

**DESARROLLO DE UNA TARJETA DAQ QUE PERMITA INTERACTUAR EN EL
MONITOREO Y CONTROL DE LAS PLANTAS FESTO MPS PA
COMPACT**

**LERMAN YESSID ALFONSO MORENO
MATILDE GUTIERREZ LUNA**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.**

2015

**DESARROLLO DE UNA TARJETA DAQ QUE PERMITA INTERACTUAR EN EL
MONITOREO Y CONTROL DE LAS PLANTAS FESTO MPS PA
COMPACT**

LERMAN YESSID ALFONSO MORENO

MATILDE GUTIERREZ LUNA

DIRECTOR DE PROYECTO

NÉSTOR FERNANDO PENAGOS QUINTERO

**PROYECTO DE GRADO PARA OBTAR AL TITULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.**

2015

Nota de aceptación:

El proyecto de grado Desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos para controlar la estación de trabajo MPS PA Compact Worstation - Measurement elaborado y presentado por Matilde Gutiérrez Luna y Lerman Alfonso Quintero, como requisito parcial para optar al título de ingeniero mecatrónico, fue aprobado por el jurado calificador:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 26 de Mayo del 2015

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto principalmente a Dios y a la Virgen María por darnos fuerzas, voluntad y perseverancia para afrontar las dificultades que se fueron presentando en el transcurso del proyecto.

Dedicamos esta Proyecto de grado a nuestros padres: Ernesto Alfonso, Mery Moreno, Fabio Gutiérrez y Matilde Luna; por creer siempre en nosotros y estar siempre incondicionalmente apoyándonos en cada momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios primero que todo por darnos la fortaleza, la sabiduría para emprender este proyecto.

Agradecemos a nuestras familias por su apoyo incondicional al transcurso del desarrollo de todo el proyecto. A nuestros amigos y compañeros que nos aportaron para el desarrollo del mismo.

Agradecemos a nuestro tutor Ing. Néstor Penagos por su acompañamiento y apoyo incondicional para hacer posible el proyecto.

Agradecemos a nuestra Facultad de Ing. Mecatrónica y a la Universidad Piloto de Colombia, por permitirnos y brindarnos espacios para trabajar en sus instalaciones en el transcurso del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
1. CAPÍTULO. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.5. OBJETIVOS.....	2
1.5.1. Objetivo General.	2
1.5.2. Objetivos Específicos.....	2
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	3
1.7. MARCO TEÓRICO	3
1.7.1. Tarjeta de adquisición de datos.....	3
1.7.2. Circuito De Potencia.....	11
1.7.3. Microcontrolador.....	13
1.7.4. Fabricantes tarjetas de desarrollo.....	14
1.7.5. Interfaz Gráfica.....	17
1.7.6. Sistemas De Control.....	19
1.7.7. Caracterización de la estación.....	22
2. CAPITULO. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	25
2.1. CIRCUITOS DE AMPLIFICACIÓN.....	27
2.2. SELECCIÓN MODO MANUAL / AUTOMATICO	30
2.3. PULSADORES.....	31
2.4. CIRCUITO DIVISOR DE VOLTAJE - LECTURA VARIABLES	32
2.5. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	32
3. CAPÍTULO. TARJETA DE DESARROLLO.....	34
3.1. SELECCIÓN TARJETA DE DESARROLLO.....	34
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA TARJETA	36

3.2.1.	Software para programar la tarjeta	37
3.3.	PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA.	37
3.3.1.	Asignación de las Variables.	38
3.3.2.	Programación para el Programa Principal.....	39
3.3.3.	Programación para el encendido (ON) de los actuadores.....	44
3.3.4.	Programación para el apagado (OFF) de los actuadores.	44
3.3.5.	Programación para el PWM manual de los Actuadores.....	45
3.3.6.	Programación para Control ON/OFF Actuadores.	46
3.3.7.	Programación para el Valor deseado del Actuador.....	47
3.3.8.	Programación para Monitorear variable.	48
3.3.9.	Implementación del PID desde la Tarjeta.....	49
4.	CAPÍTULO. INTERFAZ GRÁFICA (SOFTWARE)	56
4.1.	LABVIEW	56
4.1.1.	Comunicación Serial Con La Tarjeta De Desarrollo.	56
4.2.	MATLAB.....	56
4.3.	PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA LABVIEW	57
4.4.	INTERFAZ GRÁFICA CON MATLAB.....	58
5.	CAPÍTULO. RESULTADOS DEL PROYECTO	60
5.1.	TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	60
5.2.	BASE TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	60
5.3.	TARJETA DE DESARROLLO	63
5.4.	INTERFAZ GRÁFICA MATLAB.....	63
5.4.1.	Control Manual Actuadores.....	64
5.4.2.	Control ON/OFF.....	65
5.4.3.	Control PID.....	66
5.4.4.	Monitor Actuador	67
5.5.	INTERFAZ GRÁFICA LABVIEW	68
5.5.1.	Ventana ON/OFF Manual Actuador.....	69
5.5.2.	Ventana ON/OFF Actuador Ajustable.....	70
5.5.3.	Ventana Monitoreo del Nivel.....	71

5.5.4. Ventana Valor Deseado para el Actuador.....	72
5.5.5. Ventana PID Tarjeta Bomba - Nivel.....	73
BIBLIOGRAFÍA	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de tarjetas de adquisición de datos con diferente fabricante..	4
Tabla 2. Corriente de las señales digitales.....	27
Tabla 3. Tabla comparativa de las tarjetas en el Mercado.....	35
Tabla 4. Tabla de puertos vs variables.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tarjeta de adquisición de datos NI ref. USB-6009.....	5
Figura 2. Tarjeta de adquisición de datos MC ref. USB-2627.....	5
Figura 3. Tarjeta de adquisición de datos Avantech ref. USB-4702.	6
Figura 4. Tarjeta de adquisición de datos Omega ref. OM-USB-1608FS.	6
Figura 5. Módulo de adquisición de datos.....	10
Figura 6. Amplificador no inversor ganancia 2.	12
Figura 7. Esquema de bloques general de un microcontrolador.	13
Figura 8. Tarjeta STM32F4DISCOVERY.....	15
Figura 9. Tarjeta TM4C1294.	15
Figura 10. Tarjeta ArduinoDue.	16
Figura 11. Tarjeta TWR-K70F120M.....	16
Figura 12. Entorno Labview. (Izq. Panel Frontrol) Y (Der. Diagrama de bloques)	18
Figura 13. Entorno Matlab. (Izq. Ventana de Comandos) y (Der. Ventana del Guide).....	19
Figura 14. Componentes básicos de un sistema de control.....	20
Figura 15. Diagrama de bloques.	21
Figura 16. Estación de trabajo compacta MPS® PA.....	22
Figura 17. Diagrama de fluidos.	23
Figura 18. Board de Conexión.....	24
Figura 19. Conectores de los módulos a) círculo amarillo y b) círculo azul.	25
Figura 20. Configuración de pines para conector a).....	26
Figura 21. Configuración de pines para conector b).....	26
Figura 22. Circuito de Amplificación	27
Figura 23. Circuito Manual - Automático.	31
Figura 24. Circuito Pulsador.....	31
Figura 25. Circuito Divisor de Voltaje.....	32
Figura 26. Circuito Tarjeta de Adquisición de datos.	33
Figura 27. Circuito Regulación de Voltaje.	33
Figura 28. Tarjeta de desarrollo, TM4C1294.	36
Figura 29. Tarjeta en Físico con las variables designadas a los puertos.....	38
Figura 30. Diagrama de flujo para el Programa Principal.	39
Figura 31. Diagrama de flujo de la Primera parte de la Subrutina Manual.	40
Figura 32. Diagrama de flujo de la Segunda parte de la Subrutina Manual.....	41
Figura 33. Diagrama de flujo de la Primera parte de la Subrutina Software.....	42
Figura 34. Diagrama de flujo de la Segunda parte de la Subrutina.	43
Figura 35. Diagrama de flujo para el encendido (ON) de los Actuadores.....	44
Figura 36. Diagrama de flujo para el apagado (OFF) de los Actuadores.	45
Figura 37. Diagrama de flujo para el PWM manual Válvula.	46

Figura 38. Diagrama de flujo para el Control ON/OFF Bomba.	47
Figura 39. Diagrama de flujo para el valor deseado del Nivel.	48
Figura 40. Diagrama de flujo para Monitorear Nivel.	49
Figura 41. Algoritmo PID paralelo.....	50
Figura 42. PID Paralelo con las ecuaciones	50
Figura 43. Tren de pulsos vs Respuesta planta.....	51
Figura 44. Ventana Ident.	52
Figura 45. Función de Transferencia del Nivel.....	52
Figura 46. Ubicación de polos en Circulo Unitario.....	53
Figura 47. Respuesta del controlador.	53
Figura 48. Constantes k_p , k_i y k_d	54
Figura 49. Diagrama de flujo para el PID desde la Tarjeta.	54
Figura 50. Diagrama de flujo para el PID Bomba Tarjeta.	55
Figura 51. Diagrama de flujo de la rutina del Programa Principal de Labview.	58
Figura 52. Diagrama de flujo del Programa Principal Matlab.	59
Figura 53. Circuito en Ares (Izq.) vs Circuito en Fisico (Der.).....	60
Figura 54. Tarjeta para Amplificación a 24V.....	61
Figura 55. Circuito en Ares (Izq.) vs Circuito en Fisico (Der.).....	62
Figura 56. Circuito en Ares (Izq.) vs Circuito en Fisico (Der.).....	62
Figura 57. Montaje final.....	63
Figura 58. Ventana INDEX.....	64
Figura 59. Ventana Control Manual Actuadores.	64
Figura 60. Ventana Control ON/OFF.	65
Figura 61. Ventana Control ON/OFF Nivel.	65
Figura 62. Ventana Control PID.....	66
Figura 63. Ventana PID Bomba.....	67
Figura 64. Ventana Monitor Nivel.....	68
Figura 65. Ventana Programa Principal Labview.....	69
Figura 66. Ventana del ON/OFF Manual Bomba.....	70
Figura 67. Ventana de Control ON/OFF Bomba.	71
Figura 68. Ventana del Monitoreo del Nivel.....	72
Figura 69. Ventana del Valor Deseado para el Nivel.....	73
Figura 70. Ventana PID Tarjeta Bomba - Nivel.	74

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. MANUAL DEL USUARIO	81
-----------------------------------	----

RESUMEN

Este proyecto presenta la elaboración de una tarjeta de adquisición de datos, para controlar el banco MPS PA Compact Workstation-Measurement de la empresa FESTO. Esta tarjeta le da la opción al usuario de manejar el banco de dos modos; a) modo manual con interruptores y/o potenciómetros; b) modo automático a través de una interfaz gráfica en Matlab o Labview.

En el modo manual, se pueden manejar los actuadores On/Off (Bomba, Termoresistencia, Válvula neumática) y actuadores proporcionales (Bomba, Válvula de apertura). En el modo automático además de lo implementados en modo manual, el software (Interfaz gráfica) permite controlar en forma automática la planta (control de nivel, control de temperatura, entre otros).

Previo al desarrollo de la tarjeta, se realizó la identificación de la planta con ayuda de la ficha técnica y realizando prácticas con la misma, esto permitió diseñar circuitos de acople para los actuadores (Bomba, Válvula de Apertura, Válvula Neumática) y los de sensores (Nivel, Presión, Caudal y Temperatura).

Colectivamente se generó un manual de usuario para el manejo de la tarjeta, junto con una serie de guías de laboratorio y con el cual, el usuario puede hacer uso de ella.

1. CAPÍTULO. MARCO REFERENCIAL

1.1. INTRODUCCIÓN

El proyecto presenta la elaboración de una tarjeta de adquisición de datos para controlar el banco MPS PA Compact Worstation-Measurement de la empresa Festo, la cual le permite al usuario controlar el banco en modo Manual o Automático. Inicialmente se muestra la información teórica de algunas tarjetas de adquisición de datos existentes en el mercado y proyectos a fines; se realiza un reconocimiento en la parte de conexiones eléctricas, sensores y actuadores, además del manejo de la planta con sus respectivas tarjetas de adquisición de datos y control. Se estudia los posibles circuitos pertinentes para la etapa de potencia de la tarjeta y la selección de una tarjeta de desarrollo que procesará los datos adquiridos, cumpliendo con los requerimientos que se exigen. Posteriormente, se desarrolla el diseño de la interfaz gráfica para los Software Matlab y Labview, que serán implementados en el modo Automático de la tarjeta de adquisición de datos. Finalmente se obtienen los resultados deseados de la tarjeta diseñada, de la programación para la adquisición y control de datos; así mismo las interfaces gráficas de los software.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El banco MPS PA Compact Worstation-Measurement, cuenta con dos tarjetas de adquisición de datos la EASYPORT y la IOSIM; las cuales se ven limitadas por características fundamentales para el control del banco. La EASYPORT, es una tarjeta que sin tener conexión a un computador, se ve limitada al no tener la opción de controlar el banco y solo permite la visualización del estado de los sensores de la planta; cuenta con un modo automático a través de una interfaz gráfica que no es muy amigable con el usuario, además de que su instalación es un poco compleja; y luego está la IOSIM que es una tarjeta limitada, al tener solamente la opción de modo Manual, controlando la planta por medio de interruptores y/o potenciómetros, pero no le facilita la identificación de los mismos al usuario.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Por lo anterior surge la siguiente pregunta: ¿Qué dispositivo electrónico se podría diseñar, que permita solucionar e integrar el control de modo manual y automático en uno solo?

1.4. JUSTIFICACIÓN

Al diseñar una tarjeta de adquisición de datos que permita integrar el control manual por medio de interruptores y/o potenciómetros y el control automático a través de una interfaz gráfica, para la planta MPS PA Compact Workstation-Measurement de FESTO; le facilitará al usuario el manejo de forma más práctica la lectura, el control de cada uno de los dispositivos de la planta, ya que el diseño de la planta no facilita estas funcionalidades con los sistemas de interacción con los que el usuario cuenta.

Actualmente la planta puede ser utilizada únicamente en las asignaturas de automatización; al integrar la tarjeta se abrirá la posibilidad de realizar prácticas y proyectos de grado en las asignaturas de Mecánica de Fluidos, Medidores y Transductores, Control Análogo, Control Digital, entre otras, las cuales pertenecen al plan de estudio de ingeniería mecatrónica.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General.

Diseñar y construir una tarjeta de adquisición de datos que permita controlar y monitorear la planta de procesos FESTO MPS PA Compact Workstation – Measurement a través de las plataformas Matlab y Labview.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar la tarjeta de adquisición de datos que cumpla con los parámetros industriales de adquisición y control de señales industriales.
- Implementar un algoritmo de control PID digital ajustable por el usuario.
- Diseñar e implementar los drives de control en las plataformas Matlab y Labview.
- Diseñar las aplicaciones en Labview y Matlab que permitan la caracterización de los componentes de la planta y el control de las variables de la misma.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

El proyecto está limitado por los estándares de medición eléctricos que la planta maneja, los cuales son de 0-10V y 0-24V; mientras la tarjeta de adquisición de datos se registrará por una resolución de 8, 10 y 12 bits, contando con 5 entradas digitales, 6 salidas digitales, 2 entradas/salidas análogas; además incluirá una interfaz gráfica amigable con el usuario para Labview y para Matlab; anexo a esto contará con un PID Digital que estará dentro de la tarjeta de desarrollo y será ajustable por el usuario por medio de la interfaz gráfica.

1.7. MARCO TEÓRICO

Generalmente, todo lo que se compone en el mundo está constantemente regido por mediciones o magnitudes físicas (temperatura, presión, humedad, entre otros). Por lo tanto aparecen los sistemas de adquisición de datos¹ (SAD o DAQ, Data Acquisition System) los cuales cumplen con la función de medir y analizar varias magnitudes físicas del entorno físico real; para luego ser monitoreadas y/o controladas por un computador, sistema digital o interfaz gráfica.

1.7.1. Tarjeta de adquisición de datos.

Una tarjeta de adquisición de datos es la que mide la diferencia de potencial en sus entradas análogas o digitales, que pueden ser almacenadas digitalmente, con el fin de ser procesadas. Existen sistemas de adquisición de datos que se dividen en dos tipos, que son: 1) Los Data Loggers, que son un tipo de sistemas que trabajan de forma independiente, donde la única función que tiene el computador es el almacenamiento de datos adquiridos e interpretación; y 2) las Tarjetas DAQ (Data Acquisition) las cuales dependen de un computador para su manejo y éstas se dividen a su vez en: a) las internas, que se encuentran con interfaz como PCI, PXI o PCI Express y b) las externas, como el USB o serial como RS-232/RS-485 y conexiones inalámbricas.

Existen tipos de adquisición de datos para las DAQ entre ellos se encuentra los siguientes: Wireless, un sistema inalámbrico, que consta de uno o más transmisores inalámbricos enviando datos a un receptor inalámbrico conectado a un PC, mientras los receptores pueden ser conectados al puerto USB o Ethernet del computador. Luego estas los sistemas de comunicación en serie, es utilizado en su mayoría cuando la medición está alejado del PC, por lo general la comunicación es de tipo RS232 o RS485 y además permite hasta 32 dispositivos en un mismo bus de datos. Posteriormente, están los de USB, este permite

¹ **González, Victor R.** OpenVRG. [En línea] Disponible en: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_4.4.htm.

ventajas sobre las conexiones convencionales en serie y en paralelo, ancho de banda mayor y capacidad de proporcionar energía al dispositivo periférico. Otro es el Ethernet, es famoso por ser usado en instalaciones industriales y comerciales; algunos dispositivos Ethernet integran un servidor web, ventajas como compartir entre los usuarios de Newtork local e internet a usuarios autorizados por el mundo.

En el mercado existen fabricantes de tarjetas de adquisición de datos entre ellos: National Instruments (NI), Omega, Measurement Computing (MC) y Advantech. En la tabla 1. Se puede ver la comparación de cuatro de los productos que fabrican estas marcas. Estas tarjetas son de un rango promedio, con características similares a las que se requieren para el diseño.

Tabla 1. Comparación de tarjetas de adquisición de datos con diferente fabricante.

REFERENCIA	DAQ USB - 6009	USB-2627	USB-4702	OM-USB-1608FS
Voltaje de alimentación (V)	USB	USB	USB	USB
Entradas Análogas	8	16	8	8
Salidas Análogas	2	4	--	--
Resolución de entrada ADC(Bits)	14	16	12	16
Resolución de salida PWM (Bits)	12	16	--	--
Frecuencia de muestreo (Muestras / Segundo SPS)	48Khz	1Mhz	10Khz	50Khz
Intervalo de entrada (V)	0-5v	$\pm 1 a \pm 10$	$\pm 1 a \pm 15$	$\pm 1 a \pm 10$
Intervalo de salida (V)	$\pm 1 a \pm 20$	$\pm 1 a \pm 10$	--	--
I/O digitales	12	24	8	8
Protocolos de comunicación	USB	USB	USB	USB
Precio (COP)	\$914.000	\$1.199.000	\$250.000	\$ 430.000
Fabricante	NI	MC	ADVANTECH	OMEGA
Referencia	http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987	http://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-2627.aspx	http://www.advantech.com.mx/products/1-2MLKNO/USB-4702/mod_807ADF3C-B073-4671-AD72-10D0930DC8F6.aspx	http://www.omega.com/pptst/OM-USB-1608FS_SERIES.html

Fuente: Propia.

Se puede observar que en la segunda columna está la tarjeta de adquisición de NI con referencia DAQ USB – 6009 (Figura 1), esta tarjeta cuenta con alimentación a USB, tiene 8 entradas análogas con una resolución de bits de 14 y 2 salidas análogas con una resolución de 12 bits. Tiene una frecuencia de muestreo de 48Khz y cuenta con 12 I/O digitales, además de contar con un protocolo USB para la comunicación. El precio de esta tarjeta está alrededor de los \$914.000 pesos COP.

Figura 1. Tarjeta de adquisición de datos NI ref. USB-6009.



Fuente: National Instruments Corporation. USB-6009. Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>.

En la tercera columna se encuentra la tarjeta de MC con referencia USB-2627 (Figura 2), que cuenta con alimentación USB igual que la tarjeta anterior, además tiene 16 entradas análogas y 4 salidas análogas, con resolución de 16 bits para ambos. La frecuencia que maneja es de 1Mhz y tiene 24 I/O digitales. Su precio está aproximadamente en \$1.199.000 pesos COP.

Figura 2. Tarjeta de adquisición de datos MC ref. USB-2627.



Fuente: Measurement Computing Corporation. USB-2627.

En la siguiente columna está la tarjeta del fabricante Advantech con referencia USB-4702 (Figura 3), la cual también se alimenta por medio USB, tiene 8 entradas análogas con resolución de 12 bits, las salidas análogas y la resolución no están especificadas pero cuenta con una frecuencia de 10Khz. Maneja un protocolo USB igual que las demás. El precio de esta tarjeta está en \$250.000 pesos COP, aproximadamente.

Figura 3. Tarjeta de adquisición de datos Avantech ref. USB-4702.



Fuente: Advantech Corporation. USB-4702.

