to a PLC Using LabVIEW? [En línea] 09 de 05 de 2019. [Consulta: 09 julio 2019.] Disponible en: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019UsjSAE&l=es-EC>.

National Instruments. NI MyRIO 1900 User guide. [En línea] 2015. [Consulta: 10 julio 2019.] Disponible en: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>.

Robots Didácticos. Robots Didácticos. [En línea] 03 de 01 de 2019. [Consulta: 13 julio 2019.] Disponible en: <http://robots-argentina.com.ar/didactica/arduino-motor-paso-apaso-28byj-48-y-modulo-uln2003/>.

Robotshop. UAVs and Drones. [En línea] 2019. [Consulta: 20 julio 2019.] Disponible en: <https://www.robotshop.com/en/uav-brushless-motor-a2212-10-1400kv.html>.

RSC drone good. [En línea] 2019. [Consulta: 13 julio 2019.] Disponible en: <http://www.rcdronegood.com/esc-30a-datasheet/>.



ANEXO A- Guías de laboratorio de laboratorio módulo servo posicionamiento

PRÁCTICA No. 1. - Control de posición de un servomotor desde un Touch panel con MyRIO y LabVIEW.

1. DATOS GENERALES:

GRUPO No.: _____

INTEGRANTES:

CODIGOS:

FECHA DE REALIZACIÓN:

DD/MM/AÑO

FECHA DE ENTREGA:

DD/MM/AÑO

2. OBJETIVOS:

Objetivo general

Realizar el control de posición de un servomotor integrando integrando PLC, Touch Panel desde un PC.

Objetivos específicos

- Configurar los dispositivos para integrarlos mediante el PC.
- Realizar los programas de control en LabVIEW para MyRIO, y en TIAPortal para el PLC y Touch panel.
- Entrenar al estudiante en la utilización de los diferentes equipos electrónicos.

3. INSTRUCCIONES

- Conocer normas de seguridad para la utilización de los equipos.
- La realización de la práctica se debe cumplir en un tiempo máximo de 20 minutos.
- Concentración al momento de realizar las actividades.
- Conocimientos previos de LabVIEW y TIAPortal.



4. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

- Identificar los equipos a utilizar, los pines de conexión de alimentación eléctrica, de control y de comunicación.
- Montar los equipos y realizar las conexiones correspondientes.
- Realizar un VI para la adquisición y control de datos.
- Probar el funcionamiento del circuito.

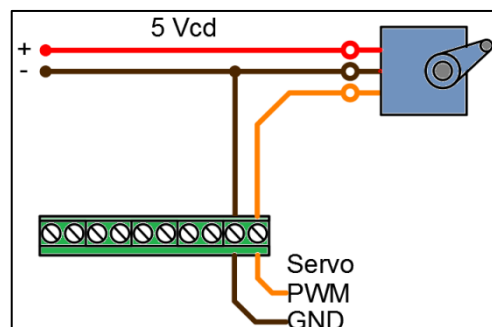
5. DESARROLLO

Materiales y equipos:

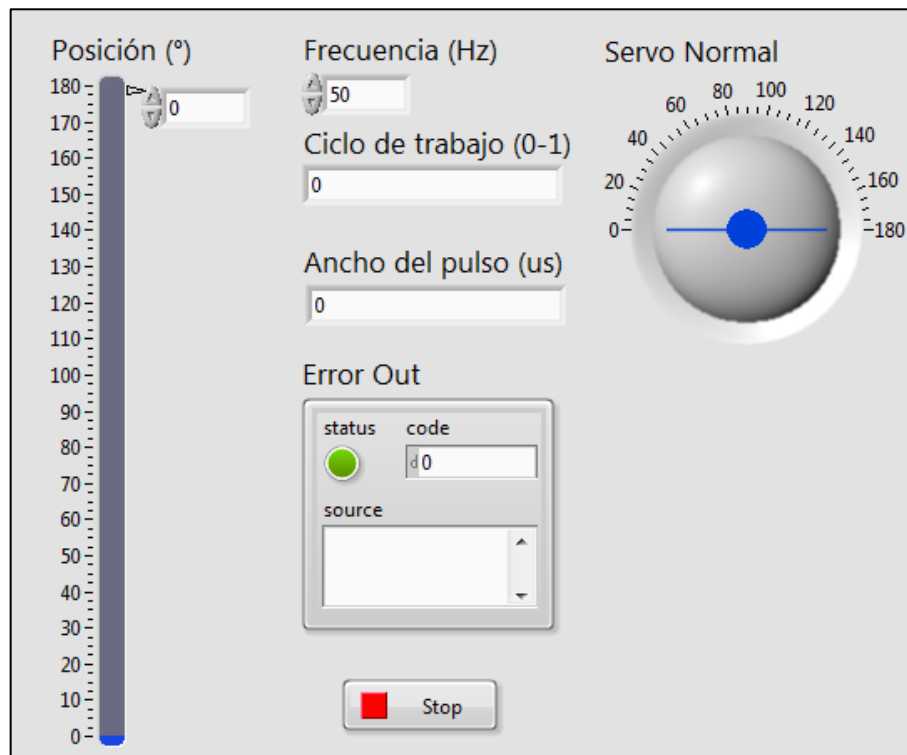
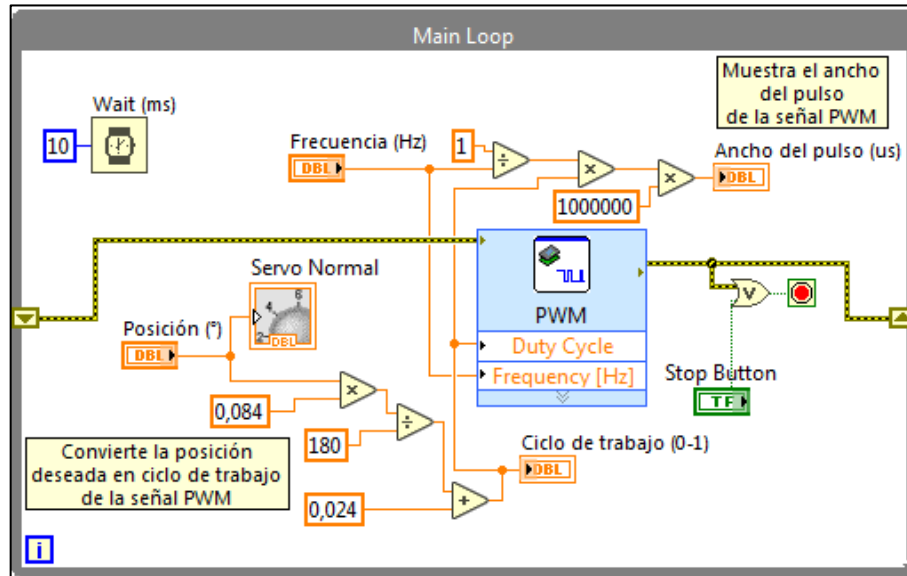
- 1 módulo de servo posicionamiento
- 1 tarjeta MyRIO.
- 1 módulo PLC y Touch panel.
- 1 PC.

Funcionamiento:

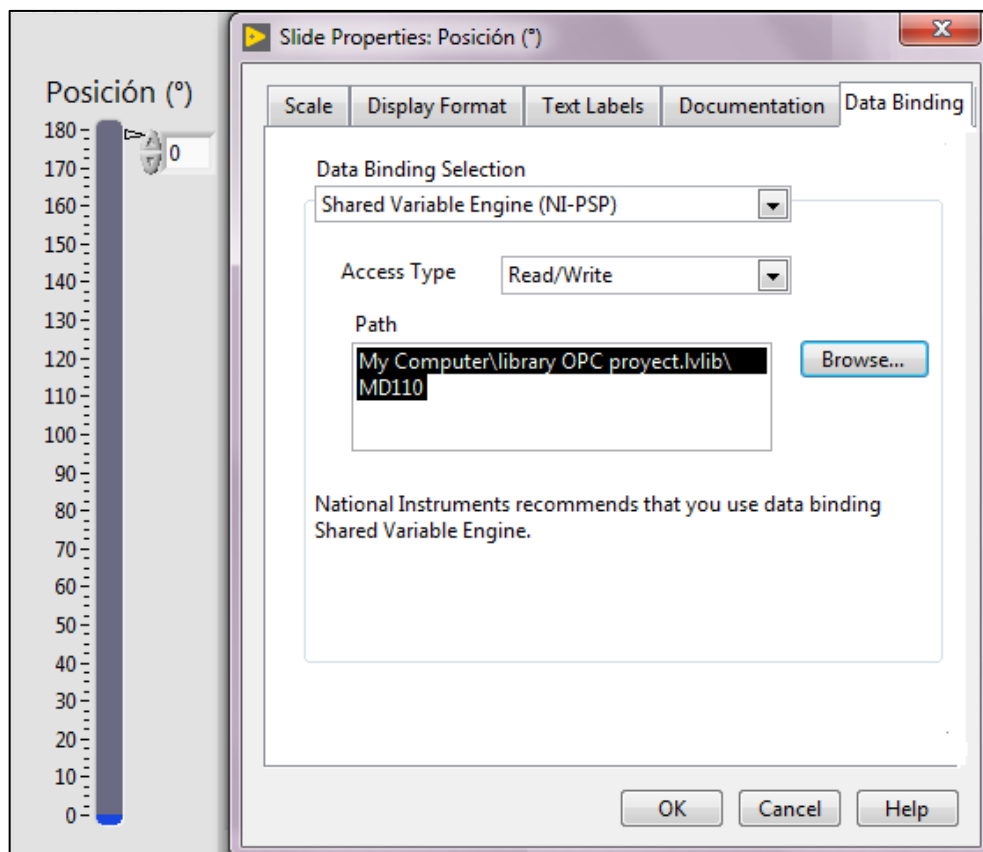
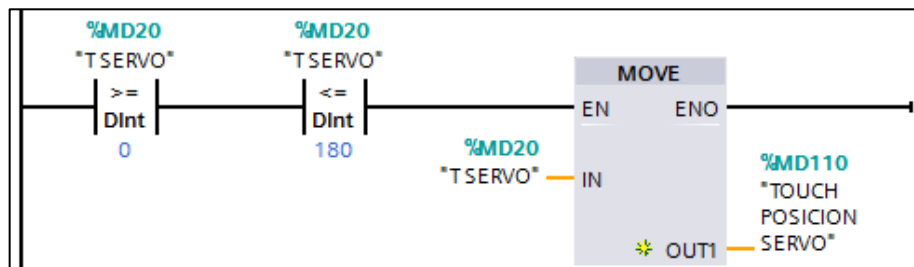
La posición y ángulo de giro del motor se pueden controlar desde un Touch panel o desde LabVIEW en el rango de 0 a 180°, para ello el módulo de posicionamiento se debe energizar en la entrada de 5VCD, y los pines correspondientes a PWM del servo y GND se entrelazan con los pines respectivos de la tarjeta MyRIO.