Omega con referencia OM-USB-1608FS (Figura 4), con alimentación por USB, cuenta con 8 entradas análogas como la anterior tarjeta y 16 en la salida, no se especifica para ninguno de los dos la resolución. Cuenta con 50Khz en la frecuencia de muestreo y tiene protocolo de comunicación USB, como anteriores tarjetas. El precio aproximado de ésta tarjeta está en los \$430.000 pesos COP.

Figura 4. Tarjeta de adquisición de datos Omega ref. OM-USB-1608FS.



Fuente: Corporation, Omega. OM-USB-1608FS.

Como se observa en la tabla 1, NI tiene una buena DAQ, sin embargo, este fabricante es uno de los primeros líderes en el diseño de este tipo de tarjetas. Tiene una amplia gama que depende de la utilidad que se necesite. National ha

desarrollado en el mercado tarjetas de adquisición de datos que van desde la parte industrial hasta la parte académica. Por ejemplo, en la parte de enseñanza existe la DAQ con referencia NI myRIO que es usada para un servomotor con referencia Quanser QUBE-Servo, enfocado a la teoría de control, a nivel universitario, que da acceso al control en tiempo real por medio de la DAQ.

Existen algunos proyectos de grado que están dirigidos al control y manejo de datos. Entre ellos está la tesis de Pascual García quien desarrolla una tarjeta de Adquisición de datos con Interfaz USB. Las principales características en las que están enfocados, es un sistema reconfigurable, con comunicación por puerto USB entre la tarjeta y el PC. Para ello, utiliza el microcontrolador AT90USB646, porque les proporciona una comunicación vía USB, además de que Atmel desarrollo una clase para dispositivos de Interfaz Humana (HID), que asegura una transferencia dúplex completa entre el dispositivo y el PC. Tiene también, un sistema que permite el uso de 16 I/O digitales, con 8 entradas análogas con resolución de 10 bits y 2 salidas análogas con resolución de 12 bits. Cuenta con un puerto I2C, para el uso de la interfaz TWI que trae el AT90USB646, con el fin de facilitar la medición de sensores, memorias entre otros dispositivos. Esta tarjeta puede monitorear datos, por medio de una interfaz a través de un PC, el cual está desarrollado en la plataforma de LabVIEW. Es una interfaz amigable con el usuario, además de que cumple con ciertas características como iniciar y finalizar la comunicación directa con la tarjeta, la configuración de algunos recursos que se encuentran en la tarjeta y cuenta con un espacio de trabajo para que el usuario pueda interactuar, desarrollar e implementar aplicaciones utilizando los módulos.

Existen otros sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de datos conocidos como SCADA, utilizados en la automatización de procesos. Sin embargo, su precio es elevado, sin contar que las soluciones externas para abastecer esta necesidad, son costosas. Es por ese motivo que Juan Carlos García y sus colegas en su tesis plantean una solución, y es el diseño de una tarjeta de adquisición de datos, para la supervisión y control de procesos con desarrollo de la interfaz por medio de LabVIEW. Lo principal que desarrollan, es un módulo con la capacidad de obtener datos analógicos y digitales por medio de un variador de velocidad, que se transmite al PC por puerto serial, donde serán procesados por medio de la interfaz gráfica, para ser visualizados y posteriormente controlados a la salida. El microcontrolador que usan es el 16F877A. Finalmente, la comunicación que utilizan es por puerto serial entre la tarjeta de Adquisición de datos y el PC con la interfaz en LabVIEW. Esta tarjeta cuenta con 3 entradas análogas con resolución de 8 bits y 1 salida analógica con la misma resolución. No especifican la frecuencia de muestreo y tienen 4 I/O digitales, además del protocolo de comunicación USB, que emplean.

En la tesis de Fernando Ramírez, se desarrolla un sistema de adquisición de datos de sensores digitales y analógicos. La tarjeta que el desarrolla tiene comunicación USB, tiene 5 entradas análogas con resolución de 10 bits, la salida y la resolución análoga no la especifican. También tiene 16 I/O digitales, con una velocidad de muestreo de casi 10Khz. Entonces, la comunicación por USB es llevada al PC, donde es leída y controlada por la interfaz gráfica, diseñada en Visual Basic. En el cual se puede manejar el encendido y apagado de la adquisición de datos, la conexiones de interfaz local o del servidor, el monitoreo del sensor deseado, la lectura de variaciones obtenida por el sensor análogo 1 que se encuentra conectado a la tarjeta de adquisición de datos, la visualización de los datos obtenidos, entre otras funciones.

En Quito se encuentra Efraín Manosalvas, quien realiza en su proyecto de grado, el diseño y construcción de un módulo de adquisición de datos para la supervisión y control de una mini planta de procesos, con interfaz gráfica en LabVIEW. Este proyecto es similar a lo que se pretende hacer en diseño de la tarjeta e interfaz, que es la comunicación de una tarjeta de adquisición de datos con una planta. Ellos desarrollan un módulo constituido por tarjetas como la Master de comunicación (Tarjeta de adquisición de datos), los módulos de entrada y salida para las análogas con resolución de 12 bits para cada una y las digitales (4), la fuente de alimentación, el modulo Master encargado de la mini planta de procesos y finalmente la tarjeta de conexión con los sensores. La comunicación implementada para la tarjeta y el PC es USB, pero también implementaron comunicación Modbus sobre RS -232, Modbus sobre RS-485 Y Modbus sobre TCP/IP.

Festo tiene en su línea de productos plantas educativas, entre ellas la estación de trabajo MPS PA COMPACT WORSTATION-MEASUREMENT, la cual cuenta con actuadores y sensores, para su manejo y control de cuatro tipos de variables que son nivel, caudal, presión y temperatura. Además cuenta con un PLC y una tarjeta de adquisición de datos llamada EasyPort donde se puede visualizar los datos de los sensores, al mismo tiempo de que puede ser conectada a un PC y desde allí controlar la planta; también cuenta con una tarjeta llamada IOSIM, que se utiliza para controlar los actuadores de estado On/Off.

La EasyPort, es un módulo electrónico que tiene I/O digitales y analógicas, por medio de puerto serie y comandos ASCII. Además tiene la posibilidad de conectarlo a un PC, para que por medio de la interfaz gráfica realice el control sobre el módulo, leyendo entradas y abriendo o cerrando salidas². Esta cuenta con alimentación a 24 V, la interface al PC es a través de USB 2.0, RS-232, la interfaz análoga es con conector de 15 pines, tienen 4 entradas analógicas y 2 salidas analógicas con resolución de 12 bits, para la interface digital, cuenta con 16 entradas digitales y 16 salidas analógicas, en 2 conectores Centronic de 24 pines,

² **Penin, Aquilino Rodríguez.** Conexión del driver EZDDE a EASYPORT (Festo).3 ed. México D.F. : ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A., 2012. p. 443.

que tiene para cada uno 8 entradas digitales y 8 salidas digitales, que por medio de LED's pueden visualizarse las señales. También cuenta con un Display LCD grande, en el cual se puede visualizar la representación del canal, unidad, tendencia y valor medido, se puede seleccionar el canal visualizado y para la unidad mediante las teclas.

Los proyectos que se han realizado sobre la estación de trabajo MPS PA COMPACT WORSTATION-MEASUREMENT, están relacionados en la parte del control de la planta, entre ellos están los siguientes: 1) La tesis de David Espín, quien implementa un control mediante un sistema de lógica difusa en la CPU Edutainer Compact S7-313C, en el cual realiza un sistema HMI/SCADA, con el fin de utilizar el control para el nivel y la presión; y 2) el desarrollo de un software de control en el trabajo que presenta Rodríguez, donde implementan la tarjeta EasyPort, con el fin de simular y controlar por medio del Web Server integrado de LabView, donde permite realizar a distancia las prácticas.

Posteriormente, el proceso que sigue un sistema de adquisición de datos para el procesamiento y control se muestra en las siguientes etapas:

a) Transductores y sensores: Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos. Transductor, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas. Los sensores entonces se dividen en dos clases por la señal que transmiten en su salida y son los siguientes:

- Análogos
- Digitales

Para un sensor análogo la señal de salida tiene un voltaje o corriente variable de forma continua durante la medición, en un rango por ejemplo, entre 0 y 5 v. Algunos de estos sensores conocidos son:

- Posición: Potenciómetro
- Aceleración: Acelerómetro
- Fuerza: Galgas diferenciales
- Presión: Piezoeléctricos
- Lumínico: Fotorresistencia.
- Caudal: de Turbina, Magnético
- Temperatura: Termopar, Resistencia PT100 y NTC
- Sensores de presencia o proximidad: Ultrasónicos, Infrarrojos.

- Táctiles: Piel artificial

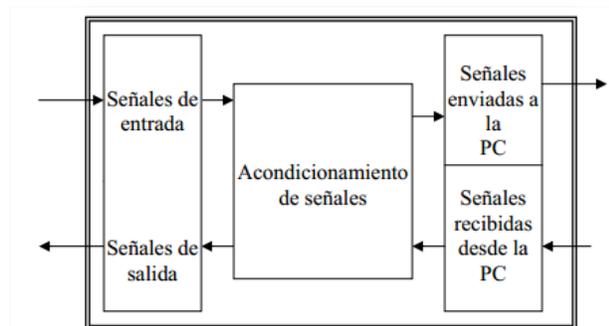
Mientras que un sensor digital tiene una señal de salida de tipo discreta, es decir, que capta dos valores en el rango: alto y bajo (0-1), en forma de pulsos. De este tipo encontramos los siguientes:

- Posición: Encoders.
- Velocidad lineal o angular: Detector inductivo u óptico.
- Aceleración: Sensor de velocidad + calculador.
- Sistemas de visión artificial: Cámara de video y tratamiento de imagen.

b) Acondicionadores de señal: Un acondicionamiento de señales se le denomina al proceso en el que un elemento o dispositivo, es capaz de convertir el formato de la señal que el transductor/sensor lee, a un formato apto para ser legible o procesado; ya que en ocasiones, si se trabaja con voltaje donde la señal puede llegar hacer muy alta o muy baja. Entonces, es necesario acondicionar la señal para que pueda ser leída por el módulo de adquisición de datos, esto se puede hacer por medio de una amplificación, un filtrado, una linealización de offset o una adaptación de impedancias.

c) Módulo de adquisición de datos: La mayoría de estos módulos, cuentan solamente con entradas análogas y digitales, con funcionamiento único al PC y se utilizan en lazo abierto únicamente para el monitoreo de variables. Pero hay módulos con I/O digitales y análogas con conexión al PC, pero no pueden ser programadas para calcular una operación de control. Entonces, para activar las salidas, las operaciones son dadas desde el control del PC. Figura 5.

Figura 5. Módulo de adquisición de datos.



Fuente: Jiménez Ríos, Félix Vicente y Rivero Juárez, Joaquín. Diseño y construcción de una tarjeta programable de adquisición, procesamiento de datos y control.

Otros equipos de adquisición de datos son los que se programan desde fábrica y solo pueden ser configurados, con un proceso matemático aplicado a la señal de entrada, que puede ser una transformada rápida de Fourier, por ejemplo. En

algunos casos los equipos monitorean las variables de un proceso y guardan estos en una memoria tipo Flash, para poder sustituir esta memoria y conectarla en un PC descargando los datos almacenados.

Estos módulos se pueden clasificar en dos principales grupos que serían: 1) Las tarjetas internas, que son conectadas en el interior del PC y 2) las externas que se conectan al PC por medio de un puerto de comunicación.

d) Controladores: En un sistema de adquisición de datos las funciones de un controlador son la visualización de las variables de los sensores por medio de una LCD, el procesamiento de las señales de entrada, el cálculo de alguna acción del control y el registro de las señales de entrada. Algunos de los controladores más usados, para estos sistemas de adquisición de datos son los microcontroladores, la computadora, el controlador lógico programable (PLC) y un asistente digital personal (PDA).

1.7.2. Circuito De Potencia.

Un circuito de potencia o control de potencia es aquel que abastece de energía a un circuito. Cumple con dos funciones básicas, una que es obtener energía de una fuente principal y la segunda entregarla al circuito que va abastecer con los requerimientos y rendimiento de conversión que necesita. Existen algunos circuitos de potencia, que son controlados por dispositivos semiconductores llamados tiristores. A continuación se observa algunos dispositivos utilizados para un circuito de control de potencia³:

a) Circuito de potencia por relé: Los relés y los Contactores⁴, son dispositivos electromecánicos, que al aplicarles una carga eléctrica excita un electrodo o bobina de mando contenida en su interior, de esta manera se accionan uno más contactos, abriendo o cerrando un circuito de potencia. Estos dispositivos son implementados para proteger el circuito de control de sobrecargas eléctricas y se diferencia por la capacidad de potencia que pueden manejar, siendo el contactor el dispositivo con mayor capacidad, y en muchas ocasiones son activados por medio de relés.

b) Circuito de potencia con transistor: El transistor es un dispositivo semiconductor conmutador, existen varias clases de transistores como lo son el

³ **Bacaicoa, Luis Esquiroz.** Electrónica de potencia: dispositivos. Oviedo : Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones, 1999. p. 14.

⁴ **Balcells Sendra, Josep y Romeral, Josú Luí.** Autómatas programables. Barcelona : MARCOMBO, S.A., 1997. p. 136.

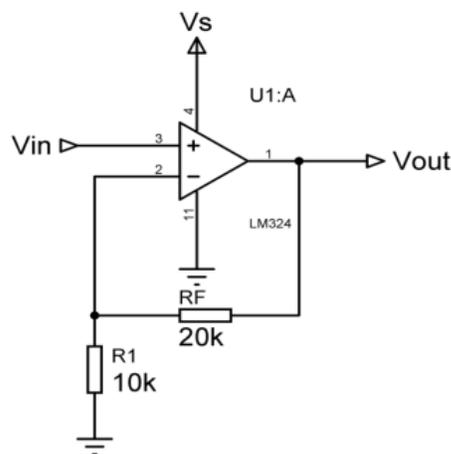
BJT, JFET, MOSFET, etc. Que utilizándose en corte-saturación permite la conmutación de un circuito sin los problemas mecánicos que tiene el relé, además de que tienen un mayor rendimiento.

c) Circuito de potencia por puente h: El puente h es un dispositivo que integra un arreglo de transistores, los cuales realizan una conmutación aplicable para motores DC, con el fin de cambiar el sentido de giro del motor y control del mismo.

d) Circuito de potencia por encendido en cruce por cero: El control es realizado por medio del tiristor cuando se activa, es decir cuando la onda sinusoidal de alimentación llega a cero. Además, permite controlar el ángulo de disparo de una onda sinusoidal de 0 a 360° si se implementa con un TRIAC y de 0 a 180° si se implementa con un SCR:

e) Circuito de potencia por amplificador operacional: Los amplificadores operaciones se pueden implementar de diversas formas, ya que cuentan con una amplia gama de combinación, una de ellas es el sumador no inversor como se puede ver en la figura 6, el cual se puede amplificar proporcionalmente un voltaje de entrada obteniendo como salida un voltaje con la ganancia dada por el amplificador. Esta ganancia está definida por la confinación de resistencia del amplificador y se ve limitada por el voltaje con el que se alimente el mismo, dado a que este no puede entregar un voltaje mayor al de su alimentación. De esta manera, se puede implementar en etapas de potencia donde se necesite controlar una señal de voltaje variable, como un PWM. Por ejemplo si se tiene que controlar un PWM que varía ente 0V y 10V, y la señal de control está dada entre 0V y 5V, se puede implementar un amplificador operacional en combinación no inversora con una ganancia de 2, el cual multiplica la señal de entrada por esta ganancia. Es decir, si la señal de entrada es 5V la señal de salida será 10V.

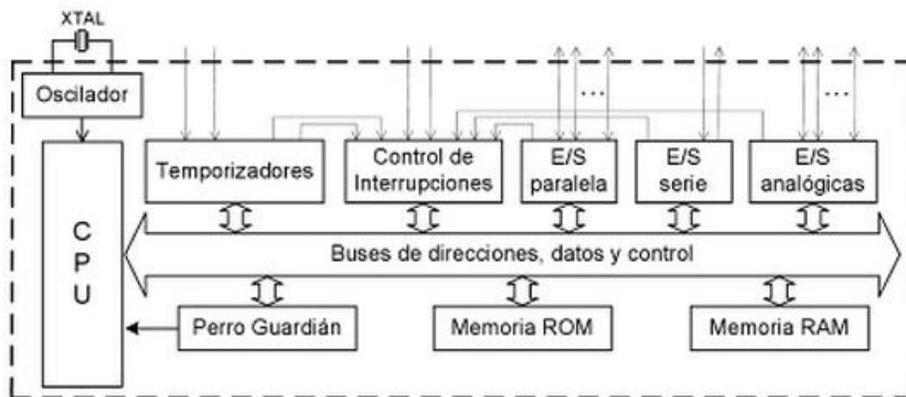
Figura 6. Amplificador no inversor ganancia 2.



1.7.3. Microcontrolador.

En la actualidad los microcontroladores⁵ hacen parte de la vida cotidiana, puesto que son unos de los componentes principales de muchos productos electrónicos, que se utilizan a diario. Hablar acerca de ellos se convierte en algo complejo, debido a la variedad de fabricantes y modelos existentes en el mercado. Entonces, un microcontrolador en sí, es un circuito integrado programable con capacidad de ejecutar tareas y/o programas, que el usuario le escriba. Está compuesto de tres bloques fundamentales: la CPU (Central Processing Unit), la memoria, y los recursos de entrada y salida. Estos bloques interactúan entre sí mediante grupos de líneas electrónicas denominados buses, y están incorporados dentro de un único circuito integrado. En la figura 7, se observa el diagrama de bloques general para un microcontrolador (MCU).

Figura 7. Esquema de bloques general de un microcontrolador.



Fuente: Valdés Pérez, Fernando E. y Pallás Areny, Ramón. Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC. Microcontrolador.

Los microcontroladores están desde 8 bits hasta los 32 bits y estos últimos están catalogados por situarse en el procesamiento de imágenes, las comunicaciones, el control en los procesos industriales, entre otros. Estos microcontroladores están diseñados con un procesador de la arquitectura ARM⁶, generalmente de la familia CORTEX M4. En el mercado se encuentran diferentes clases de microcontroladores de 32 bits con este tipo de procesador, entre ellos se tienen los siguientes fabricantes:

STMicroelectronics (STM) es una compañía internacional que lidera el mercado de los semiconductores y procesamiento de embebidos. Tiene algunas líneas de

⁵ Valdés Pérez, Fernando E. y Pallás Areny, Ramon. Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC. Microcontrolador. España : MARCAMBO, S.A., 2007. p. 11.

⁶ Dang, Bruce, Gazet, Alexandre y Bachaalany, Elias. Practical Reverse Engineering. Indianapolis : John Wiley & Sons, Inc., 2014. p. 39.

producción entre ellas la de microcontroladores. STM ha desarrollado la familia de microcontroladores de 32 bits con procesador ARM Cortex M, llamada STM32 family. Estos microcontroladores se caracterizan por tener una interfaz serial, convertidor Digital-Análogo (D/A) y Análogo-Digital (A/D), módulo de control para LCD, I/O digitales, PWM, RAM interna, el manejo bajo de voltaje que está entre 1,7 y 3,6 v y para algunos con Cortex M4 tiene el modulo para Ethernet y audio.

Texas Instruments (TI) es una compañía internacional reconocida en el mercado de microcontroladores y circuitos integrados. Es una de las marcas conocidas en el mercado por sus microcontroladores entre ellos los de 32 bits con procesador ARM Cortex M4, referenciados como TM4C12x MCUs. Estos se caracterizan además, por el control periférico, módulo de control para LCD, modulo para conexión Ethernet, además del USB y UART, I/O digital y canales análogos.

Atmel es una compañía líder a nivel mundial en el diseño y fabricación de microcontroladores, lógica avanzada, de señal mixta, memoria no volátil y componentes de radiofrecuencia. Tiene una línea de producción de microcontroladores de 32 bits basados en los ARM Cortex M. Esta línea de microcontroladores es llamada SMART ARM-based MCUs. Se caracterizan por tener control para periféricos, I/O digitales, canales análogos, PWM, canal USB, conversor análogo-digital, entre otras.

Freescale está catalogada como una empresa líder en el mercado en soluciones de procesos embebidos y su innovación por medio de microcontroladores, microprocesadores a sensores, circuitos integrados. La ventaja de freescale es que desarrolla microcontroladores para campos específicos y utiliza el procesador ARM Cortex M4 y M0+. De todas las series que tiene esta la K series (kinetis), son MCUs con Cortex M4. Se caracterizan por tener en la gran mayoría múltiples convertidores A/D y D/A, módulo USB, módulo de control para LCD y GLCD, módulo para Ethernet, entre otras.

1.7.4. Fabricantes tarjetas de desarrollo.

Existen algunos fabricantes en el mercado que diseñan tarjetas de desarrollo, que incorporan un microcontrolador de 32-bits con procesador ARM Cortex M, entre ellos están:

a) STMicroelectronics (STM): tiene también una línea que diseña tarjetas de desarrollo, con ref. STM32 MCU Discovery Kits (32 bits). Las referencias de esta familia son de microcontroladores flash de 32 bits, basados en el procesador ARM. Entre ellos, STM maneja para este tipo de tarjetas, las referencias ARM Cortex M4, M3, y M0. En la figura 8, podemos ver una de las tarjetas que ellos fabrican que es la tarjeta STM32F4DISCOVERY.

Figura 8. Tarjeta STM32F4DISCOVERY.



Fuente: STMicroelectronics. Disponible en:
<http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419>.

b) Texas Instruments (TI): es fabricante de tarjetas de desarrollo llamadas Launchpad con ref. Tiva C Series, basado igualmente en el procesador ARM de la ref. Cortex M4. También desarrollan otra tarjeta para la seguridad aplicada a la industria del transporte, con ref. Hercules basada en un procesador ARM de ref. Cortex M3. En la figura 9, se ilustra una de las tarjetas de la línea que ellos manejan, con ref. TM4C1294.

Figura 9. Tarjeta TM4C1294.



Fuente: Texas Instruments. Disponible en: <http://www.ti.com/tool/ek-tm4c1294xl#1>.

c) Atmel: al igual que TI y STM ha desarrollado tarjetas de desarrollo o kits de desarrollo para principiantes, con ref. ATSAM4L-XSTK que utiliza el procesador ARM de ref. Cortex M4. Sin embargo, existe una plataforma de hardware libre que utiliza los microcontroladores de Atmel, para diseñar entornos de desarrollo

llamada Arduino, entre las tarjetas que este ha desarrollado encontramos la ref. Arduino Due, que utiliza el MCU Atmel ATSAM3X8E con procesador ARM Cortex-M3 y la ref. Arduino Zero con MCU Atmel ATSAMD21G18A con procesador ARM Cortex-M0+. En la Figura 10, se puede observar una de las tarjetas que fabrica Arduino que es la Tarjeta Arduino Due.

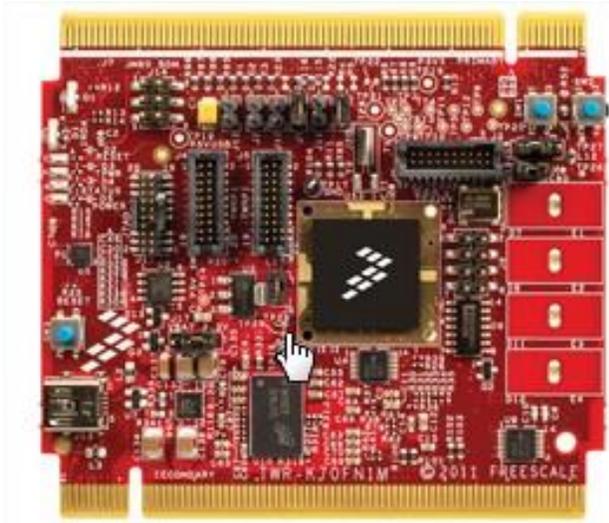
Figura 10. Tarjeta Arduino Due.



Fuente: Arduino. Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDue>.

d) Freescale: cuenta con una línea grande de tarjetas de desarrollo. Estas tarjetas están implementadas en el procesador ARM, esta línea de tarjetas están con ref. Embedded Board Solutions (EBS), donde utilizan toda la familia Cortex M, que manejan. En la figura 11, se visualiza la tarjeta desarrollada por ellos con ref. TWR-K70F120M.

Figura 11. Tarjeta TWR-K70F120M.



Fuente: Freescale Semiconductor. Disponible en: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=TWRK70F120M&fsrch=1&sr=2&pageNum=1.

1.7.5. Interfaz Gráfica.

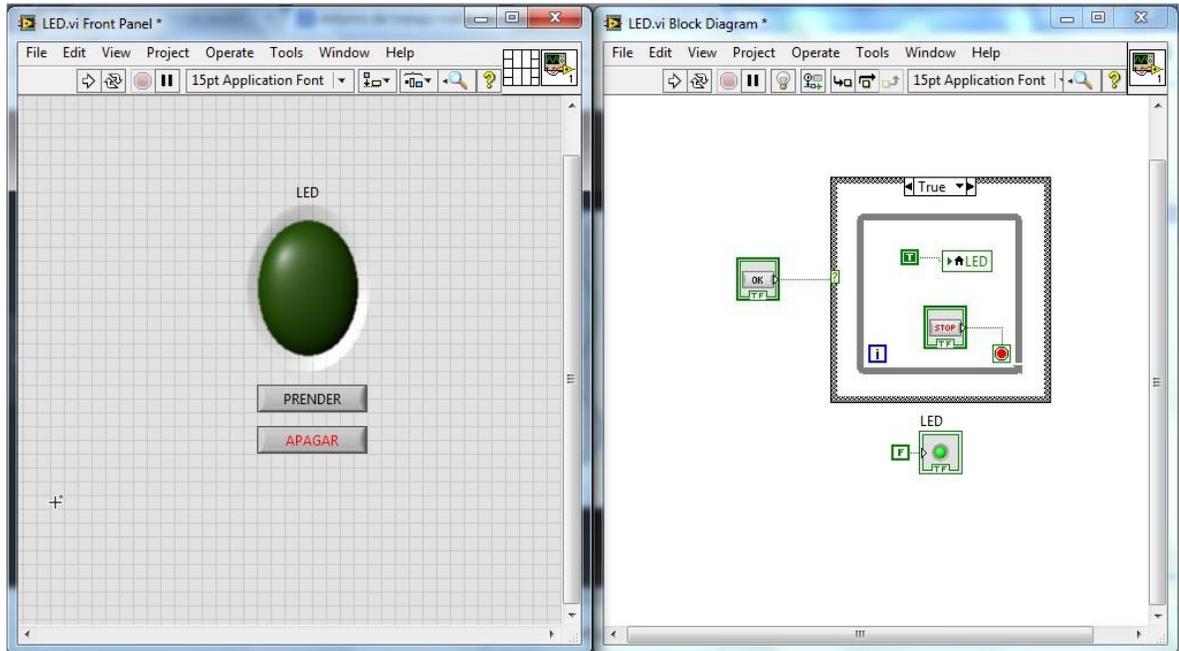
La interfaz gráfica es un programa informático que le permite al usuario interactuar con el sistema operativo, conociendo por medio de imágenes u objetos gráficos la información del sistema operativo el cual se encuentra trabajando en un segundo plano. Existen dos tipos de interfaz, el modo texto y el modo visual. En la de modo texto, el usuario interactúa mediante el teclado programando por medio de línea de comandos, a diferencia de la interfaz gráfica la cual integra periféricos de entrada y salida como el ratón, pantallas táctiles, lápiz óptico entre otros. Esta interfaz se caracteriza por visualizar botones, objetos gráficos, iconos, entre otros⁷. Entre ellos están estos dos software:

a) LabVIEW: Es una plataforma de programación gráfica, donde la programación se realiza mediante diagramas de bloques, uniendo una serie de funciones mediante cables permitiendo el flujo de datos entre sí. Una función solo se podrá ejecutar cuando cuente con todos los datos necesarios de entrada. Esta forma de ejecutar programas favorece el paralelismo y es más apropiado para sistemas multiprocesador y multihilo⁸. LabVIEW también permite el diseño y creación de interfaz gráfica, integrando imágenes, botones, iconos etc. Además con una serie de entradas y salidas de datos los cuales podemos visualizar y controlar. Labview además cuenta con algunas herramientas (drivers) que permiten la comunicación entre el computador y una tarjeta de adquisición o directamente conexión con los transductores, para procesar la información en tiempo real. Posteriormente, el entorno de trabajo de LabView se observa en la Figura 12.

⁷ **Niño Camazón, Jesús.**Sistemas operativos monopuesto.Madrid : S.A. EDITEX, 2011. p. 141.

⁸ **Lajara Vizcaíno, José Rafael y Pelegrí Sebastián, José .**LabVIEW: Entorno gráfico de programación.xxxx : S.A. MARCOMBO, 2012. p. 470.

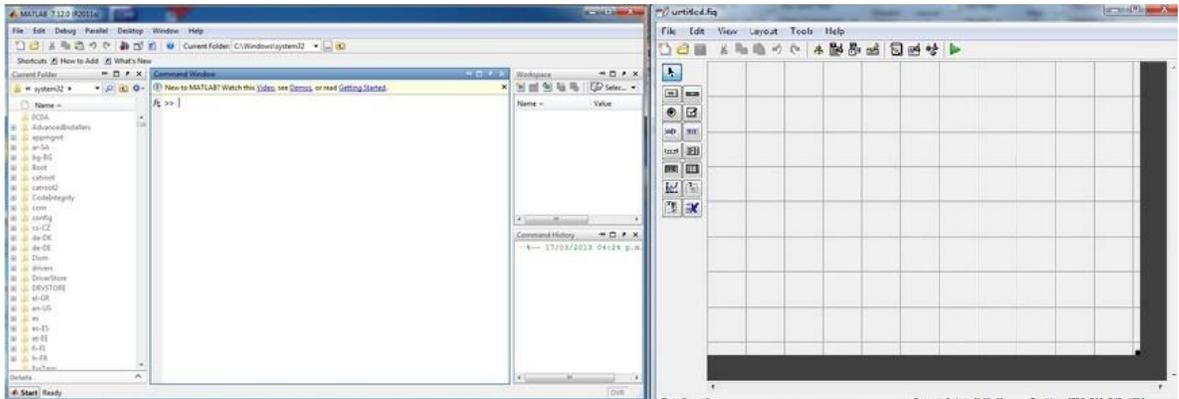
Figura 12. Entorno Labview. (Izq. Panel Frontról) Y (Der. Diagrama de bloques)



b) Matlab: En sí, es un potente lenguaje diseñado para computación técnica, el cual puede ser usado para desarrollar algoritmos matemáticos, modelado y simulación, análisis y procesamiento de datos y presentación de gráficos. Este programa es implementado en universidades e institutos para los programas de matemáticas, ciencias y especialmente ingeniería. La industria lo utiliza con frecuencia para investigaciones, diseños y desarrollos de prototipos⁹. Además, Matlab cuenta con un complemento llamado GUIDE, para el diseño de Interfaz gráfica, al igual que Labview permite la comunicación con el exterior, para adquirir la información a procesar. El entorno de trabajo de Matlab se observa en la Figura 13.

⁹ Gilat, Amos. Matlab: una introducción con ejemplos prácticos. Barcelona : Reverte, 2006. p. 1.

Figura 13. Entorno Matlab. (Izq. Ventana de Comandos) y (Der. Ventana del Guide).



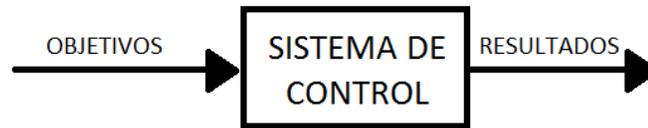
1.7.6. Sistemas De Control.

Un sistema de control¹⁰ como su nombre lo indica, es controlar diferentes tareas que se le puedan designar, pero estos dependen de algunos objetivos para que se obtenga el resultado esperado. Por ejemplo, para que un automóvil pueda desplazarse de un lugar a otro, requiere de un control. Esto pasa, en la mayoría de las tareas de la vida cotidiana. Pero existen tareas más complejas que otras, por ejemplo, el ser humano también realiza diferentes sistemas de control como coger objetos o correr cierta distancia todos los días y cada día hacerlo en menor tiempo posible; pero un atleta además de correr en menor tiempo, tiene que controlar a su vez el consumo de energía y tener la mejor estrategia para hacerlo.

Los sistemas de control como se observa en la figura 12, tienen algunos componentes básicos que son: Los objetivos de control, los componentes del sistema de control y los resultados o salidas. Donde, los objetivos se identifican como entradas o señales actuantes (u); los resultados también llamados salidas o variables controladas (y). "En general, el objetivo de un sistema de control es controlar las salidas en alguna forma prescrita mediante las entradas a través de los elementos del sistema de control"

¹⁰ **Kuo, Benjamin C.** SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO. 7 ed. México, D.F. : Pearson Educación, 1996. p. 2

Figura 14. Componentes básicos de un sistema de control



Fuente: Kuo, Benjamin C. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO.

Un control o controlador PID (Proporcional Integrativo Derivativo), es comúnmente utilizado en la industria para el control de diversos sistemas. Es denominado como un control genérico con realimentación en lazo cerrado. Se caracteriza por que a su sistema entra un error calculado respecto a la salida deseada menos la salida obtenida y este resultado es el que se usa como entrada al sistema que se quiere controlar. Con el fin de que el controlador intente disminuir el error ajustando la entrada del sistema.

Este tipo de controlador combina tres tipos de acciones que son el Proporcional, el Integrativo y el Derivativo, por medio de la siguiente ecuación (1):

$$\mu = k_p \left[e(t)dt + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] = P + I + D \quad (1)$$

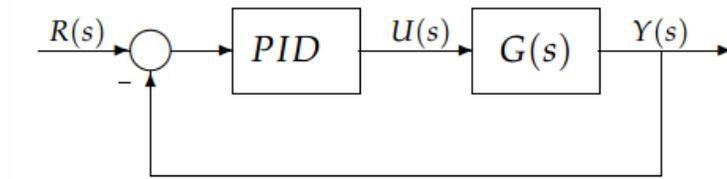
Entonces, de la ecuación anterior se puede obtener la función de transferencia¹¹ respectivamente como se puede apreciar en la ecuación (2).

$$C_{PID} = k_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (2)$$

Por consiguiente se obtiene el diagrama de bloques que se observa en la figura 15. Para el primer bloque se puede ver el PID, luego está en el siguiente bloque la variable $G(s)$ que representaría la gráfica a controlar. La salida, está representada por $Y(s)$ y de ahí sale una retroalimentación que es restada a la entrada esperada que se representa con $R(s)$.

¹¹ **Mazzone, Virginia.** Controladores PID. [En línea.] [Citado el: 22 de 03 de 2015.] Disponible en: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>.

Figura 15. Diagrama de bloques.



Fuente: Mazzone, Virginia. Controladores PID.

La frecuencia de muestreo está definida de tal forma que en "una función limitada en banda, entonces, si ésta es muestreada de forma tal que la frecuencia de muestreo f_m tenga relación con el ancho de banda de la señal original, resultará que a partir de la función muestreada se podrá recurrir la totalidad de la información contenida en la primera."¹² Entonces se puede decir que a una señal de ancho de banda finito Δf se puede definir por un contado número de muestras instantáneas tomadas a una frecuencia de muestreo f_m mayor que el doble del ancho de banda Δf de la señal a mostrar.

Ahora bien, si la frecuencia de muestreo es menor que la frecuencia máxima de la señal, se perderían datos y la discretización no sería confiable; por otro lado, si la frecuencia de muestreo es demasiado grande en comparación con la máxima de la señal, el requerimiento de procesamiento es muy alto y se saturaría el controlador.

El criterio de muestreo de Nyquist¹³ o frecuencia de Nyquist f_N exige seleccionar una frecuencia de muestreo que sea igual o superior al doble de la frecuencia máxima a muestrear (Ec. 3), pero en un criterio práctico es recomendable utilizar 5 o 10 veces, sobre la frecuencia máxima de entrada. Sin embargo, este criterio es totalmente empírico y cada cual lo aplica según su experiencia y conocimiento en el tema. Si se cuenta con el presupuesto y la tecnología apropiada, se puede muestrear lo más rápido posible, pero abusar de ello puede traer consecuencias cuando se trabaja con un sistema ruidoso.

$$f_m = f_N = 2 \Delta f \quad (3)$$

¹² **Castro Lechtaler, Antonio Ricardo y Jorge Fusario, Rubén.**Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información I.2 ed. Barcelona : Editorial Reverté S.A., 2006. p. 200.

¹³ **Bertran Albertí, Eduard.**Procesado Digital de Señales.Edicions Upc: Univ. Politèc. de Catalunya, 2009. p. 98

1.7.7. Caracterización de la estación.

La Estación de trabajo compacta MPS® PA que se muestra en la Figura 16, tiene cuatro variables a controlar, estas variables son: nivel, caudal, presión y temperatura. En la Figura 16 se puede observar los 3 actuadores: electroválvula V102, válvula proporcional V103, termoresistencia E104, donde la bomba es controlada ON/OFF y proporcionalmente; luego una de las 2 electroválvulas, puede ser controlada proporcionalmente y la otra ON/OFF al igual que la termoresistencia que solo se puede operar en ON/OFF.

Figura 16. Estación de trabajo compacta MPS® PA.

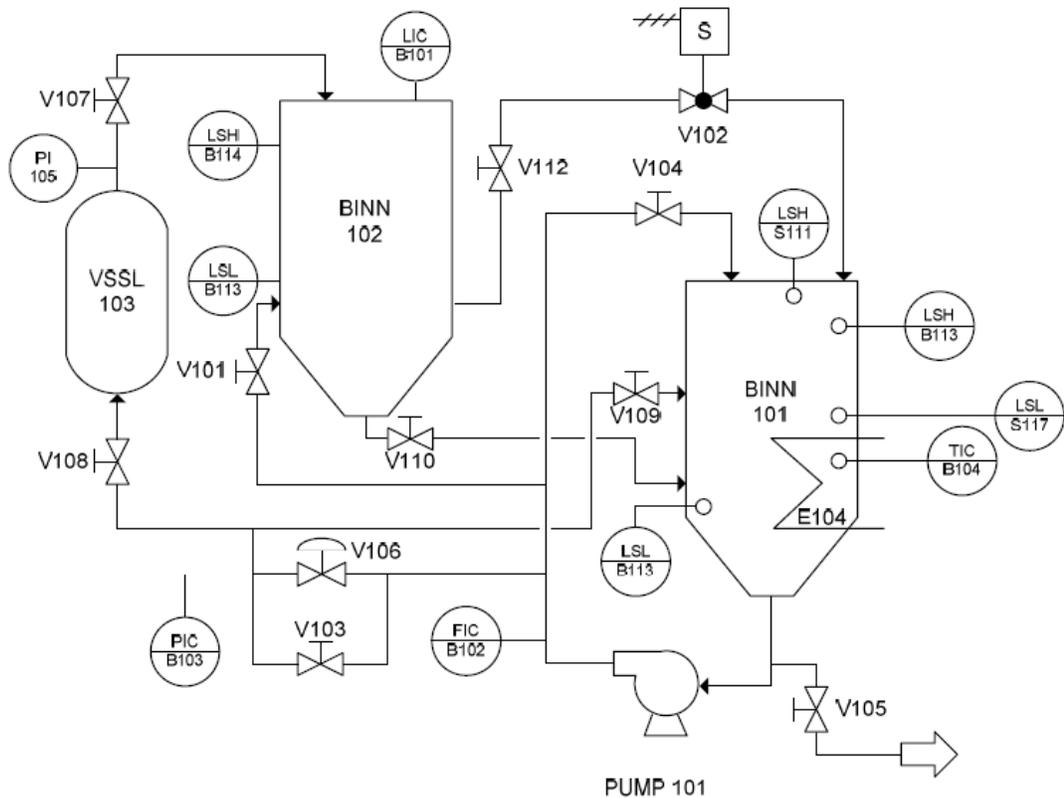


Fuente: **FESTO**. Estación de trabajo compacta MPS® PA con tramos de regulación de nivel, caudal, presión y temperatura.

Se garantiza que la estación está alimentada por una fuente de 24V DC, y facilita la conexión para ser controlada por medio de un PLC e integra un panel HMI touch facilitando la visualización de las variables y el control de la estación. Además cuenta con conexiones para integrar la tarjeta IOSIM, la cual permite controlar manualmente los actuadores del banco y visualizar el comportamiento de las variables; mediante esta misma conexión, se puede integrar la tarjeta EASY PORT, suspendiendo el control manual y facilitando un control por medio de un PC.

El banco de fluidos cuenta con dos tanques, uno superior y otro inferior los cuales están comunicados entre sí por medio de tuberías PVC. Al cerrar o abrir las válvulas manuales, la válvula ON/OFF o la válvula proporcional se define la vía por donde circula el fluido. Como se muestra en la figura 17, se puede observar que los tanques superior (BINN 102) e inferior (BINN 101) están conectados por medio de una bomba (PUMP 101) la cual bombea el fluido dependiendo de las válvulas que estén abiertas. La válvula 101 da vía de acceso inferior al tanque superior, las vías 107 y 108 dan acceso superior al tanque superior y la válvula 110 es la encargada de drenar el fluido del tanque superior al tanque inferior.

Figura 17. Diagrama de fluidos.