Se puede utilizar cualquiera de las salidas PWM de la tarjeta MyRIO, realice un VI que permita la conversión de grados, a ciclo de trabajo sabiendo que el servo motor varía de 0 a 180° con un ancho de pulso de 550 a 2000µs respectivamente.



El control desde el Touch vincula la entrada numérica del mismo, al elemento de entrada del ángulo en grados de LabVIEW mediante una memoria MD del PLC, utilizando OPC.





GUÍA DE LABORATORIO DE LABORATORIO MÓDULO SERVO POSICIONAMIENTO

PRÁCTICA No. 2. - Control de posición de un motor de pasos desde un Touch panel con MyRIO y LabVIEW.

1. DATOS GENERALES:

GRUPO No.: _____

INTEGRANTES: _____ **CODIGOS:** _____

FECHA DE REALIZACIÓN:

DD/MM/AÑO

FECHA DE ENTREGA:

DD/MM/AÑO

2. OBJETIVOS:

Objetivo general

Realizar el control de posición de un motor de pasos integrando PLC, Touch Panel desde un PC.

Objetivos específicos

- Configurar los dispositivos para integrarlos mediante el PC.
- Realizar los programas de control en LabVIEW para MyRIO, y en TIAPortal para el PLC y Touch panel.
- Entrenar al estudiante en la utilización de los diferentes equipos electrónicos.

3. INSTRUCCIONES

- Conocer normas de seguridad para la utilización de los equipos.
- La realización de la práctica se debe cumplir en un tiempo máximo de 20 minutos.
- Concentración al momento de realizar las actividades.
- Conocimientos previos de LabVIEW y TIAPortal.



4. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

- e. Identificar los equipos a utilizar, los pines de conexión de alimentación eléctrica, de control y de comunicación.
- f. Montar los equipos y realizar las conexiones correspondientes.
- g. Realizar un VI para la adquisición y control de datos.
- h. Probar el funcionamiento del circuito.

5. DESARROLLO

Materiales y equipos:

1 módulo de servo posicionamiento

1 tarjeta MyRIO.

1 módulo PLC y Touch panel.