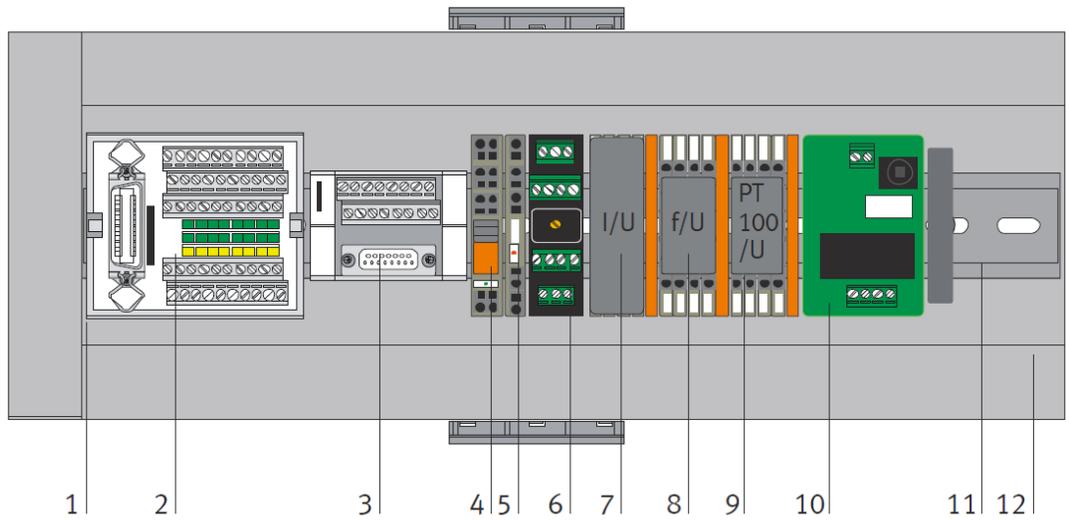


Fuente: Jürgen Helmich, ADIRO. Manual MPS-PA Compact Workstation.

En la figura 18, se puede observar el conector concentric-25, entre los indicadores 1-2, este conector tiene la conexión de la alimentación de tierra y 24V, además de contener los pines para los ON/OFF de los actuadores de la planta; luego en la misma figura 18, se encuentra el conector db-15 en el indicador 3 y este contiene

los pines proporcionales de entrada/salida de la planta, respectivamente. Por consiguiente las demás conexiones que se muestran en la figura 18, son etapas de potencia con las que el banco cuenta.

Figura 18. Board de Conexión.



Fuente: Jürgen Helmich, ADIRO. Manual MPS-PA Compact Workstation.

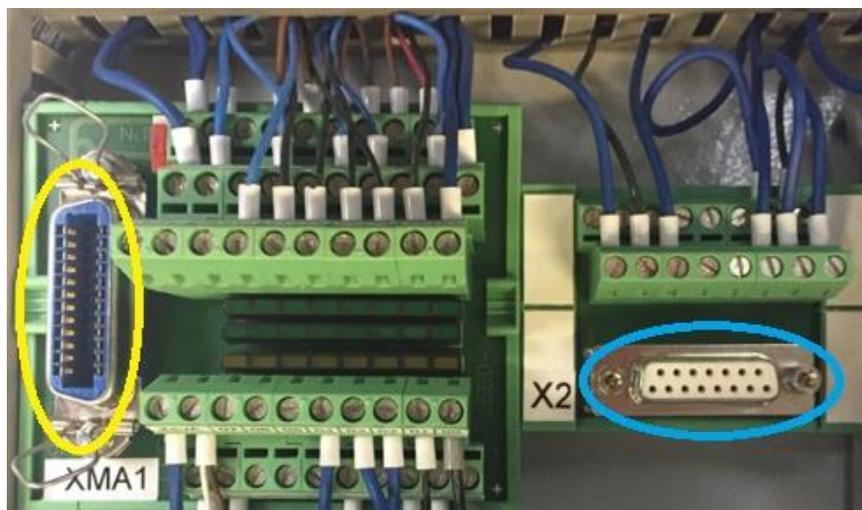
2. CAPITULO. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

2.1. DESCRIPCIÓN DE CONEXIÓN EN LA PLANTA

Para el reconocimiento de la respectiva conexión de la estación de trabajo se tiene en cuenta el Estándar de Medición Industrial con la que se rige la planta; por tal motivo es necesario identificar que módulos son los que se implementan en la planta. Realizando algunas lecturas previas, en las salidas de los pines de los conectores entre planta – tarjeta (EasyPort/IOSIM) se identifica la implementación de dos módulos: El primer módulo maneja un estándar de 0 - 24 V en DC y por medio del mismo se energiza la estación y a su vez envía las señales digitales que permiten accionar el ON/OFF y proporcionales de actuadores. El segundo módulo se encuentra en el estándar de 0 - 10V, integrando salidas y entradas análogas, por el cual se puede monitorear las variables de la estación como: Nivel, Presión, Temperatura y Caudal. Adicionalmente permite enviar salidas PWM, de 0 - 10V DC para controlar los 2 actuadores: la bomba en encendido proporcionalmente y la electroválvula 2 como apertura proporcional.

Cada módulo cuenta con un conector, entre ellos están: a) Para el primer módulo, el conector es de tipo Concentric Hembra de 24 pines (Figura 19 - Izq), y b) Para el segundo módulo, el conector es tipo DB - 15 pines Macho (Figura 19 - Der). Posteriormente, para cada uno de estos conectores se realizó la respectiva medición de continuidad; con ayuda del manual de usuario de la planta; donde se logra identificar los pines que energizan y controlan los actuadores y/o señales de las variables.

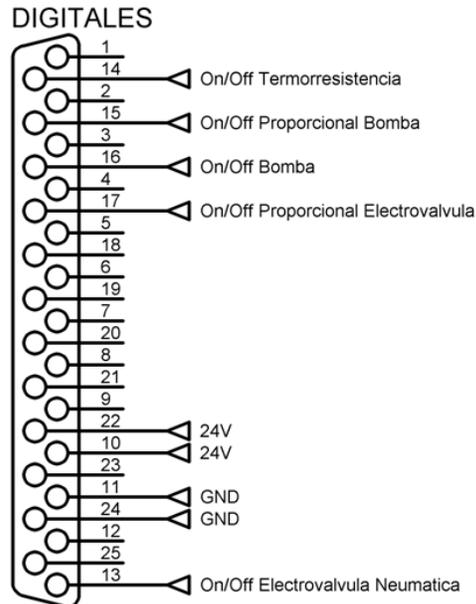
Figura 19. Conectores de los módulos a) círculo amarillo y b) círculo azul.



El conector a), en el mercado no es muy comercializado, por ello se implementa un conector con ref. DB - 25 Pines Hembra, como se puede observar en la Figura 20, además de la configuración de pines. Se puede identificar a su vez, que los

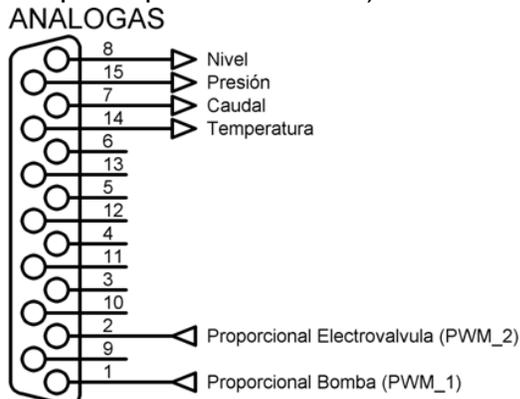
pinos 10, 22 van a 24V - DC y los pines 11, 24 a Tierra, encargados de energizar la estación. Luego están los pines digitales para los actuadores donde, el pin 14 es la línea para activar/desactivar el ON/OFF de la termoresistencia, el pin 15 activa/desactiva la línea del proporcional de la bomba, el pin 16 para activar/desactivar el ON/OFF de la Bomba, el pin 17 activa/desactiva la línea del proporcional de la electroválvula 2 y el pin 13 es para activar/desactivar la línea del ON/OFF de la electroválvula 1.

Figura 20. Configuración de pines para conector a).



En la figura 21, se muestra la configuración de pines del conector *b)*, donde se observa las entradas proporcionales para los pines 1, 2, de la Bomba y la electroválvula 2, respectivamente. Luego están las salidas análogas de las variables, en los pines 7, 8, 14, 15, para el Caudal, Nivel, Temperatura y Presión, correspondientemente.

Figura 21. Configuración de pines para conector b).



Para el diseño de los circuitos de potencia de los actuadores se inicia la medición del consumo de corriente de cada uno, esto se realiza en el conector a, con ayuda de un amperímetro. En la tabla 2 se puede observar los consumos de cada actuador.

Tabla 2. Corriente de las señales digitales.

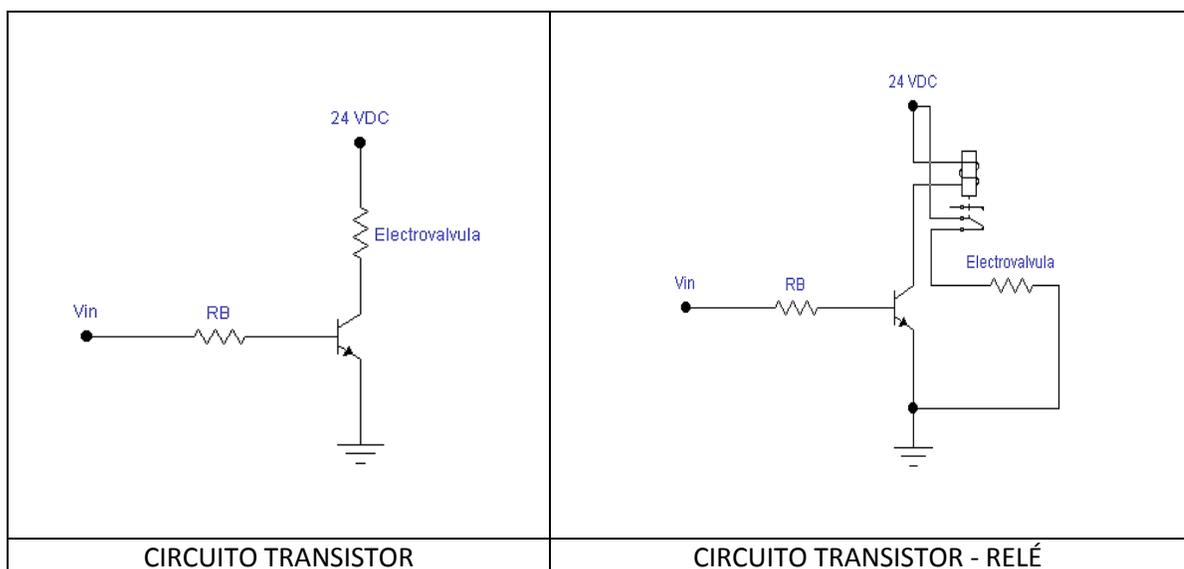
N° DE PIN - ACTUADOR	CORRIENTE (mA)
13 - Electroválvula 1	202,0
14 - Termoresistencia	15,6
15 - ON/OFF Proporcional Bomba	27,4
16 - ON/OFF Bomba	10,9
17 - ON/OFF Proporcional electroválvula 2	19,3

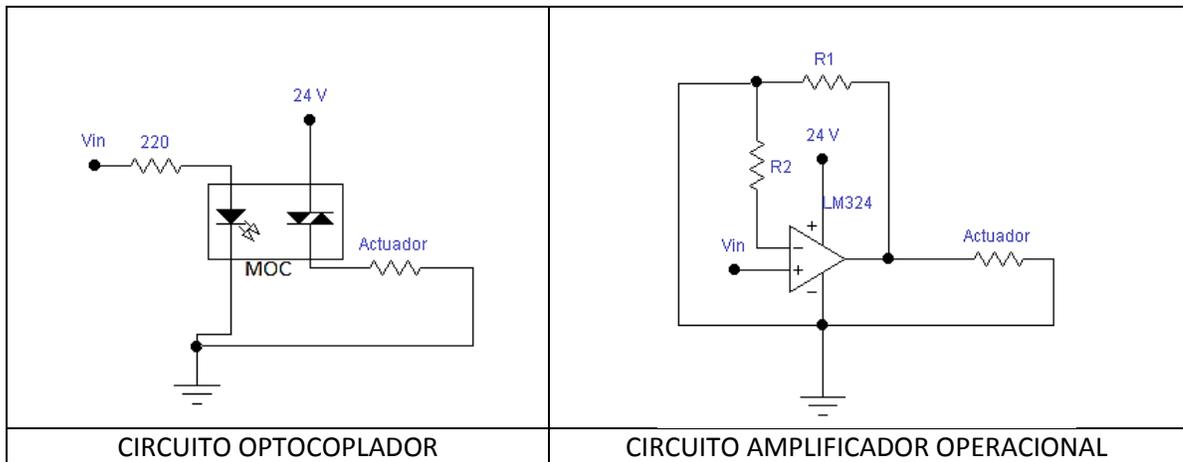
Fuente: Propia.

2.1. CIRCUITOS DE AMPLIFICACIÓN

Las tarjetas de desarrollo generalmente manejan señales digitales de 0 - 3.3V y otras a 0 - 5V, por este motivo es necesario implementar un circuito de amplificación que garantice las salidas digitales de 0 - 24V, con entradas digitales que varíen de 0 - 3.3V o 0 - 5V. Con el fin de solucionar lo anteriormente planteado, se procede entonces a diseñar e implementar los siguientes métodos de circuitos de amplificación que cumple con estos requisitos, como se observa en la figura 22.

Figura 22. Circuito de Amplificación





Fuente: Propia.

Teniendo en cuenta los consumos de corriente de cada amplificador se opta por escoger el circuito que mejor se acople a los requisitos.

En el caso de la Electroválvula neumática se elige implementar un circuito transistor - relé, debido a que el consumo exigido de corriente es igual a 250mA, ya que el Amplificador Operacional se ve limitado a manejar corrientes inferiores a 50mA; ya que el relé garantiza la corriente y el voltaje exigido.

Para los 3 actuadores restantes, al no superar los 50mA de corriente, se implementa el Amplificador Operacional, aparte de que este integrado incorpora 4 amplificadores de las mismas características, facilitando el manejo de estos 3 actuadores con un solo Integrado.

2.1.1. Cálculos para Transistor.

Para los cálculos de R_B (Resistencia de Base), se toma como carga del transistor la resistencia del actuador de 24 VDC, la cual es de 100Ω .

$$I_{Cmax} = \frac{24V}{100\Omega} = 240mA \quad (4)$$

Tomando el beta del transistor como $\beta = 200$, cual es típico del 2n2222, se tiene:

$$I_B = \frac{I_{Cmax}}{200} = 1,2mA \quad (5)$$

$$R_B = \frac{v_{in}-0.7}{I_B} \quad (6)$$

Para el caso de $V_{in} = 3.3v$ R_B es:

$$R_B = \frac{3.3-0.7}{1,2mA} = 2,16 \text{ k}\Omega \quad (6)$$

Para el caso de $V_{in} = 5.0v$ R_B es:

$$R_B = \frac{5-0.7}{1,2mA} = 3,5 \text{ k}\Omega \quad (6)$$

2.1.2. Circuito de Amplificación Transistor - Relé.

En el circuito que se muestra en la Figura 20 se observa un Relé de 24V - DC, que es activado por medio de un Transistor con ref. 2n2222, el cual al variar el voltaje de Base, entra a un estado de corte o saturación, para activar/desactivar el Relé. La bobina del Relé se convierte en la resistencia del Colector y al ser medida, está arroja el valor de 1k Ω . Luego para calcular la resistencia de la Base, se realiza los cálculos (4), (5), (6) con el fin de definir la corriente que ingresa por la Base, la cual depende de la activación del Transistor.

$$I_{Cmax} = \frac{24V}{1K\Omega} = 24mA \quad (4)$$

Tomando $\beta = 200$, nuevamente para el 2n2222, se tiene:

$$I_B = \frac{I_{Cmax}}{200} = 1,2mA \quad (5)$$

$$R_B = \frac{v_{in}-0.7}{I_B} \quad (6)$$

Para el caso de $V_{in} = 3.3v$ R_B es:

$$R_B = \frac{3.3-0.7}{1,2mA} = 20,16 \text{ k}\Omega \quad (6)$$

Para el caso de $V_{in} = 5.0v$ R_B es:

$$R_B = \frac{5-0.7}{1,2mA} = 35,16 \text{ k}\Omega \quad (6)$$

2.1.3. Circuito de Amplificación Optocoplador.

Para el circuito de la Figura 22. Se observa el uso de un Optocoplador con ref. MOC 3021. El cual implementa una resistencia de 220 Ω , en el pin 1, para asegurar que el LED Infrarrojo no sufra daños, al ser encendido este LED, brinda

continuidad entre los pines 4 y 6, permitiendo entonces, amplificar la señal de entrada.

$$I = \frac{3.3v}{220\Omega} = 0,015A \quad (7)$$

2.1.4. Circuito de Amplificación por Amplificador Operacional

En la figura 22, se puede observar un Amplificador Operacional con ref. LM324n, en configuración Amplificador - No Inversor, el cual al implementar una configuración de resistencias, que están dadas por las ecuaciones (8) y (9), se obtiene una ganancia de 7.2, al dividir los 24V sobre los 3,3V.

En la ecuación (8), se observa la ecuación general del amplificador con los datos que se tienen.

$$24V = 3.3V \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) \quad (8)$$

Posteriormente, se despeja R1 y se le asigna el valor de 10kΩ a R2 como se ve en la ecuación (9), para obtener el valor de R2, respectivamente. Dando como resultado un valor de 62KΩ aproximadamente.

$$R1 = \left(\frac{24V}{3.3V} - 1\right) * 10K\Omega \approx 62 K\Omega \quad (9)$$

De los anteriores circuitos de Aplicación se eligió el circuito de Amplificación Operacional, ya que este maneja una corriente máxima de 50mA y 4 de las 5 salidas digitales trabajan con corrientes menores a los 50mA. Pero en el caso de la salida digital del ON/OFF de la Electroválvula 1, se implementa el circuito de Amplificación Transistor-Relé, por lo que esta salida tiene una corriente de 200mA y el Relé puede soportar hasta 5A.

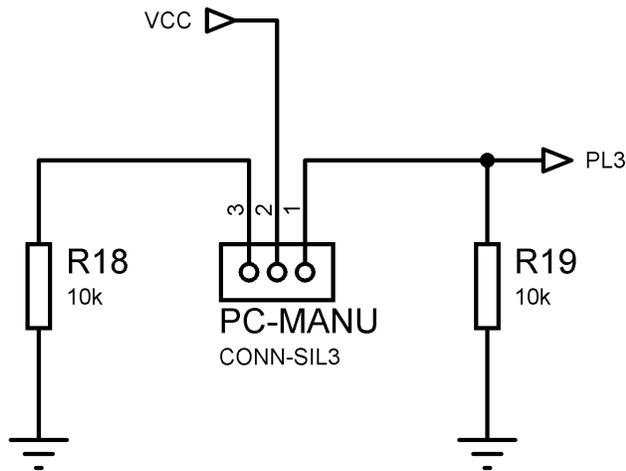
2.2. SELECCIÓN MODO MANUAL / AUTOMATICO

La tarjeta de adquisición de datos diseñada, cuenta con la opción de 2 tipos de operación: a) Manual, donde el usuario puede controlar físicamente los Actuadores por medio de pulsadores, además de variar los proporcionales de la Bomba y la electroválvula 2, a través de potenciómetros; y b) Automático, el cual omite el modo manual y el usuario solo puede controlar la estación por medio de la Interfaz gráfica en Matlab o Labview, donde puede encontrar diferentes opciones de control y monitoreo de las variables.

En la figura 23, se puede observar el circuito diseñado para la selección de la operación que el usuario desea. Si el usuario indica la posición para Manual,

energiza los pulsadores, pero por el contrario al indicar Automático, desenergiza los pulsadores. Si se pasa de Manual a Automático y viceversa, deja entonces a los pulsadores a tierra, con una resistencia Pull-Down.

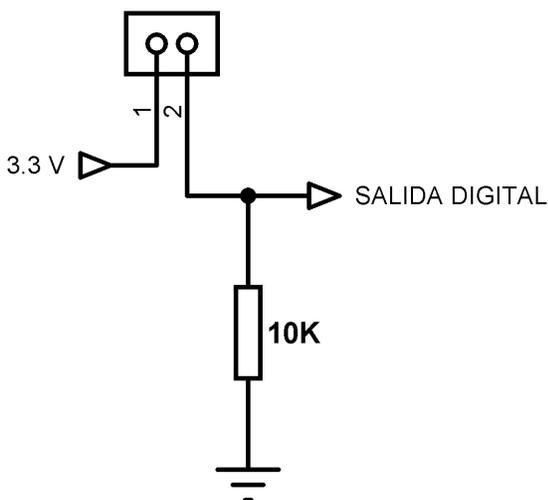
Figura 23. Circuito Manual - Automático.



2.3. PULSADORES

Los pulsadores funcionan como se observa en la figura 24, donde un pulsador es energizado cuando está en modo Manual. Luego este envía el valor de la posición en que se encuentra (ON/OFF) a la Tarjeta de desarrollo, la cual dependiendo de la posición toma la decisión para encender/apagar el Actuador. Donde cada actuador cuenta con un pulsador ya sea para ON/OFF o para el Proporcional

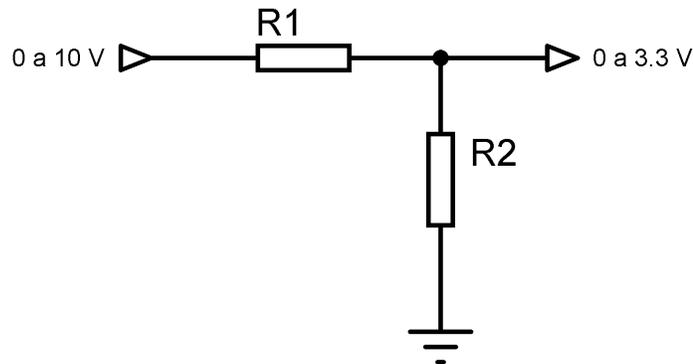
Figura 24. Circuito Pulsador.