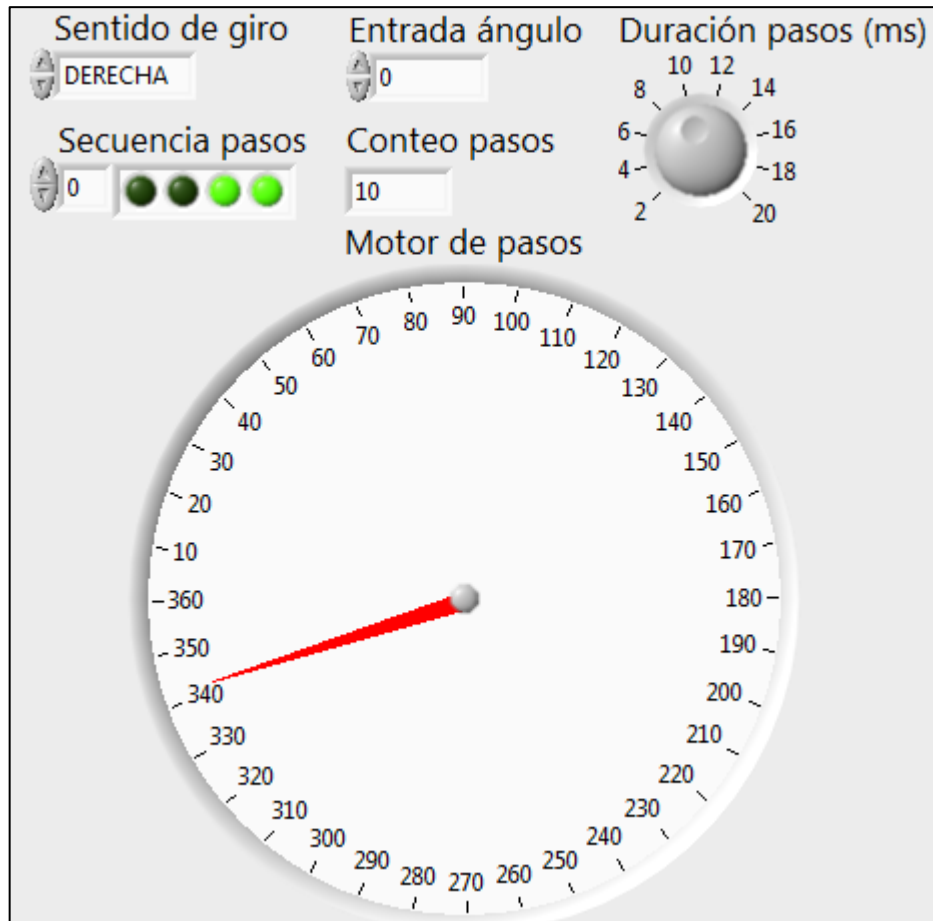
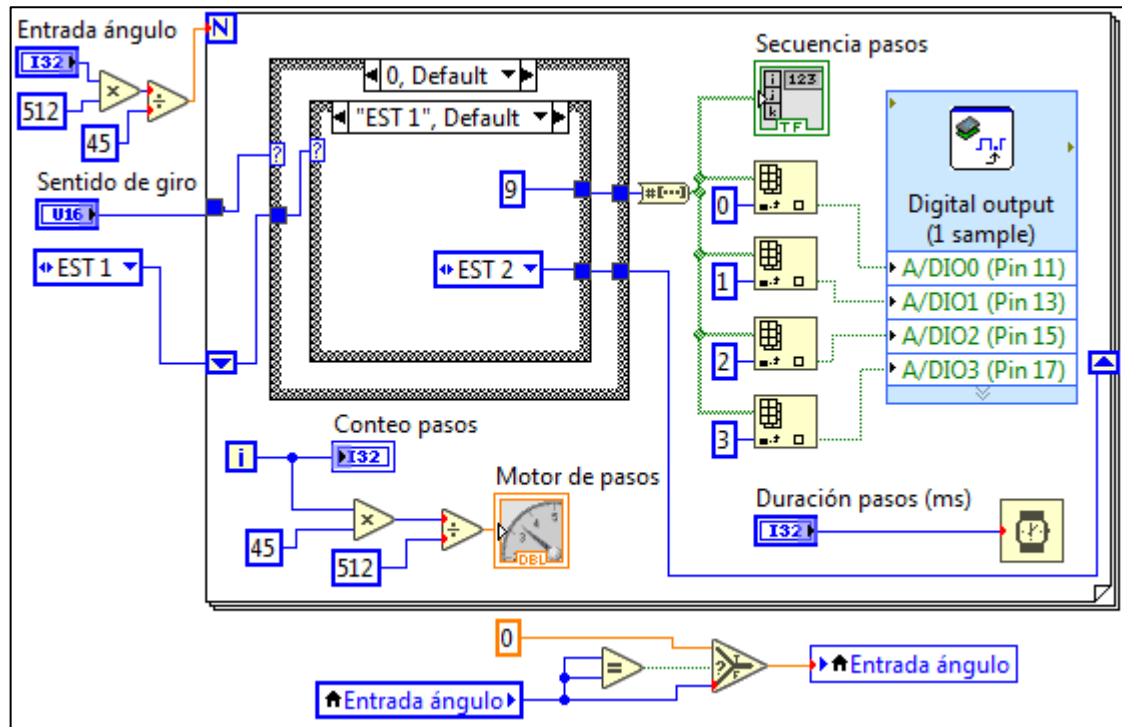
1 PC.

Funcionamiento:

El sentido y ángulo de giro se puede controlar dependiendo la secuencia de pasos (combinación de señales digitales) enviados a los devanados del motor de pasos, así como la velocidad de giro mediante el control del tiempo de duración de cada paso.