2.4. CIRCUITO DIVISOR DE VOLTAJE - LECTURA VARIABLES

El divisor de voltaje (figura 25) se diseñó con el fin de conocer el valor que se encuentra en cualquiera de las variables, ya que la estación de trabajo se rige con unas salidas análogas de 0 - 10V y las tarjetas de adquisición de datos tienen la capacidad de reconocer señales análogas de 0 - 3.3V y de 0 -5V.

Figura 25. Circuito Divisor de Voltaje.



En la ecuación (10), se ve la ecuación general del Divisor de Voltaje donde se colocan los valores que se tienen.

$$3.3V = 10V * \left(\frac{R2}{R1+R2} \right) \quad (10)$$

Luego, si se le asigna a R2 un valor de 10KΩ, como se muestra en la ecuación (11), respectivamente, se procede hallar el valor de R1.

$$3.3V = 10V * \left(\frac{10K\Omega}{R1+10K\Omega} \right) \quad (11)$$

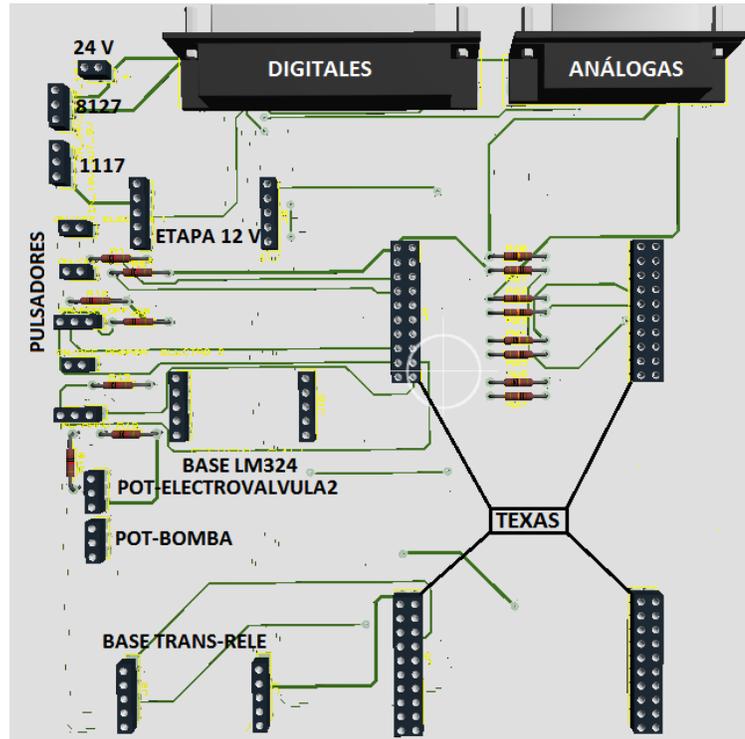
Finalmente, el valor obtenido para R1 es de 20KΩ, como se ve en la ecuación (12).

$$R1 = 20 K\Omega \quad (12)$$

2.5. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

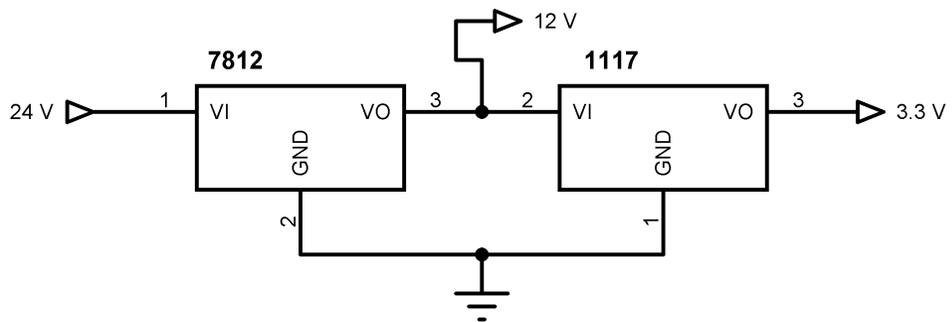
Para la tarjeta de adquisición de datos, se realizó el diseño de una tarjeta que cuenta con algunas bases, como se muestra en la figura 26. Para conectar la Tarjeta de Desarrollo en este caso para la tarjeta de Texas TM4C1294; se diseñaron los 4 circuitos de Amplificador Operacional, el circuito de Transistor - Relé y los pulsadores. Además de los conectores *a*) y *b*) (ver 2.1).

Figura 26. Circuito Tarjeta de Adquisición de datos.



Adicionalmente, la tarjeta de adquisición diseñada, cuenta con una etapa de regulación de voltaje, debido a que la alimentación del banco está dada por una fuente de alimentación externa de 24V y para energizar la etapa de Amplificación está a 10V; por ese motivo se hizo necesaria la implementación de un regulador con ref. 8512, para regular este voltaje a 12V y posteriormente utilizar el regulador con ref. 1117, para regularlo a 3.3V; voltaje con el cual se energiza los pulsadores y el circuito que se muestra en la figura 27.

Figura 27. Circuito Regulación de Voltaje.



3. CAPÍTULO. TARJETA DE DESARROLLO

En este capítulo se describe la selección, el desarrollo y la programación de la tarjeta de desarrollo, que estará implementada en la tarjeta de adquisición de datos.

3.1. SELECCIÓN TARJETA DE DESARROLLO

Para la selección de la tarjeta de desarrollo o tarjeta para principiantes con el fin de facilitar la adquisición de datos del banco, la comunicación entre banco - tarjeta y tarjeta - interfaz gráfica (PC); se tuvo en cuenta algunos parámetros, entre ellos el tipo de microcontrolador, que se buscó en los diferentes fabricantes que producen microcontroladores de 32 bits con microprocesador ARM CORTEX M, la resolución de bits ajustable en la lectura de las entradas análogas, el número de entradas/salidas tanto análogas como digitales, frecuencia de muestreo, entre otros.

Con el fin de escoger la tarjeta de desarrollo que mejor se acomodara a las necesidades principales, se realizó una comparación de cuatro tarjetas de desarrollo como se observa en la Tabla 3. La principal característica que se busca, es que la resolución del ADC este entre los 12 bits, que la frecuencia de muestreo sea considerable, además de que pueda modificarse según el usuario lo desee. De las cuatro tarjetas que se observan en la tabla, la de Freescale (columna 5) no es apta, ya que excede la resolución que se requiere, aunque cumpla con las otras características y el número de salidas digitales, de las cuales no se encuentra mucha información; su precio es elevado. Mientras, las otras tres cumplen con la resolución exacta necesaria, tenemos que la STM (columna 2) la frecuencia de muestro es la mejor de las cuatro y cumple con las otras características necesarias como el número de salidas digitales, las entradas análogas y los PWM. Luego en la columna 3 está la tarjeta de TI que es la segunda tarjeta que cumple con los requerimientos y su precio es el más rentable de las cuatro. Finalmente está la tarjeta de la marca reconocida Arduino, en la columna 4, la cual es la tercera tarjeta que cumple con los parámetros requeridos.

Tabla 3. Tabla comparativa de las tarjetas en el Mercado.

Referencia	STM32F4 DISCOVERY	TM4C1294 Connected Launchpad	Arduino DUE	TWR-K24F120M
Memoria Flash	1MB	1MB	512KB	256KB
Memoria RAM	192KB	256KB	96KB	256KB
Entradas Análogas	16	20	12	-
Salidas Análogas	12	8	12	-
Resolución de ADC (Bits)	12-bit	12-bit	12-bit	16-bit
Frecuencia de CPU (MHz)	168	120	84	120
Frecuencia de muestreo (Muestras / Segundo SPS)	25MSPS	2MSPS	1MSPS	2MSPS
E/S Digitales	80	60	54	20
Intervalo de salida (V)	0-3v	0-3,3v	0-3,3v	0-3,6v
Protocolos de comunicación	USB, SPI, PC, USART	Micro - USB, Ethernet, CAN, I2C, QSSI, USART	Micro - USB, USART, SPI, CAN, TWI	USB, USART, I2S, I2C
Microcontrolador	STM32F407VG	Tiva TM4C1294NCPDTI	AT91SAM3X8E	K24FN256VDC12
Fabricante	ST	TI	ARDUINO	FREESCALE
Referencia	http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419#	http://www.ti.com/lit/ug/spmu365a/spmu365a.pdf	http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue	http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=TWR-K24F120M
Fecha de consulta	20-ene-15	21-ene-15	21-ene-15	23-ene-15

Fuente: Propia.

Se realizaron pruebas de ADC para 8, 10 y 12 bits, la velocidad de muestreo y la comunicación serial en las tres tarjetas (STM32F4, ArduinoDue, TM4C1294). Los resultados obtenidos fueron los siguientes: a) STM32F4, maneja una resolución de 10 y 12 bits, velocidad de muestreo no configurable y buena comunicación serial; b) ArduinoDue, trabaja con una resolución de 10 y 12 bits, permite configurar la velocidad de muestreo y tiene buena capacidad para la comunicación serial; y por

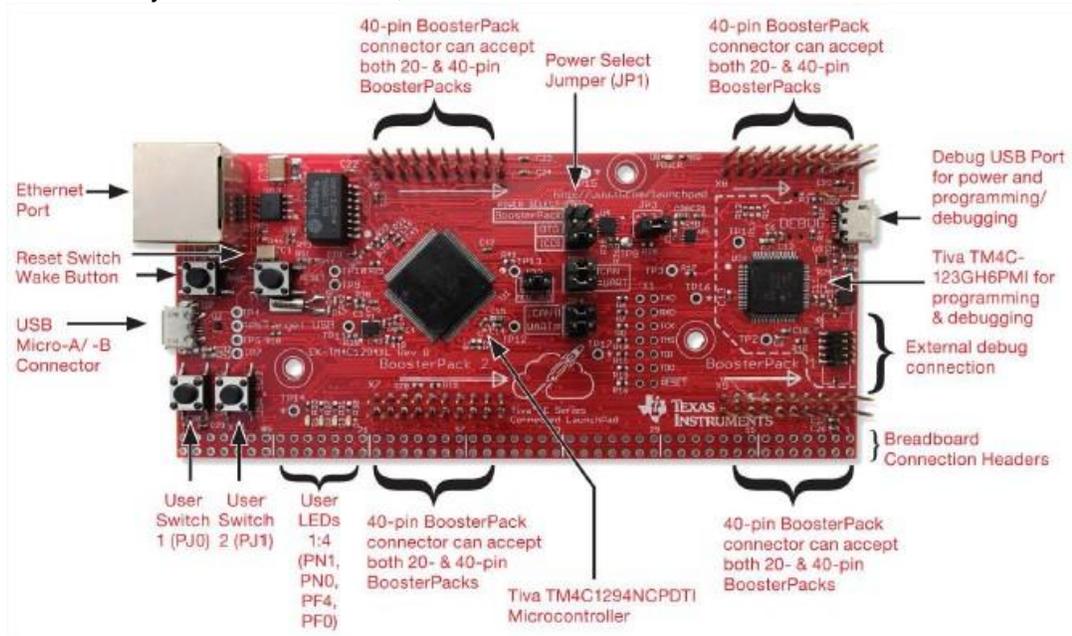
último c) TM4C1294, opera resoluciones de 8, 10 y 12 bits, admite la configuración de la velocidad de muestreo y brinda una mejor comunicación serial.

Aunque las tarjetas en la prueba trabajaron como se esperaba, la que más cumplió con los requerimientos, además de comodidad y precio, fue la tarjeta de TI con ref. TM4C1294, siendo entonces la tarjeta seleccionada para el desarrollo del proyecto.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA TARJETA

La tarjeta de TI con ref. TM4C1294 de la familia Tiva C Series (figura 28), es una tarjeta con un microcontrolador de 32 bits, el cual tiene arquitectura ARM tipo cortex M4. Esta tarjeta cuenta con 20 entradas análogas, 8 salidas PWM, cuenta con 60 I/O digitales, para la comunicación, cuenta con modulo Micro - USB, Ethernet, CAN, I2C, QSSI, USART. Además tiene 4 led's incorporados, 2 switch, para realizar códigos de procesamiento rápidos y observar el funcionamiento de la tarjeta. En la Figura 28, se observa en forma física, contrario a las manecillas del reloj, el puerto Ethernet, el puerto Micro USB, los switch y led's de procesamiento. Se referencia el microcontrolador, se observa también los pines divididos en 2 paquetes de 20 pines, tanto en la parte inferior como superior. Luego, a la derecha encontramos el integrado que ayuda a la programación y ejecución del programador, al igual que la conexión que es de tipo Micro USB.

Figura 28. Tarjeta de desarrollo, TM4C1294.



Fuente: Texas Instruments. User's Guide.

3.2.1. Software para programar la tarjeta.

Para escoger el software programador para la tarjeta, en la página web de las mismas especificaciones de la tarjeta, se encontraron los siguientes software, para la programación de las tarjetas de TI:

a) Code Composer Studio, es el software propio del fabricante de la tarjeta (TI). Está basado en "Eclipse", además de ser un entorno de desarrollo integrado (IDE). Tiene un conjunto de herramientas que incluye optimización del compilador C/C++, editor de código fuente, entorno de construcción de proyectos, depurador, perfilador, entre otros.

b) IAR Embedded Workbench, es un software con entorno de desarrollo integrado, es compatible con C, C++ y C++ Embedded. Además de ser compatible con una gama de depuración y formatos de imagen estándar en la industria. Este incorpora un compilador, un ensamblador, un enlazador y un depurador.

c) Keil, es un software que tiene productos para ARM. Los cuales incluye compiladores en C/C++, depuradores en entorno de desarrollo integrado y entornos de simulación, RTOS (Real-Time Operating System) y bibliotecas de Middleware.

d) Energia, es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto. Ofrece un entorno de desarrollo integrado basado en "Processing" es multiplataforma. Además utiliza un compilador mspgcc hecho por Peter Bigot. Siendo el programa más asequible para la programación de las tarjetas de TI.

Por consiguiente, de los cuatro software anteriormente vistos, se decide hacer la programación en el software de Energía, puesto que por su facilidad de acceso, su plataforma en código abierto y sin límite en líneas de código. Nos permite una mejor comunicación y desarrollo con la tarjeta.

3.3. PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA.

La programación de la tarjeta se realiza para recibir los datos del banco y ser procesados, respecto a lo que el software le ordene que controle. Entre ellos está el encendido/apagado de los actuadores, control manual PWM, control manual on/off, monitoreo sensores, control on/off sensores. PID desde el Software, PID desde la tarjeta de desarrollo. También, se programa la resolución del ADC (tarjeta) y el tiempo de muestreo (software).

3.3.1. Asignación de las Variables.

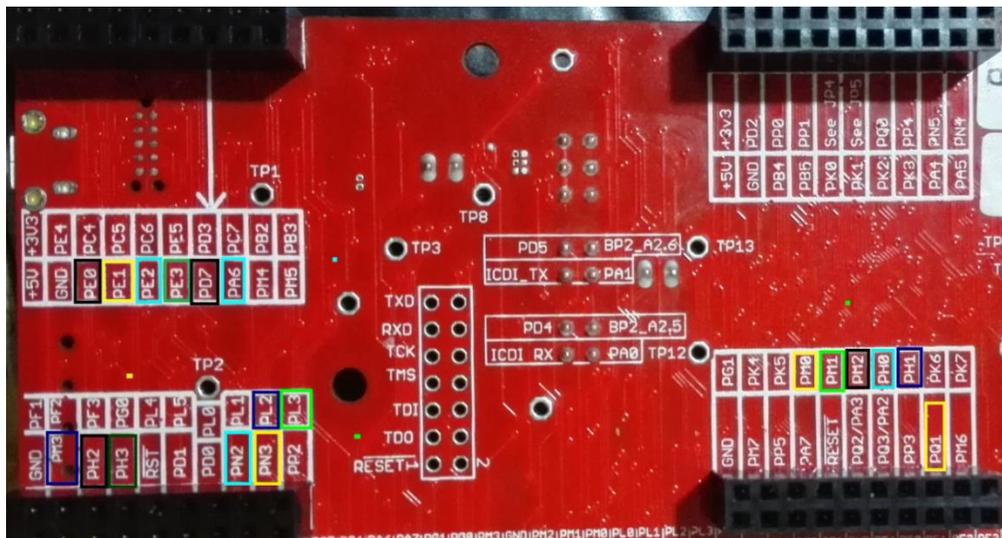
Para designar las variables se tuvo en cuenta las salidas digitales, las entradas análogas y las salidas pwm, como se observa en la tabla 4. Para mejor entendimiento en la Figura 29, se observa respectivamente los puertos.

Tabla4. Tabla de puertos vs variables.

I/O	Puerto	Variable
SALIDAS DIGITALES	PQ1	ELECTROVALVULA 1
	PM1	TERMORESISTENCIA
	PM2	ON/OFF PWM BOMBA
	PH0	ON/OFF BOMBA
	PH1	ON/OFF PWM ELECTROVALVULA 2
ENTRADAS ANÁLOGAS	PE3	NIVEL
	PE2	PRESION
	PE1	CAUDAL
	PE0	TEMPERATURA
	PD7	BOMBA
	PA6	ELECTROVALVULA 2
SALIDAS PWM	PM3	PWM BOMBA
	PM0	ELECTROVALVULA 2
ENTRADAS DIGITALES	PH2	VALVULA 1
	PH3	RESISTENCIA
	PN2	ON/OFFBOMBA
	PN3	ON/OFF PWM BOMBA
	PL2	VALVULA 2
	PL3	MANUAL/AUTOMATICO

Fuente: Propia.

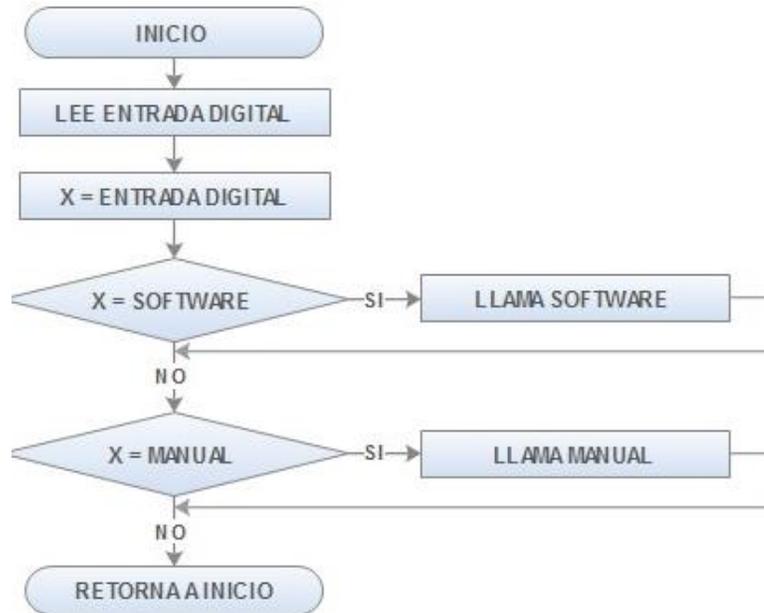
Figura 29. Tarjeta en Físico con las variables designadas a los puertos.



3.3.2. Programación para el Programa Principal.

El programa principal que se ejecuta en la tarjeta es de la siguiente forma: La tarjeta espera que el usuario le indique en qué modo trabajar, si desea en modo manual, entra a esta subrutina o en modo automático entrar a la otra subrutina especificada. En la figura 30, se observa el diagrama de flujo para esta tarea.

Figura 30. Diagrama de flujo para el Programa Principal.



Cuando el usuario opta por el modo manual, la tarjeta lee los estados de los interruptores, los cuales están designados para indicar en qué estado el usuario quiere que los actuadores estén, es decir, encendido/apagado y también el uso de los proporcionales por medio de unos potenciómetros indicando el estado que desea. En las figuras 31 y 32, se observa el diagrama de flujo correspondiente para esta subrutina.

Figura 31. Diagrama de flujo de la Primera parte de la Subrutina Manual.