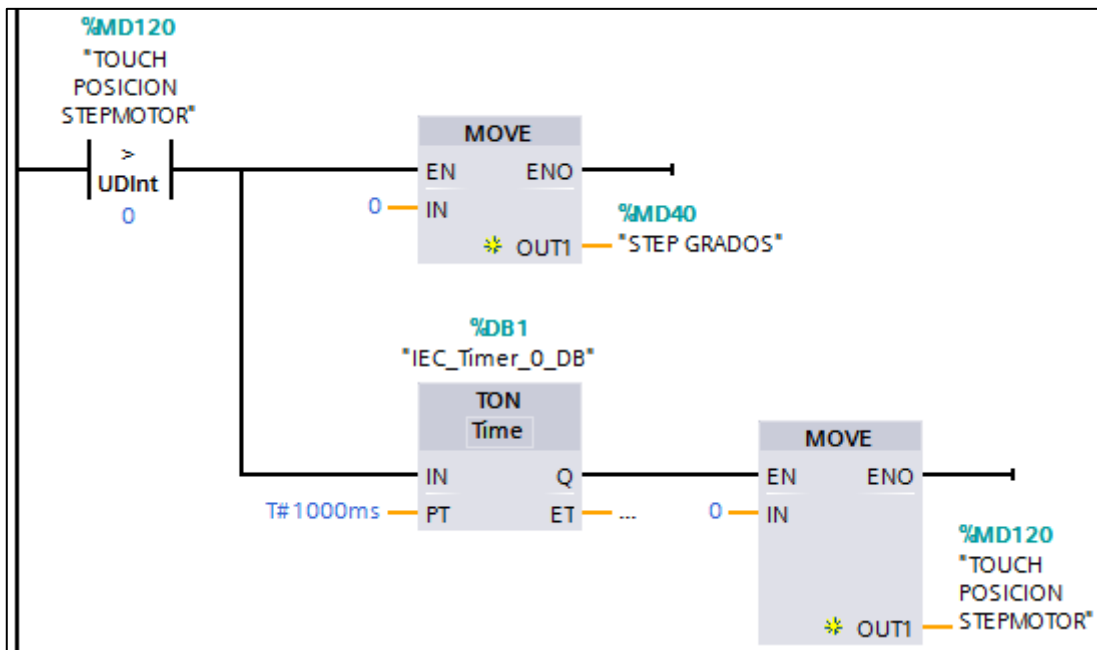
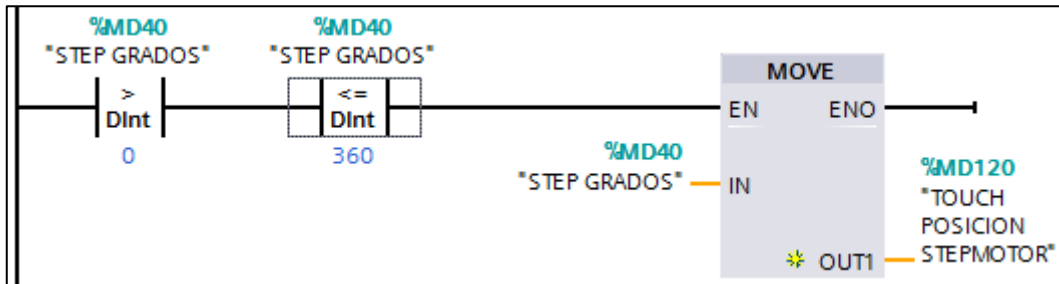
El motor de pasos se energiza a un voltaje de 5VCD, y los terminales del módulo se conectan a GND, y a 4 salidas digitales de la tarjeta MyRIO.

El VI creado en LabVIEW permitirá transformar el ángulo de giro y enviará los pasos necesarios de pulsos para alcanzar dicho ángulo. Sabiendo que son necesarios 4096 pasos para que el motor gire 360 grados.

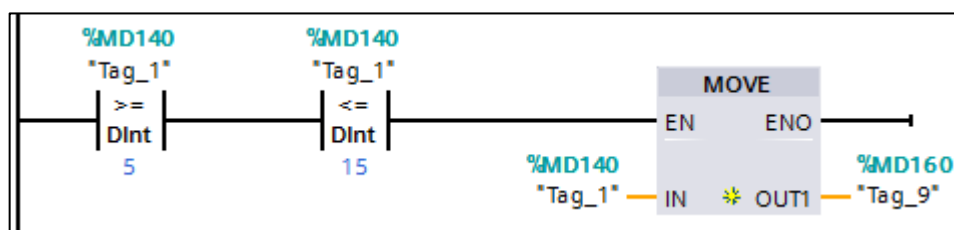




Memoria de ángulo de giro



Duración entre pasos nominal 10 ms, variación propuesta entre 5 y 15 ms para velocidad entre 0,95 y 2,9 RPM.





GUÍA DE LABORATORIO DE LABORATORIO MÓDULO SERVO POSICIONAMIENTO

PRÁCTICA No. 3. - Control de velocidad de un motor brushless desde un Touch panel con MyRIO y LabVIEW.