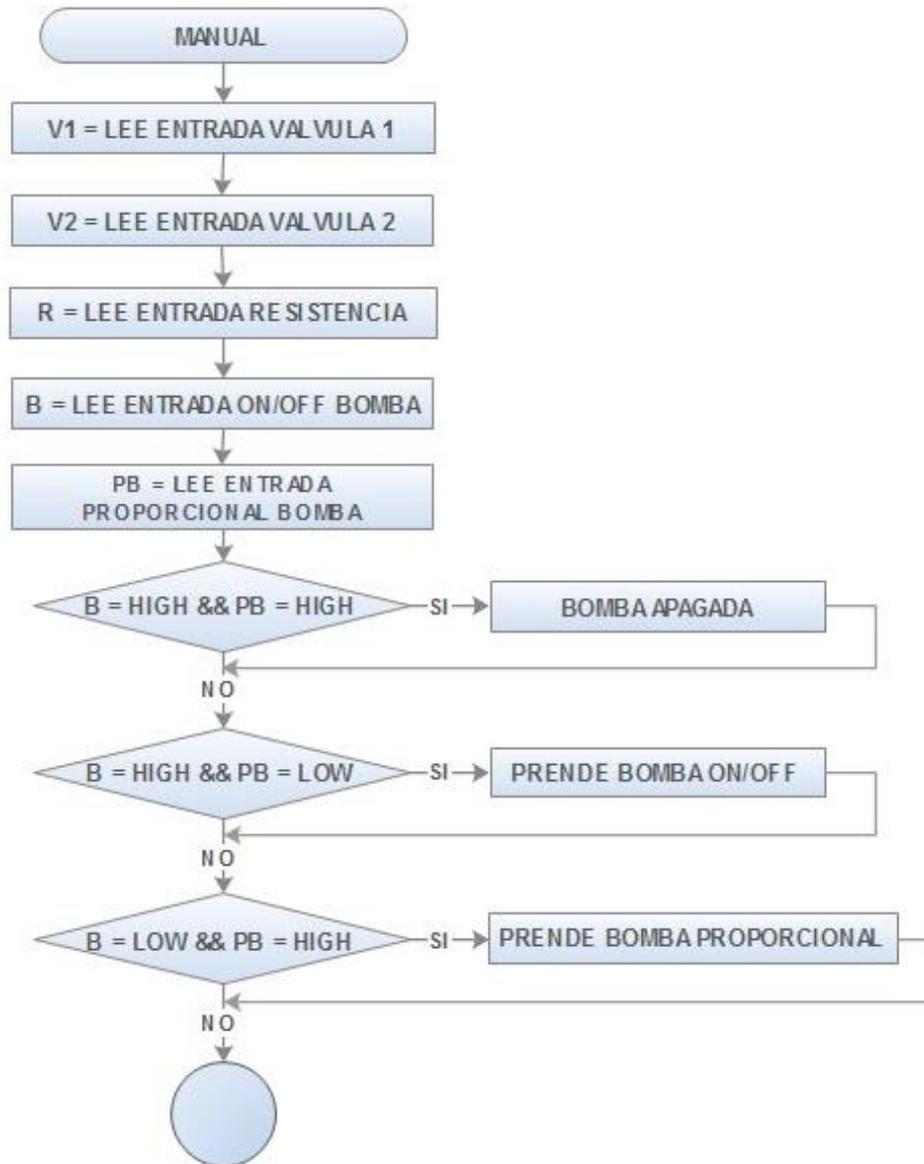
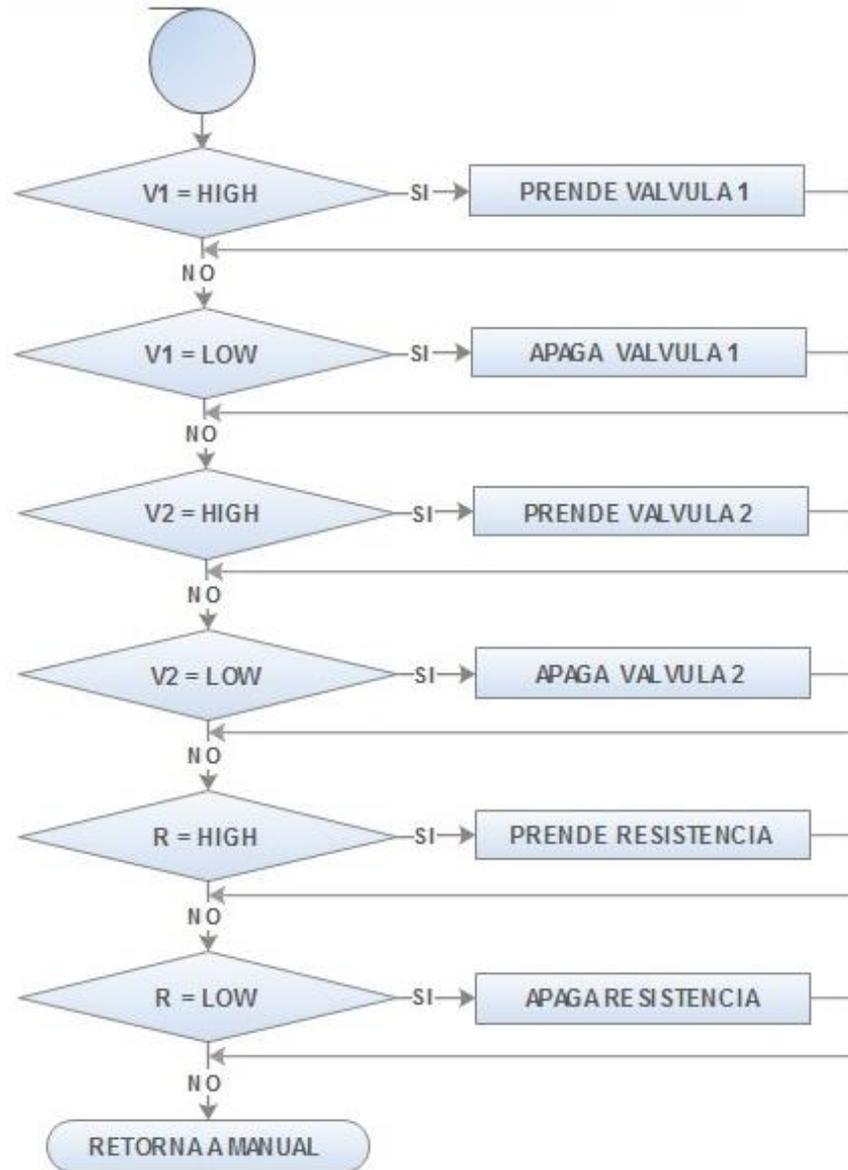


Figura 32. Diagrama de flujo de la Segunda parte de la Subrutina Manual.



En modo automático la tarjeta espera la información desde la interfaz gráfica, donde el usuario indica que desea realizar, es decir, si desea prender/apagar actuadores, prender proporcionales, control automático de nivel o temperatura, monitoreo de las variables, valor deseado de nivel o temperatura y PID para Bomba o Válvula. El diagrama de flujo de esta subrutina se puede ver en las figuras 33 y 34.

Figura 33. Diagrama de flujo de la Primera parte de la Subrutina Software.

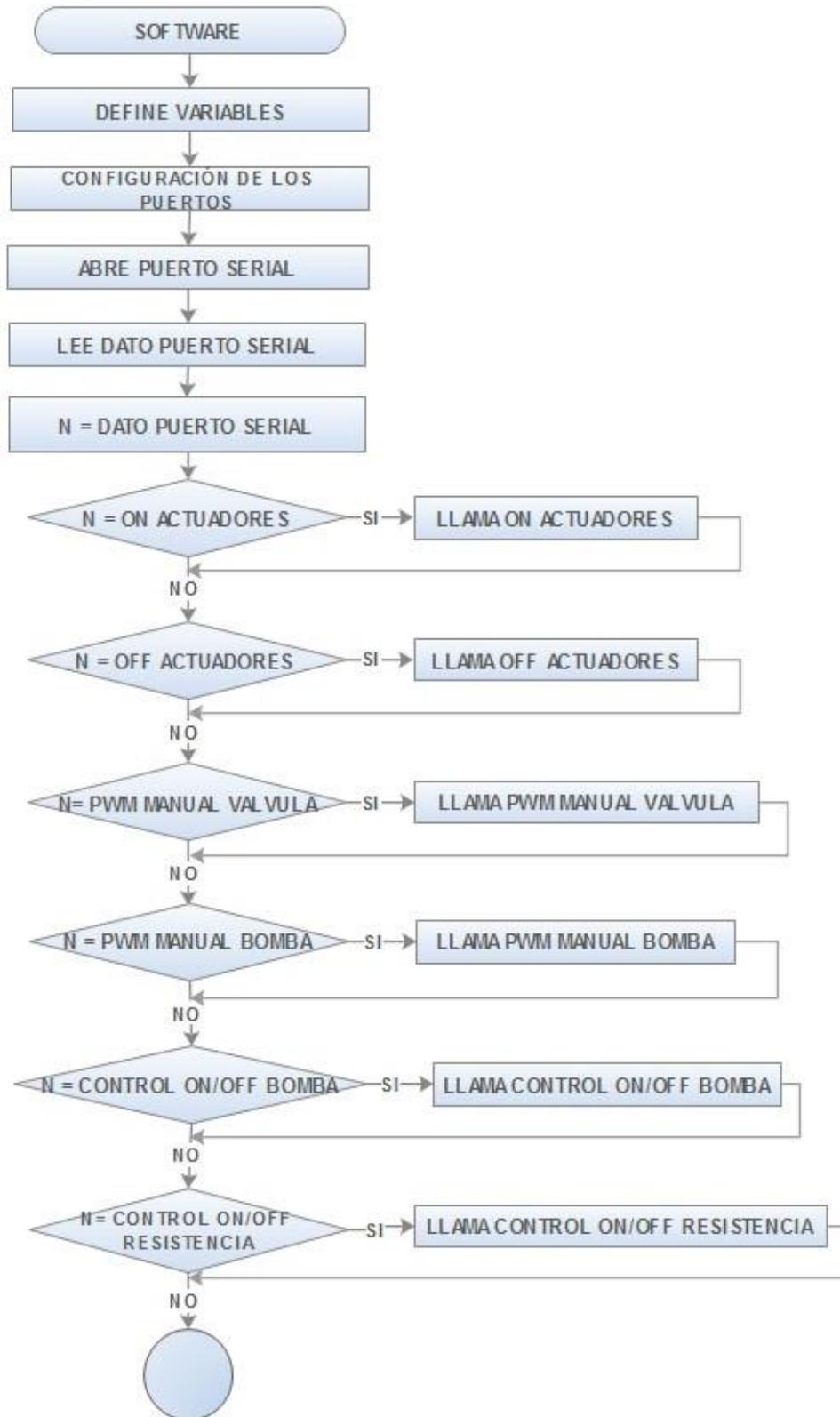
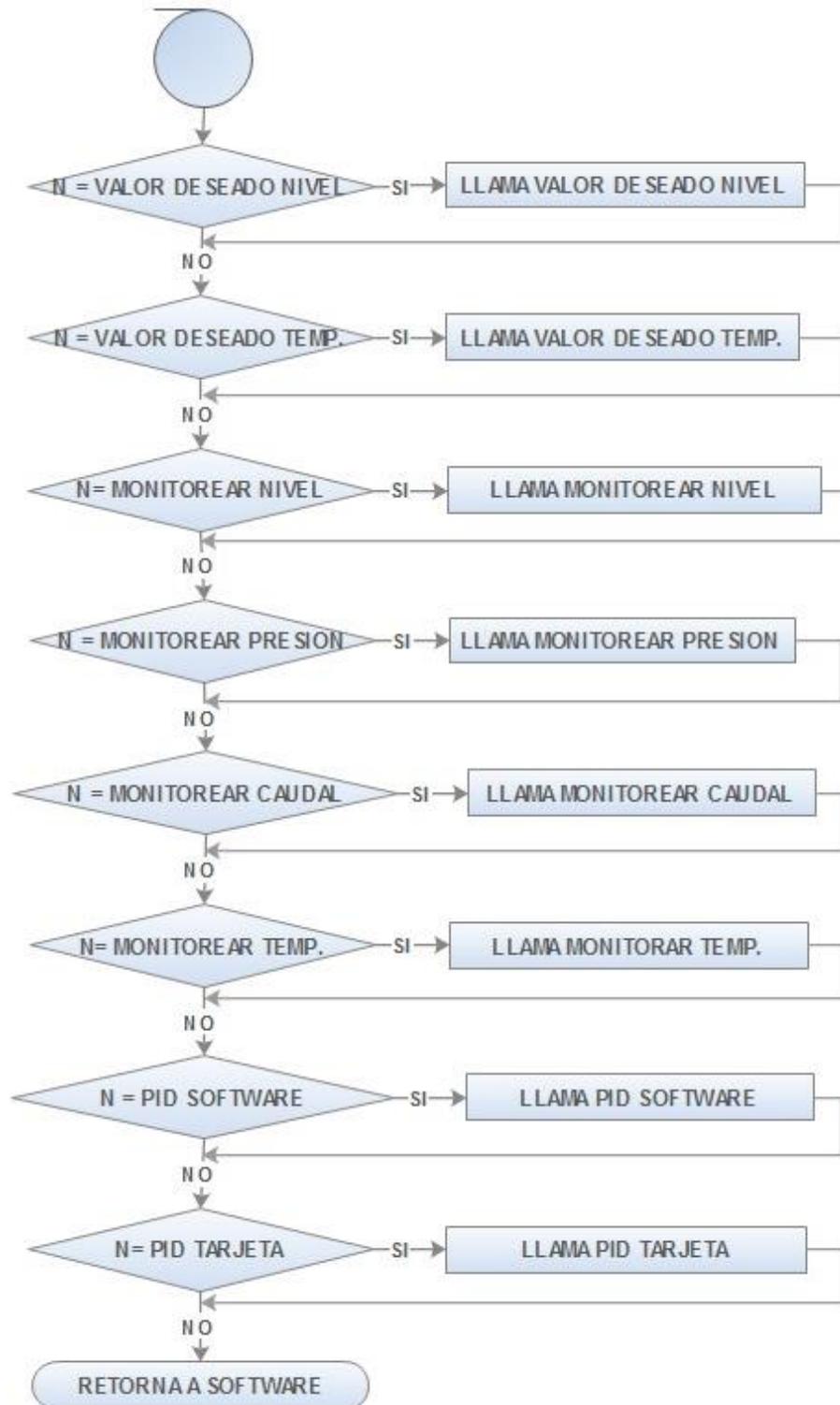


Figura 34. Diagrama de flujo de la Segunda parte de la Subrutina.

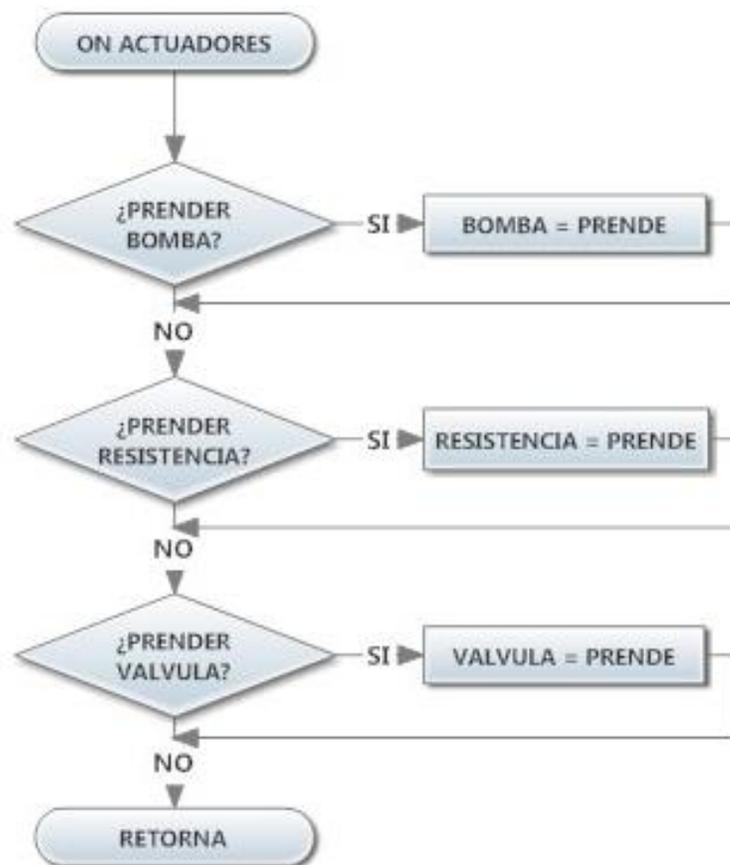


Las opciones que da el usuario entran en subrutinas respectivamente y estas opciones se explican a continuación:

3.3.3. Programación para el encendido (ON) de los actuadores.

El usuario puede indicar si desea prender alguno de los actuadores o si desea prender dos o los tres al tiempo, luego envía esta información a la tarjeta para que realice lo indicado por el usuario. Posteriormente, el diagrama de flujo de esta subrutina es el que se observa en la figura 35.

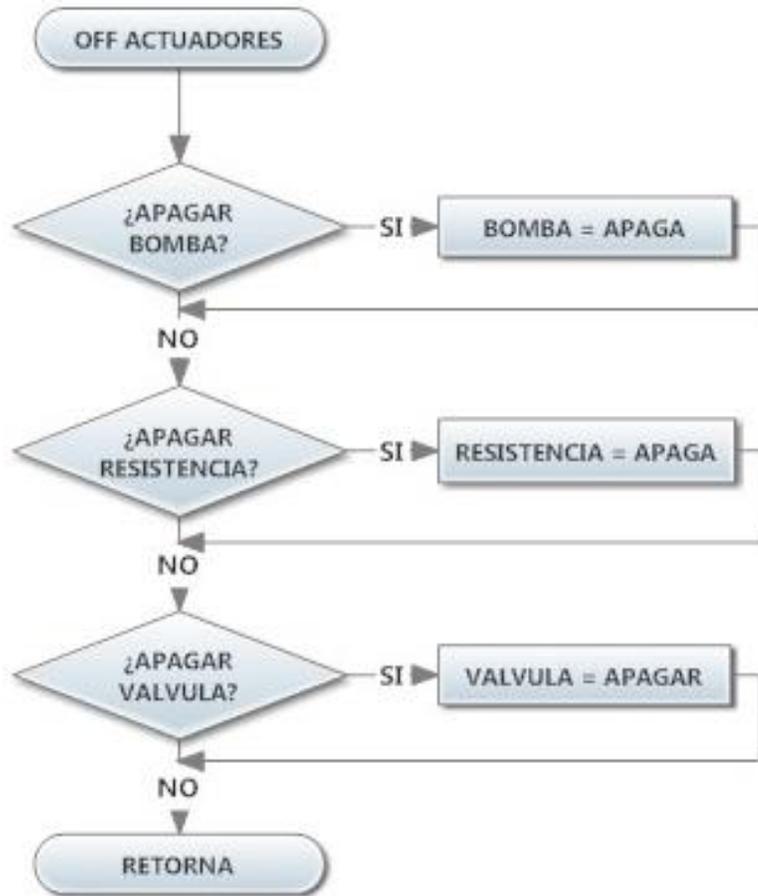
Figura 35. Diagrama de flujo para el encendido (ON) de los Actuadores.



3.3.4. Programación para el apagado (OFF) de los actuadores.

Para la opción de apagado de los actuadores, el usuario decide que desea apagar, es decir, si desea solo uno, dos o todos al tiempo; posteriormente esta información es enviada y procesada dentro de la tarjeta. Entonces el diagrama de flujo que se obtiene es el que se observa en la figura 36.

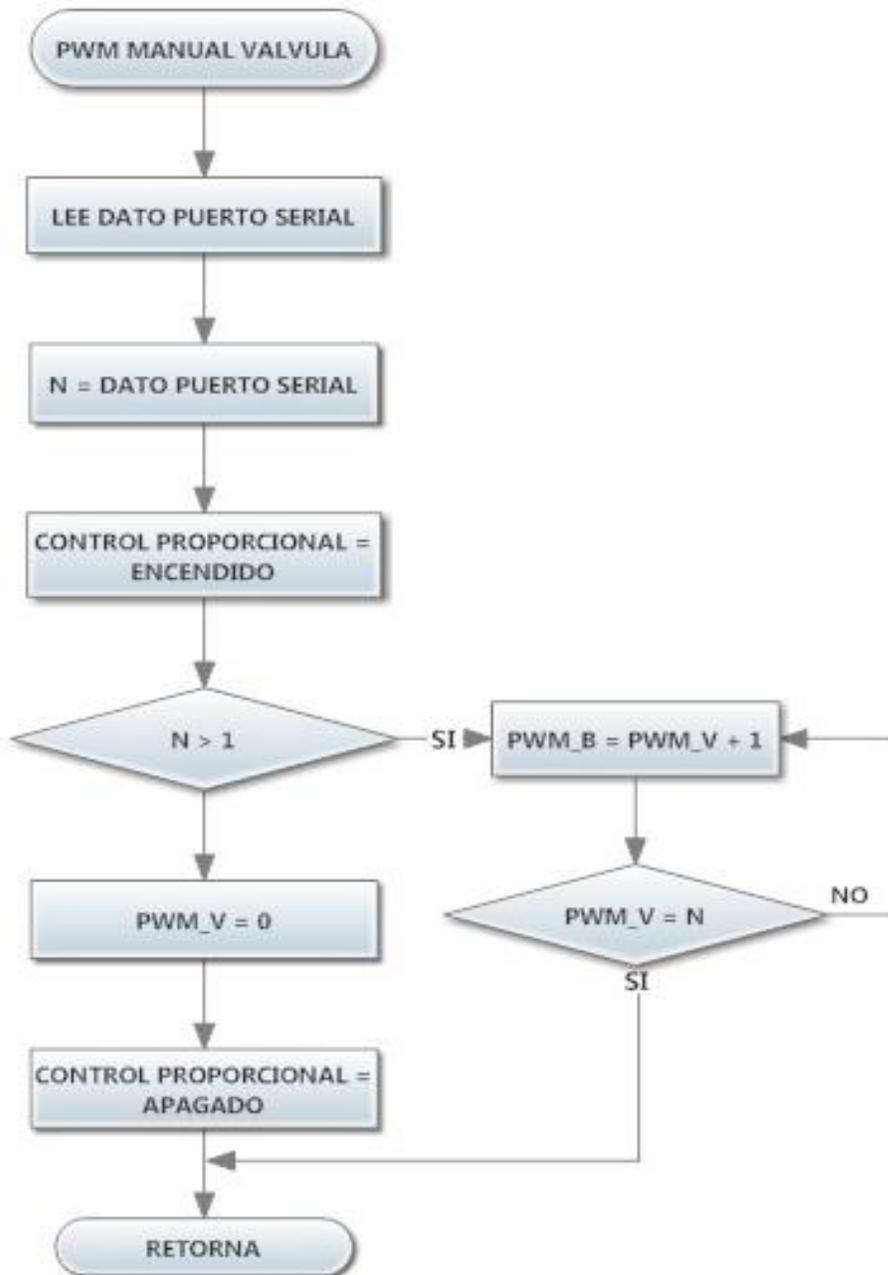
Figura 36. Diagrama de flujo para el apagado (OFF) de los Actuadores.



3.3.5. Programación para el PWM manual de los Actuadores.

Cuando el usuario desea controlar el Proporcional para el actuador especificado ya sea bomba o válvula 2, debe indicar el valor que desea que inicie y cuando desee terminar, debe solo cerrar el programa; luego esta información la recibe la tarjeta y realiza lo indicado por el usuario. El diagrama de flujo obtenido para esta subrutina es la que se ve en la figura 37, como ejemplo para la válvula 2 e igualmente sirve para la bomba.

Figura37. Diagrama de flujo para el PWM manual Válvula.

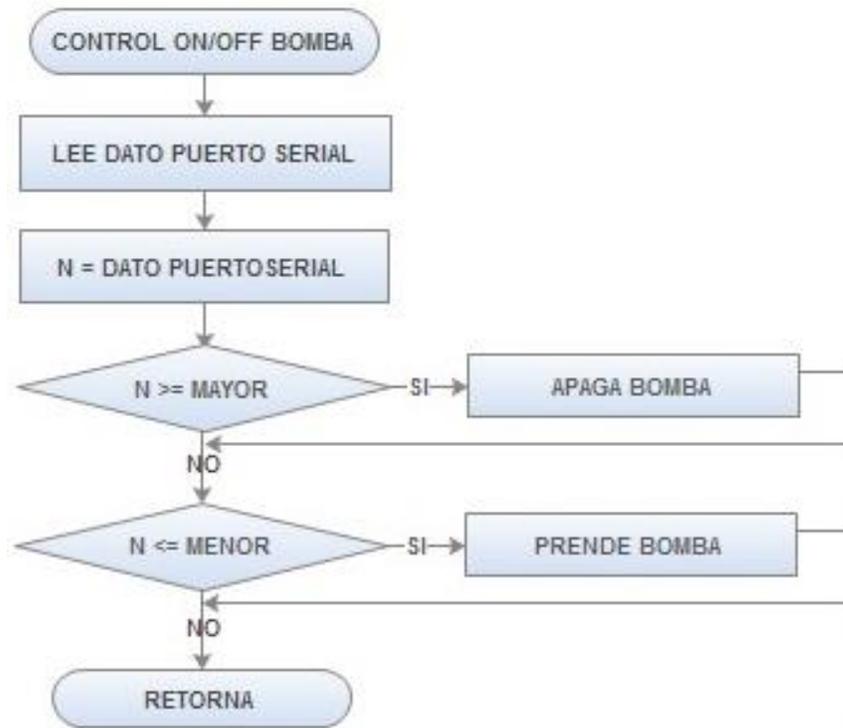


3.3.6. Programación para Control ON/OFF Actuadores.

Si el usuario desea esta opción debe indicar el valor máximo y mínimo que desea que se controle el nivel o la temperatura, para el encendido/apagado de la bomba o resistencia, respectivamente; la tarjeta lee estos datos e inicia el proceso hasta

que el usuario termine con esta opción. En la figura 38, se encuentra el respectivo diagrama de flujo para esta Subrutina, como ejemplo para la bomba e igualmente funciona para la resistencia.

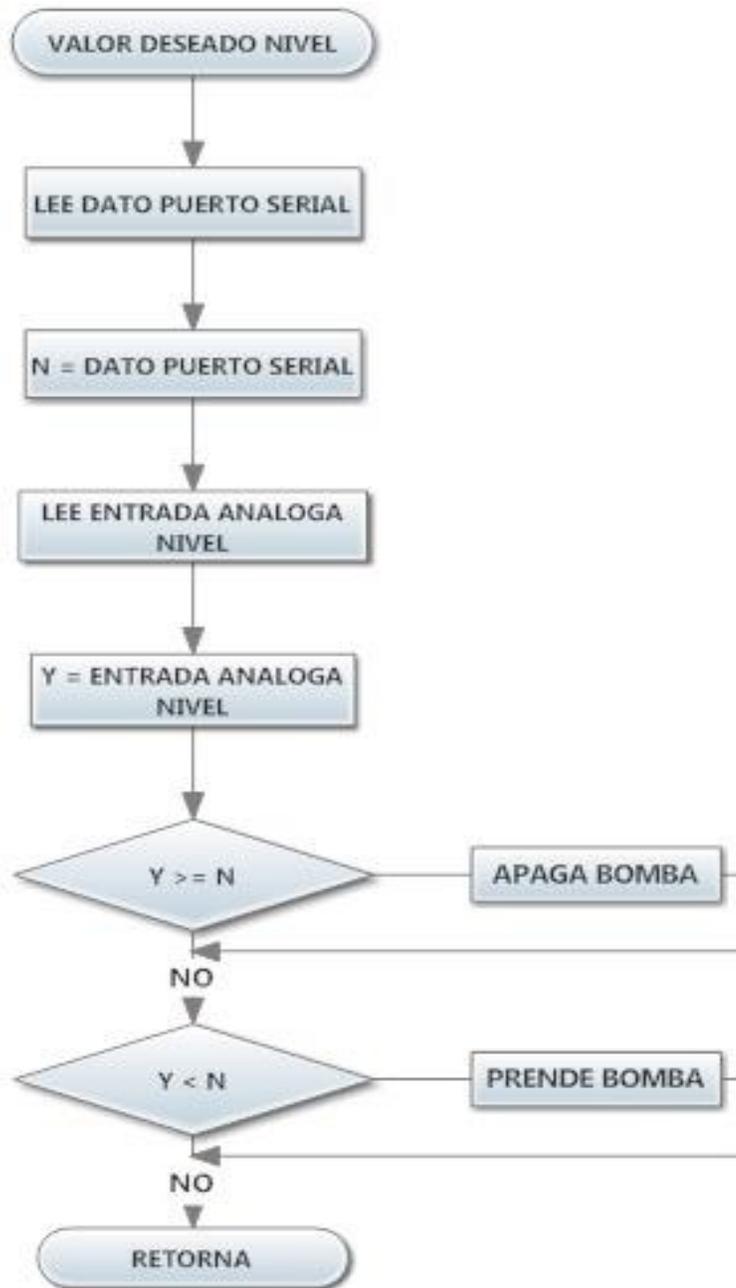
Figura 38. Diagrama de flujo para el Control ON/OFF Bomba.



3.3.7. Programación para el Valor deseado del Actuador.

Cuando el usuario desea tener un valor específico o deseado de Nivel o Temperatura, el usuario indica el valor y este se envía a la tarjeta para que lo realice y retorne el dato actual del valor del nivel o temperatura hasta llegar al valor que el usuario indicó. En la figura 39 se muestra el diagrama de flujo implementado para esta subrutina.

Figura 39. Diagrama de flujo para el valor deseado del Nivel.

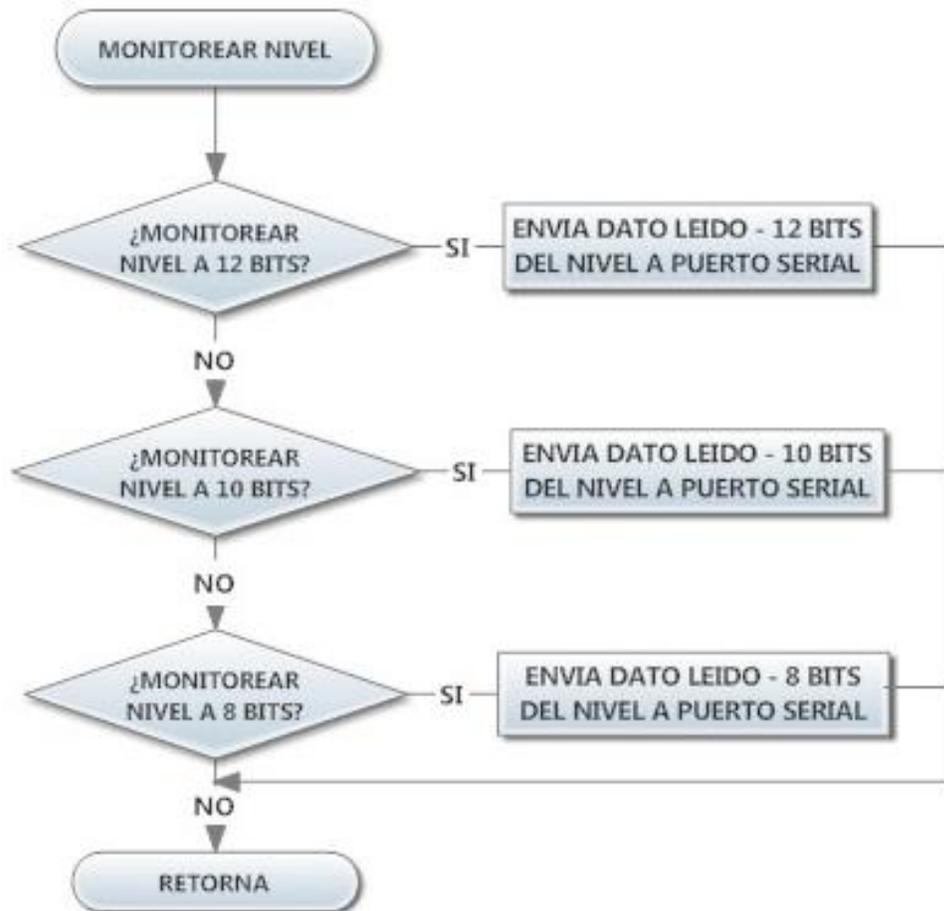


3.3.8. Programación para Monitorear variable.

Esta opción le permite al usuario monitorear alguna de las 4 variables (nivel, presión, caudal y temperatura), pero antes debe indicar a que resolución de bits

desea que se monitoree la variable y luego la tarjeta recibe la información para procesarla y enviar el dato que lee de la variable correspondiente. En la figura 40. Se observa el diagrama de flujo para esta subrutina como ejemplo para el Nivel y de la misma forma sirve para las otras 3 variables.

Figura 40. Diagrama de flujo para Monitorear Nivel.



3.3.9. Implementación del PID desde la Tarjeta.

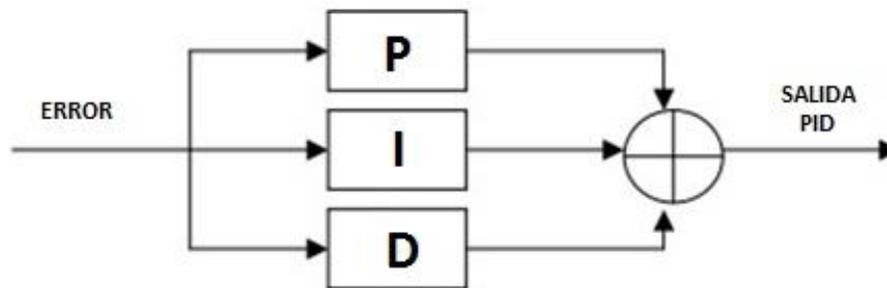
La implementación del PID se realiza con el fin de que sea configurable por el usuario, sin embargo se realiza los cálculos para dejar unas constantes predeterminadas de PID, donde el usuario puede observar el control de la planta.

El diseño de este PID Digital o PID Básico es diseñado para el control de cualquier variable proporcional, que está dado por la función de transferencia de la expresión

general de la ecuación (4). Es un PID de Algoritmo Paralelo¹⁴, siendo el algoritmo más general y utilizado en la programación. Donde las acciones P, I, D actúan directamente sobre la señal de error, como se observa en la figura 41. Cada una de estas acciones de control se pueden variar por separado, sin que ello, pueda inducir a cambios en las demás acciones de control.

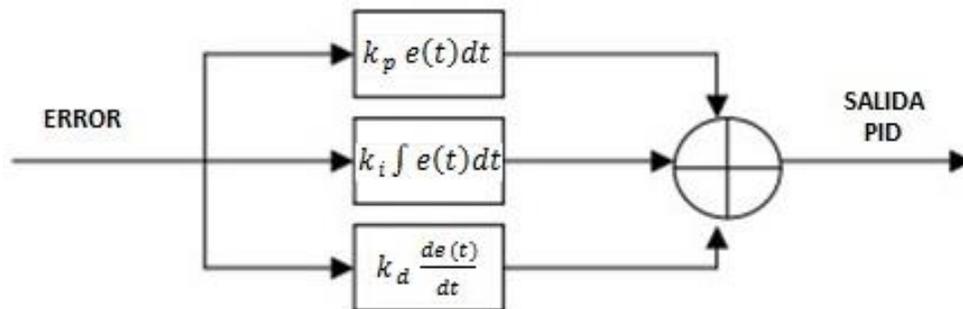
$$G_C(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Figura 41. Algoritmo PID paralelo



Donde, la acción Proporcional (P) está dado por la primera parte de la ecuación (4) que sería $P = k_p e(t)$, luego la acción Integral (I), que está dada después de primera suma $I = k_i \int e(t) dt$ y por último la Derivativa (D), que está en el segundo sumando siendo $D = k_d \frac{de(t)}{dt}$. Quedando como se ve en la figura 42.

Figura 42. PID Paralelo con las ecuaciones



¹⁴ **Angulo Bahón, Cecilio y Raya Giner, Cristóbal.** *Tecnología de sistemas de control.* 1ra. Edición. Barcelona : Ediciones UPC, S.L., 2004. p. 42.

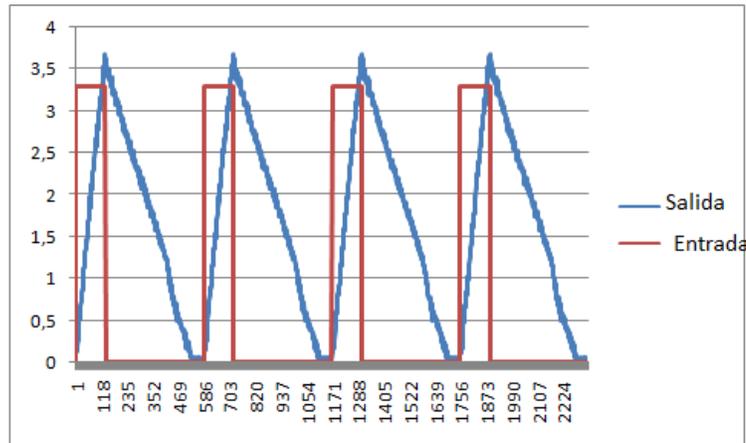
Implementando entonces las Reglas de Ziegler - Nichols, se tiene la ecuación (5), en el dominio s.

$$U(s) = k_p \left[1 + \frac{1}{T_i} + T_d \right] E(s) \quad (5)$$

Donde, $U(s)$ es la entrada de control del proceso, K_p es la ganancia proporcional, K_p , es la ganancia proporcional, T_i , es la constante de tiempo integral y T_d , es la constante de tiempo derivativa.

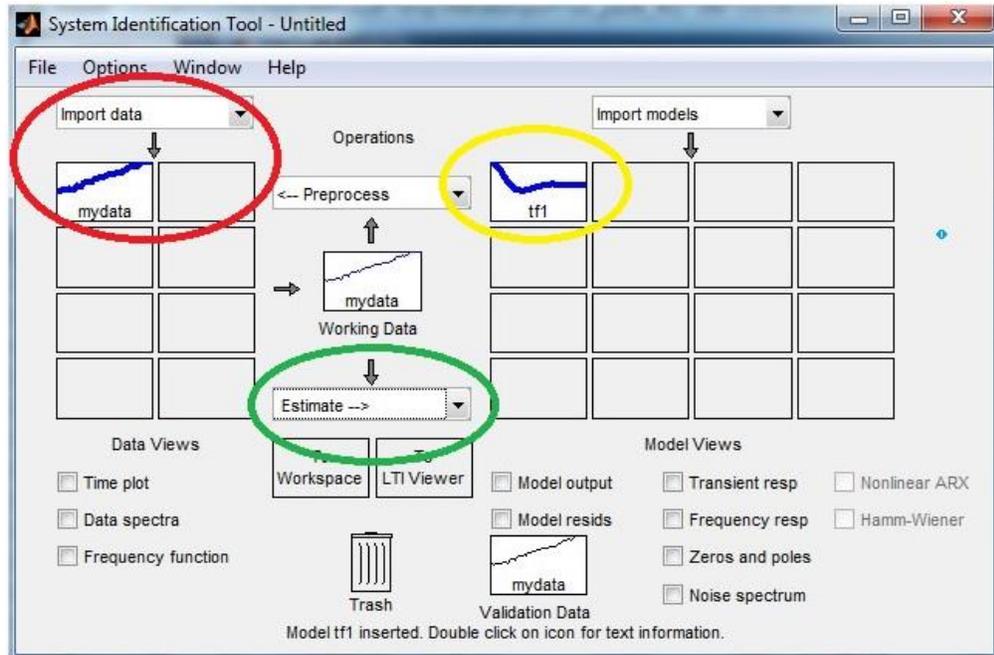
Para la identificación de la planta se recurre a utilizar un tren de pulsos por medio de un generador de señales, a su vez, se conecta a la señal de salida un osciloscopio, con el fin de observar el comportamiento dinámico que presenta la variable (Nivel), tanto en el llenado del tanque como en el vaciado. En la figura 43, se observa el tren de pulsos que ingresa al sistema (rojo) comparado con la respuesta obtenida del sistema (azul).

Figura 43. Tren de pulsos vs Respuesta planta.



Posteriormente, para obtener la función de transferencia se implementa el tools de reconocimiento de Matlab (ident), facilitando los datos de entrada y salida de la planta. Por consiguiente, estimando la función de transferencia, en la figura 44, se visualiza la ventana del ident. En el círculo se importan los datos de entrada y salida; para el círculo verde, se selecciona la opción de estimar la función de transferencia y el círculo amarillo muestra la función de transferencia estima por el programa.

Figura 44. Ventana Ident.



El resultado de la función de transferencia que se obtuvo en tiempo discreto, se puede ver en la figura 45.

Figura 45. Función de Transferencia del Nivel.

$$\frac{0.0102 s + 6.8e-05}{s^2 + 0.01042 s + 1.54e-05}$$

Por consiguiente, se procede a calcular las constantes K_p , K_i , K_d , que se ajustan a los parámetros exigidos por el sistema, ya que en el momento de discretizar la función de transferencia por el método ZOH, se obtiene una función de transferencia de 4 orden en discreto, puesto que, al calcular las constantes se torna complejo; por tal motivo se decide realizar estos cálculos con la ayuda de matlab, obteniendo los siguiente resultados: en la figura 46, se observa la ubicación de los polos dentro del círculo unitario y definiendo su estabilidad. Luego se procede a calcular las constantes del controlador, para graficar el comportamiento del controlador, como se muestra en la figura 47.

Figura 46. Ubicación de polos en Circulo Unitario.