1. DATOS GENERALES:

GRUPO No.: _____

INTEGRANTES: _____ **CODIGOS:** _____

FECHA DE REALIZACIÓN: _____ **FECHA DE ENTREGA:** _____

_____ **DD/MM/AÑO** _____ **DD/MM/AÑO**

2. OBJETIVOS:

Objetivo general

Realizar el control de velocidad de un motor brushless integrando los diferentes dispositivos.

Objetivos específicos

- Configurar los dispositivos para integrarlos mediante el PC.
- Realizar los programas de control en LabVIEW para MyRIO, y en TIAPortal para el PLC y Touch panel.
- Entrenar al estudiante en la utilización de los diferentes equipos electrónicos.

3. INSTRUCCIONES

- Conocer normas de seguridad para la utilización de los equipos.
- La realización de la práctica se debe cumplir en un tiempo máximo de 20 minutos.
- Concentración al momento de realizar las actividades.
- Conocimientos previos de LabVIEW y TIAPortal.



4. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

- i. Identificar los equipos a utilizar, los pines de conexión de alimentación eléctrica, de control y de comunicación.
- j. Montar los equipos y realizar las conexiones correspondientes.
- k. Realizar un VI para la adquisición y control de datos.
- l. Probar el funcionamiento del circuito.

5. DESARROLLO

Materiales y equipos:

1 módulo de servo posicionamiento

1 tarjeta MyRIO.

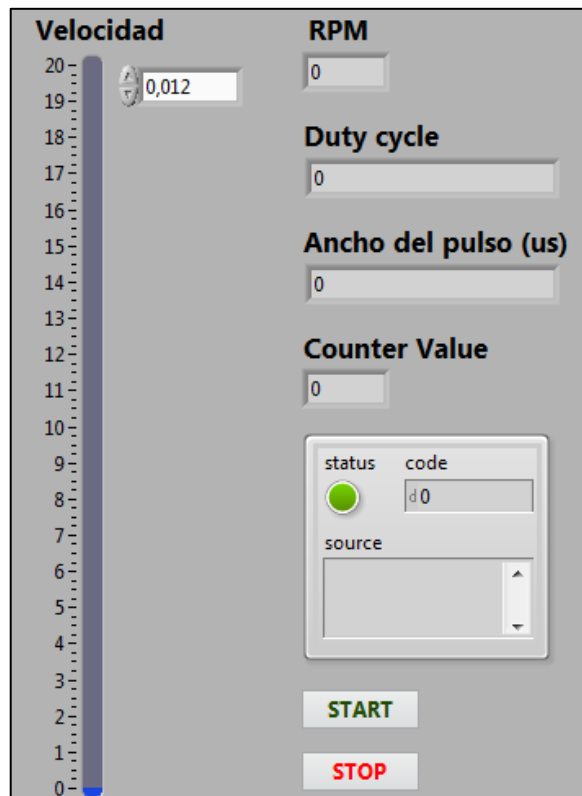
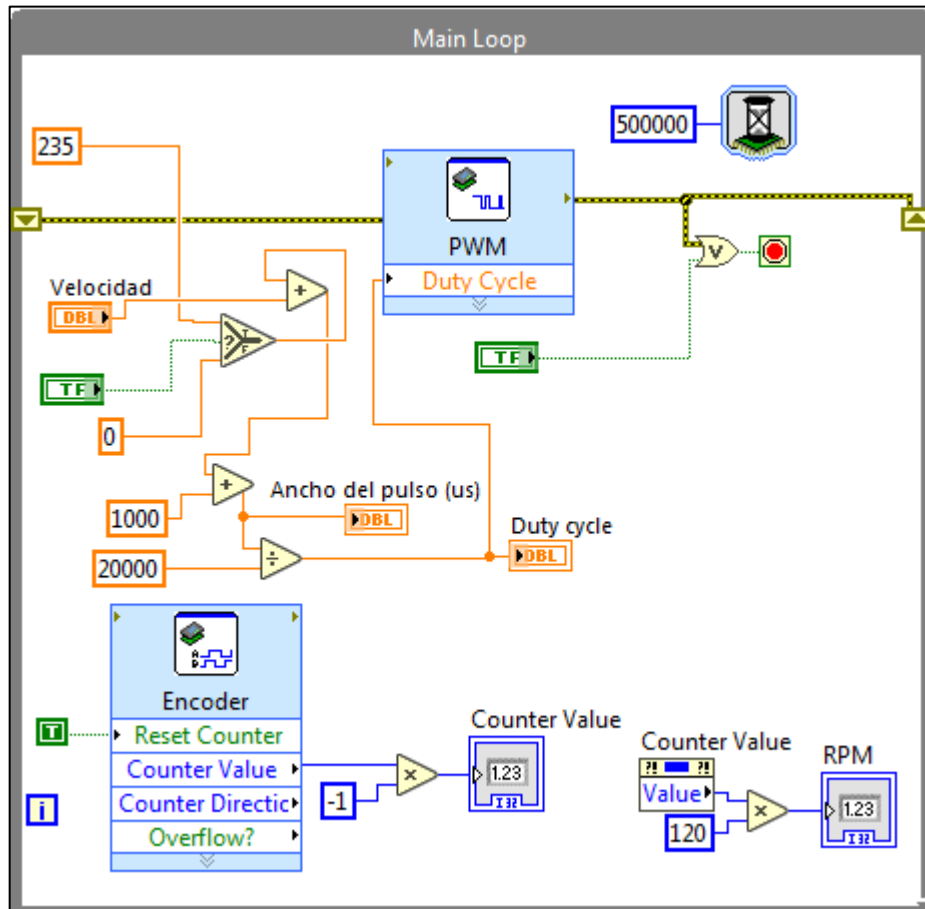
1 módulo PLC y Touch panel.

1 PC.

Funcionamiento:

El motor brushless se energiza a 12VCD, para su activamiento requiere de una señal PWM, y para controlar la velocidad se utiliza como retroalimentación un encoder. el encoder se alimenta a 3,3 VCD de la tarjeta MyRIO y la señal ingresa a una entrada de la tarjeta MyRIO.

MOTOR BRUSHLESS	
Ciclo inicial para seteo	1000 μ s
Ciclo de trabajo mínimo	1235 μ s
Ciclo de trabajo máximo	1255 μ s
RPM mínimas	5000
RPM máximas	10000



Proyecto1 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

Main [OB1]

Main Propiedades

General

Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Idioma	KOP	Numeración	automática		

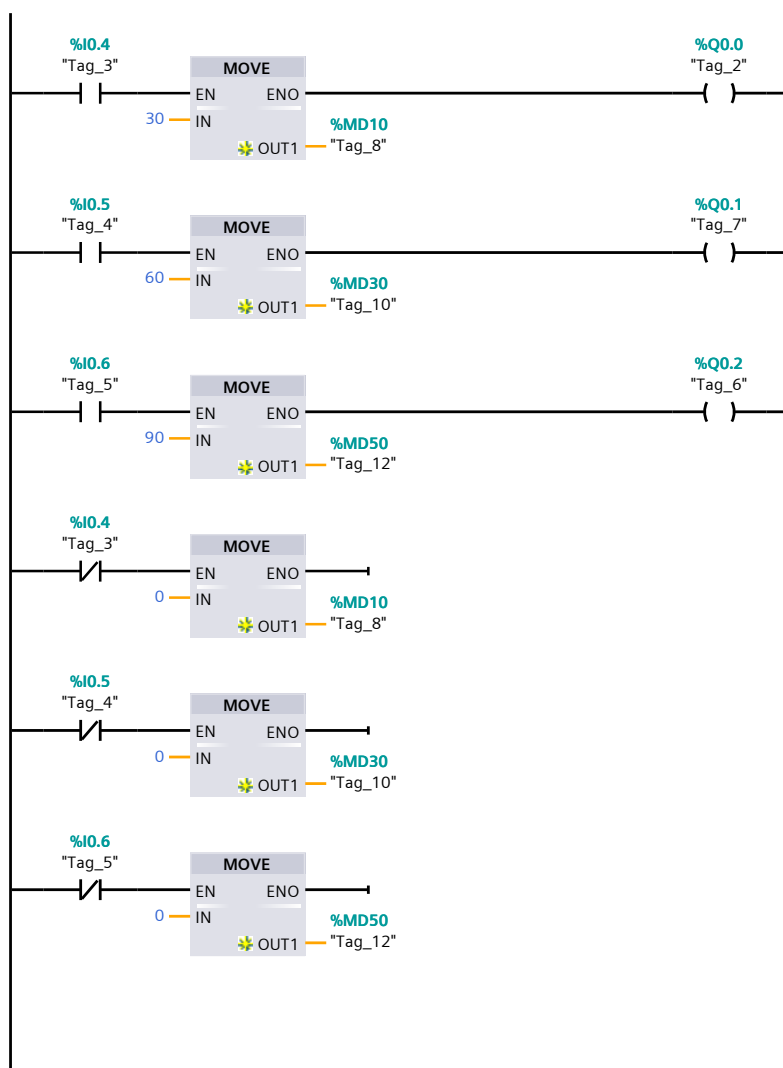
Información

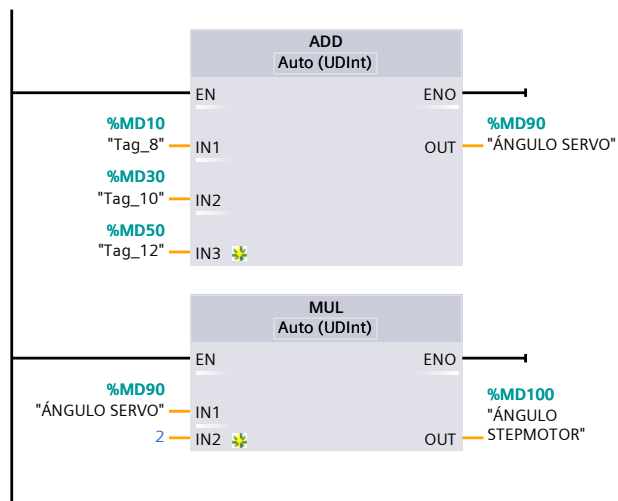
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	

Main

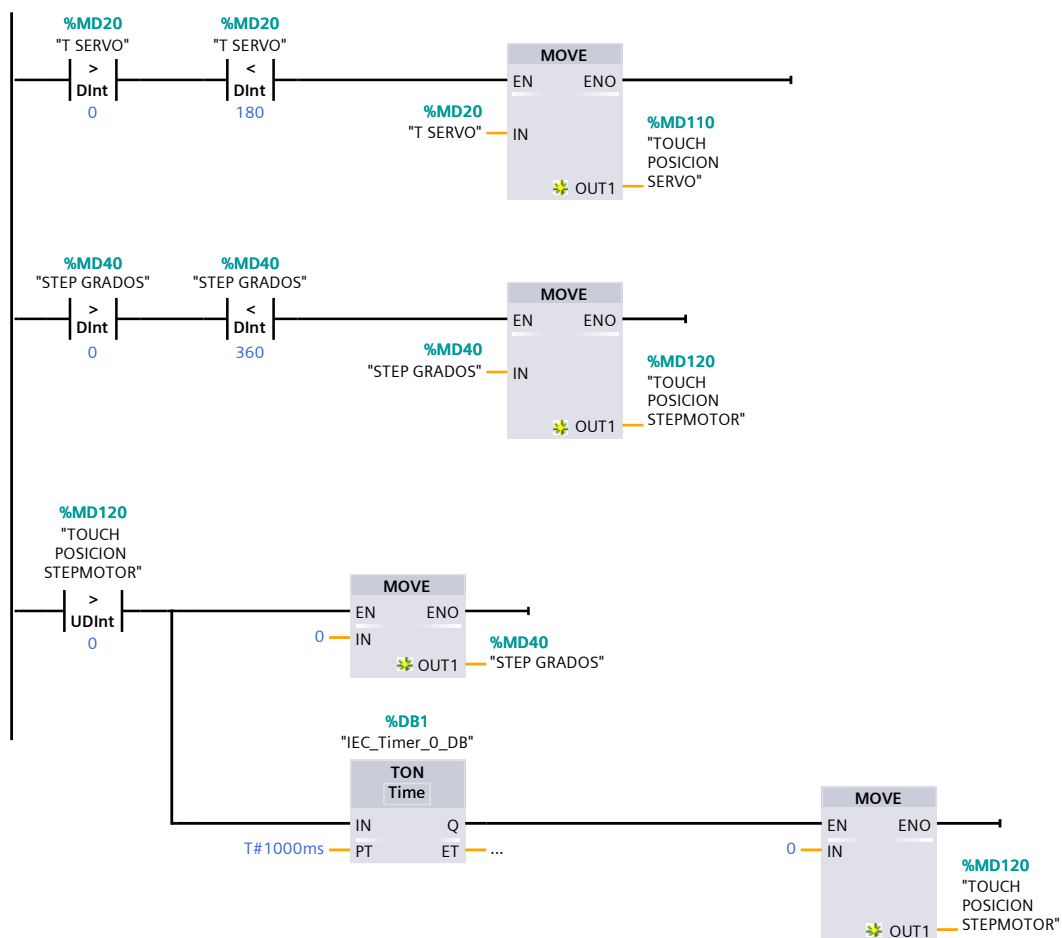
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
Temp		
Constant		

Segmento 1: CONTROL POSICIÓN SERVO Y STEP MOTOR CON SIMULADOR DE ENTRADAS DIGITALES SIEMENS

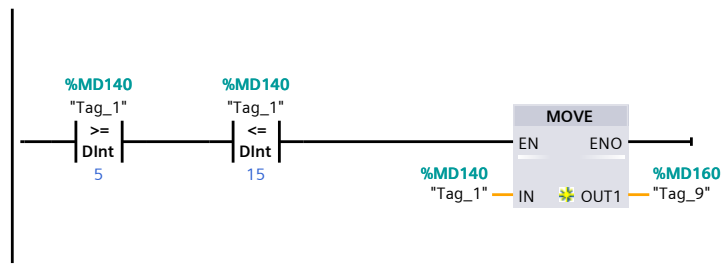




Segmento 2: CONTROL POSICIÓN SERVO Y STEP MOTOR DESDE TOUCH PANEL



Totally Integrated
Automation Portal



Segmento 3: CONTROL VELOCIDAD BRUSHLESS