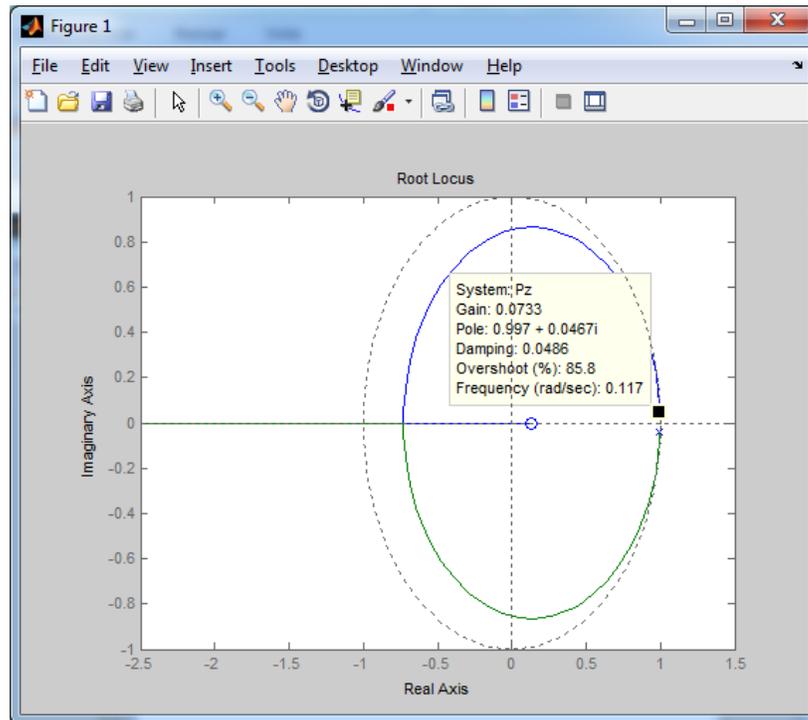
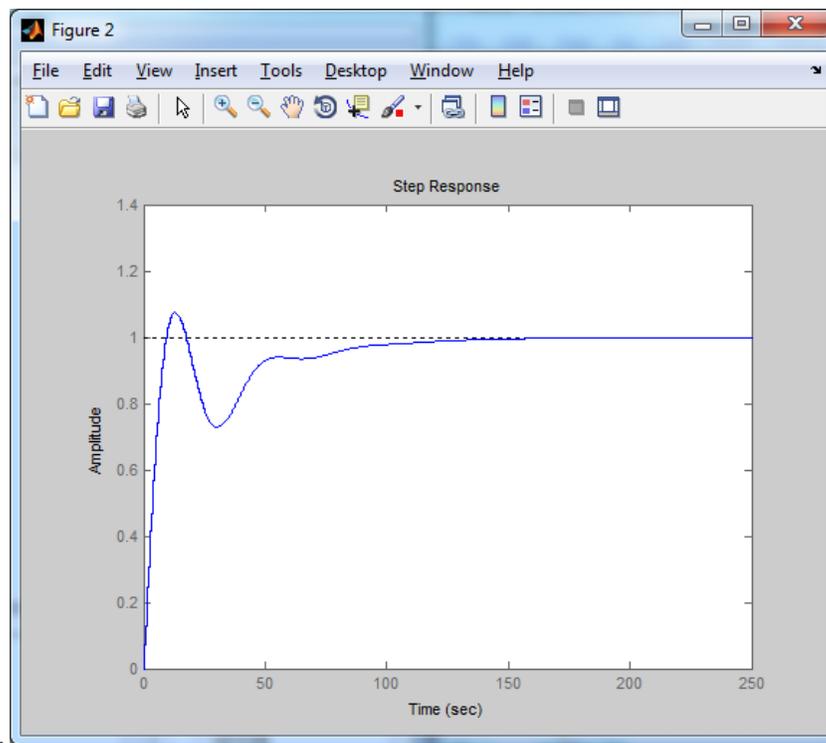


Figura 47. Respuesta del controlador.



Los valores obtenidos para las constantes se pueden ver en la figura 48.

Figura 48. Constantes k_p , k_i y k_d .

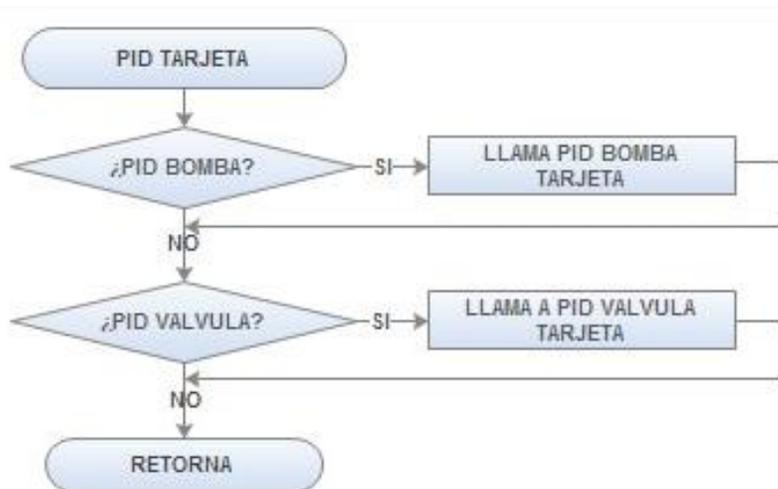
$K_p =$
0.4800

$K_d =$
3.1416

$K_i =$
0.0183

Posteriormente de realizar los cálculos, entonces el programa dentro de la tarjeta queda de la siguiente forma: el usuario debe indicar inicialmente si va a trabajar para controlar la variable de nivel con la bomba o con la válvula y dependiendo de eso la tarjeta entra a la subrutina respectiva. En la figura 49 se puede observar el diagrama de flujo, respectivamente.

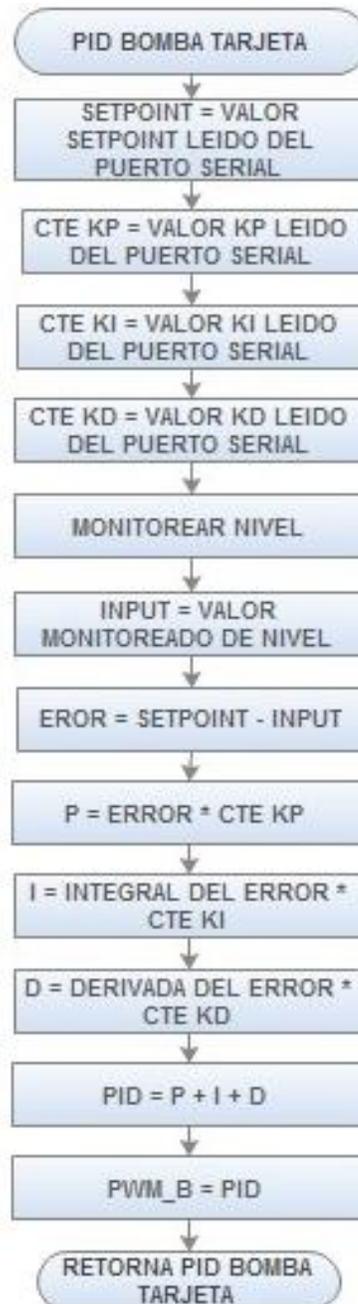
Figura 49. Diagrama de flujo para el PID desde la Tarjeta.



a) PID variable tarjeta: El usuario debe indicar el valor para K_p , K_i , K_d y Setpoint, además de la resolución de bits deseada para monitorear la variable, por consiguiente, estos datos son enviados a la tarjeta, donde el procesa las ecuaciones respectivas para el control del PID paralelo y controla la

apertura/cierre de la bomba o válvula 2. Luego retorna el valor leído del monitoreo del nivel a la interfaz gráfica. En la figura 50, se observa el diagrama de flujo para el PID Bomba.

Figura 50. Diagrama de flujo para el PID Bomba Tarjeta.



4. CAPÍTULO. INTERFAZ GRÁFICA (SOFTWARE)

Este capítulo describe la implementación, desarrollo y programación de una interfaz gráfica, la cual controlará la planta por medio de la comunicación de la tarjeta de desarrollo.

4.1. LABVIEW

Labview es un software comercial, que se puede conseguir tanto para la industria como para la parte académica (estudiante). Es reconocido por su fácil manejo de programación y su entorno gráfico. El entorno de trabajo que maneja Labview está dado por dos ventanas: a) Panel Frontal, donde se encuentran los iconos o bloques representativos tanto de cifras como operaciones y b) Diagrama de Bloques, donde los iconos de la otra ventana aparecen como bloques en esta ventana, para ser conectados y/o realizar las operaciones. Es un programa compatible con varios tipos de tarjetas de desarrollo y adquisición de datos, además de que puede realizar comunicación serial, USB. Puede trabajar en tiempo real, realizar simulaciones entre otras tareas.

4.1.1. Comunicación Serial Con La Tarjeta De Desarrollo.

La comunicación de la tarjeta con Labview es por medio de comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios, ya que el tiempo de respuesta de la planta es lento y no es necesario una velocidad mayor. El programa de Labview, facilita la comunicación por medio de un paquete complementario llamado NI-VISA, para ser instalado, comunicando el puerto físico (tarjeta) con el programa de Labview. Este paquete se puede conseguir desde la página principal de Labview, dependiendo de la versión que se tenga.

NI-VISA, contiene librerías, que se prestan para la interacción como el seguimiento en NI de I/O y el Control Interactivo de VISA (Arquitectura de software virtual, para la configuración, programación, solución de problemas para sistemas de instrumentación). También cuenta con programas para la configuración para todas las necesidades del desarrollo. Para la instalación del paquete, se realiza descargando el paquete desde la página principal de NI.

4.2. MATLAB

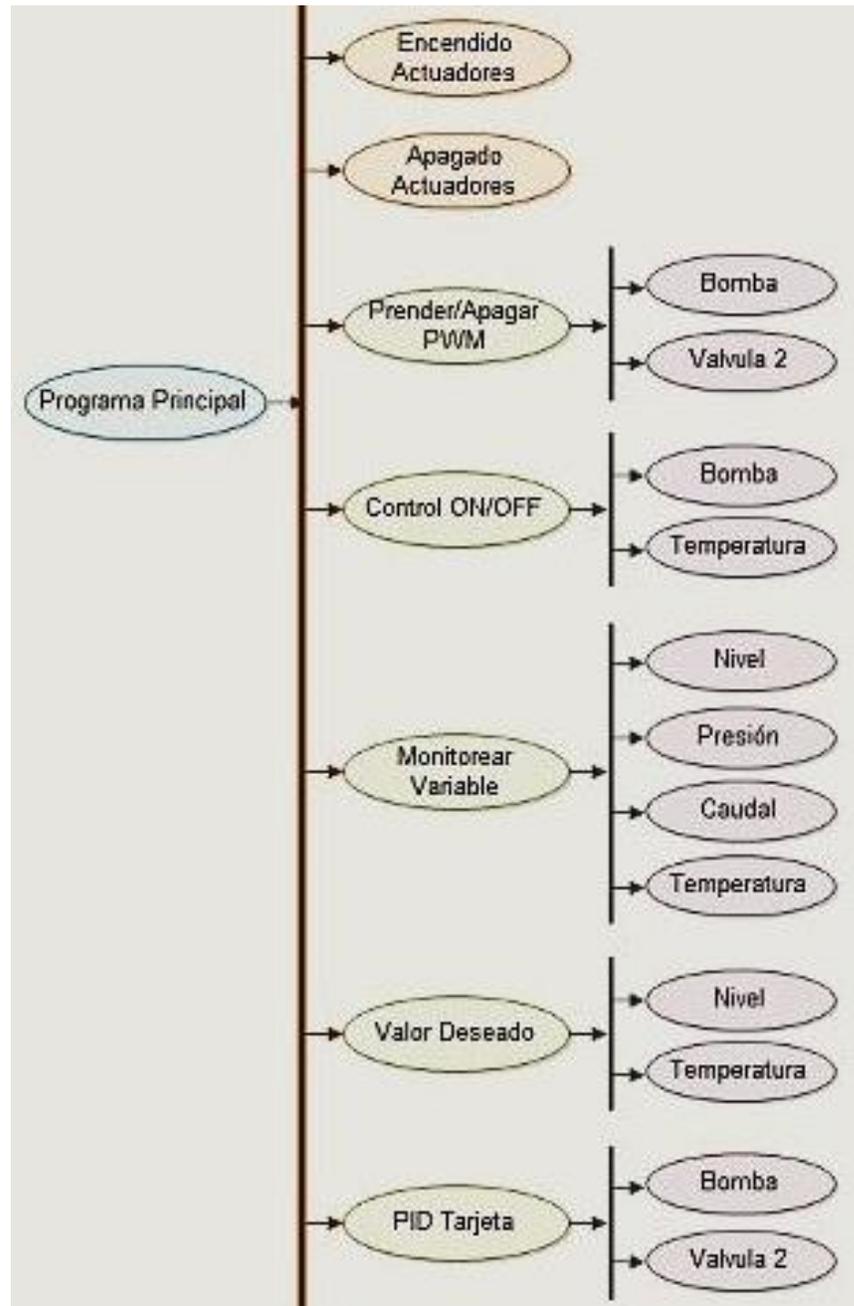
Matlab, es un software muy reconocido a nivel académico e industrial. Es una de los programas que permite crear/diseñar Interfaz Gráfica por medio de líneas de código o directamente con un entorno de bloques/iconos, que crea automáticamente un archivo .m donde se registra en líneas de código lo que ha

diseñado en el entorno del GUIDE; en este .m puede programar los botones e iconos del diseño. Es un programa con fácil acceso a conexiones con tarjetas de desarrollo, entre otras; esto, por medio de conexión Serial o USB. Trabaja en tiempo real, puede simular varias tareas además de que permite instalar complementos, que mejoran el funcionamiento del programa.

4.3. PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA LABVIEW

La interfaz gráfica para Labview tendrá una página principal y las subventanas para las opciones que el usuario desee. En la figura 59, se observa el primer círculo que indica la ventana del programa principal, luego las opciones disponibles para controlar la planta, los dos primeros círculos en naranja nos indican las opciones de encendido y apagado de los actuadores (Bomba, Válvula 1, Resistencia), estas dos opciones no abren subventanas, solo envían la información directa de que actuador el usuario indico, encender o apagar. Por consiguiente, están los círculos verdes que abren subrutinas, primero está la opción de prender o apagar el PWM y están más adelante los círculos morados que indican que actuadores pueden encender en esta opción; la segunda opción es el control ON/OFF con círculos morados que indican que puede ser usado para la bomba y la temperatura; la tercera opción es el de monitorear las variables ya sea nivel, presión, caudal o temperatura; la cuarta opción es el valor deseado y los círculos morados muestran que son para el nivel y la temperatura; por último esta la opción del PID Tarjeta e indica que es para ser usado para controlar las variables Bomba y Válvula 2, respecto al Nivel.

Figura 51. Diagrama de flujo de la rutina del Programa Principal de Labview.

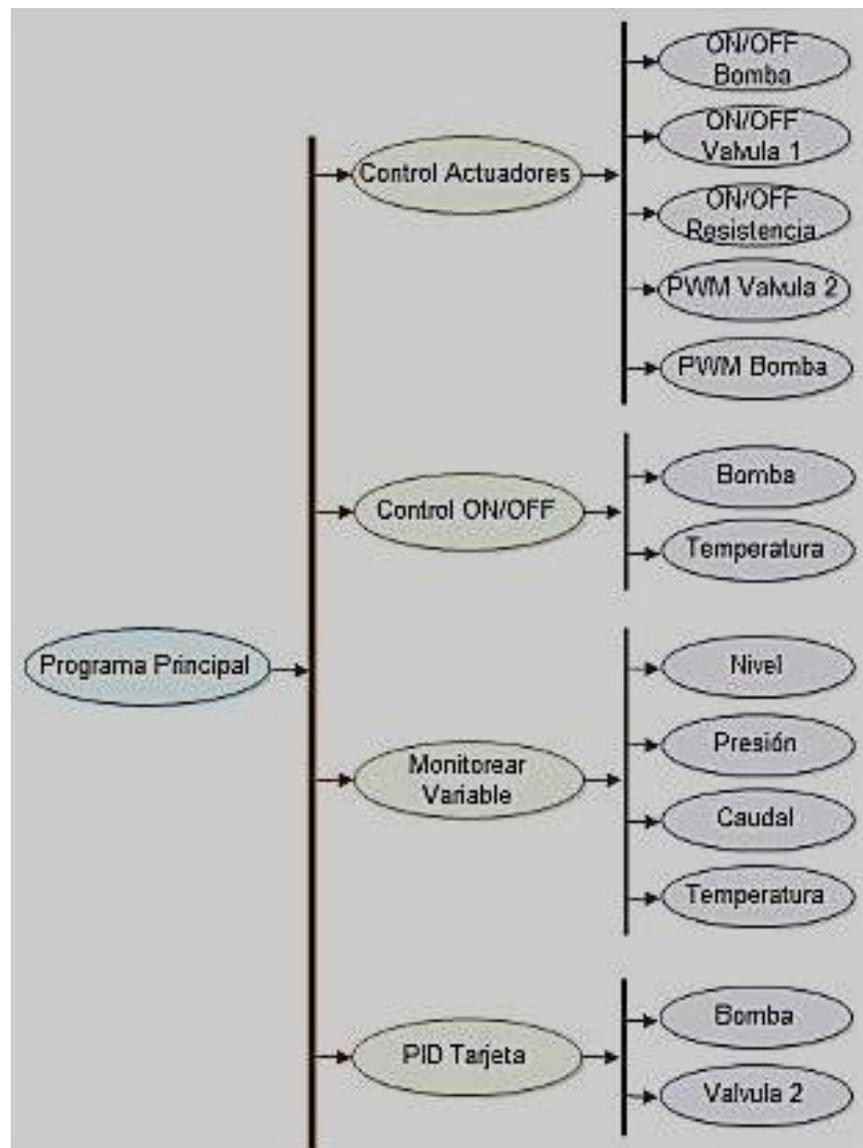


4.4. INTERFAZ GRÁFICA CON MATLAB

La interfaz gráfica para Matlab está diseñada para la comunicación con la tarjeta y que pueda enviar las órdenes que el usuario desea controlar en el banco. En la

figura 52, se observa el diagrama de flujo del programa, donde inicia con el círculo azul el cual indica la ventana principal del programa, luego están los círculos verdes de las opciones que tienen el usuario y que abren subrutinas, el primer círculo verde es el control de actuadores, para el encendido/apagado y el manejo del proporcional de las respectivos actuadores que se ven en los círculos morados, la segunda opción es el control ON/OFF para la bomba y la temperatura, posteriormente esta la opción de monitorear las variables para nivel, caudal, presión y temperatura como se muestra en los círculos morados correspondientemente para estas opciones y por último esta PID Tarjeta con sus respectivas opciones.

Figura 52. Diagrama de flujo del Programa Principal Matlab.



5. CAPÍTULO. RESULTADOS DEL PROYECTO

En este capítulo consta de todos los resultados obtenidos del diseño de la tarjeta de adquisición de datos, la programación de la tarjeta de desarrollo, de los software. Además del funcionamiento de la planta con todo el montaje.

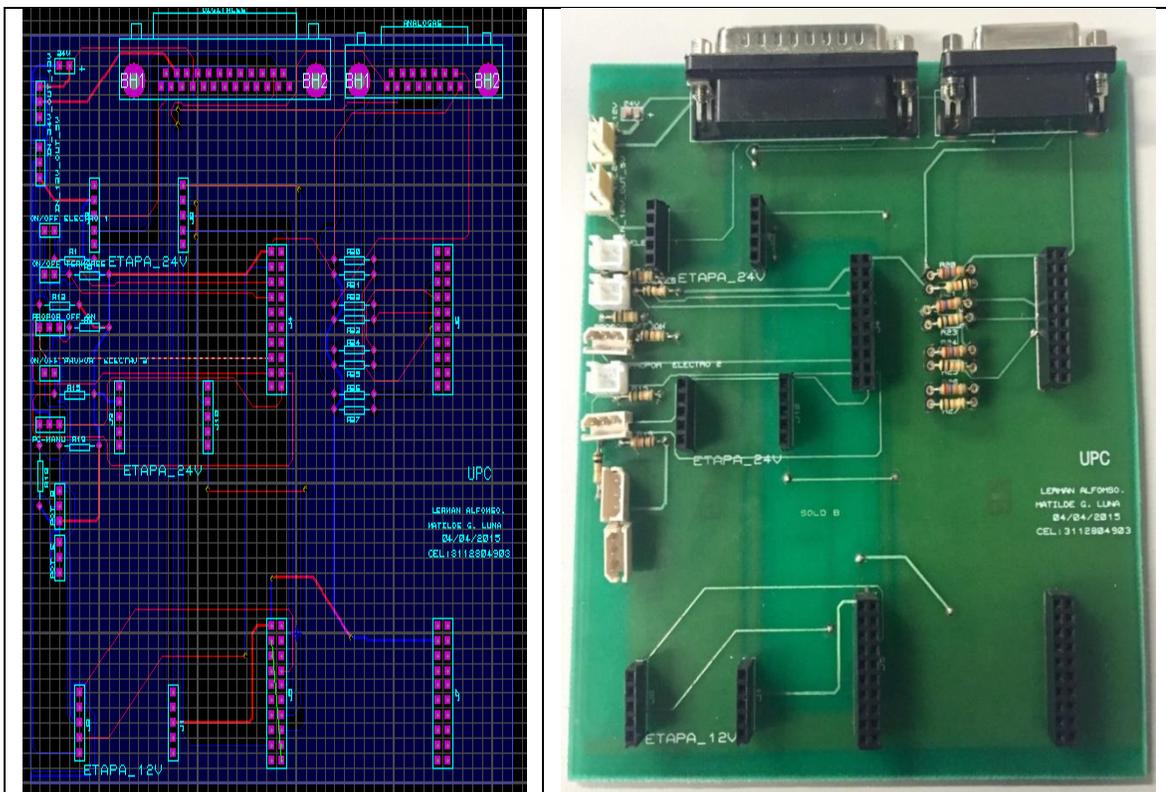
5.1. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El diseño final de los circuitos, se realizan por medio del programa Proteus. El cual nos facilita la simulación de los esquemáticos de los circuitos y a su vez exportarlos a ARES, donde se diseñan los impresos definitivos.

5.2. BASE TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Se diseña una tarjeta (Figura 53), donde se pueden ubicar de forma práctica los conectores a) y b) mencionados en 2.1., además de los interruptores para el modo Manual. Esta tarjeta cuenta con una base para alojar la Tarjeta de desarrollo (Texas) y también contiene tres bases para las etapas de amplificación para los Actuadores.

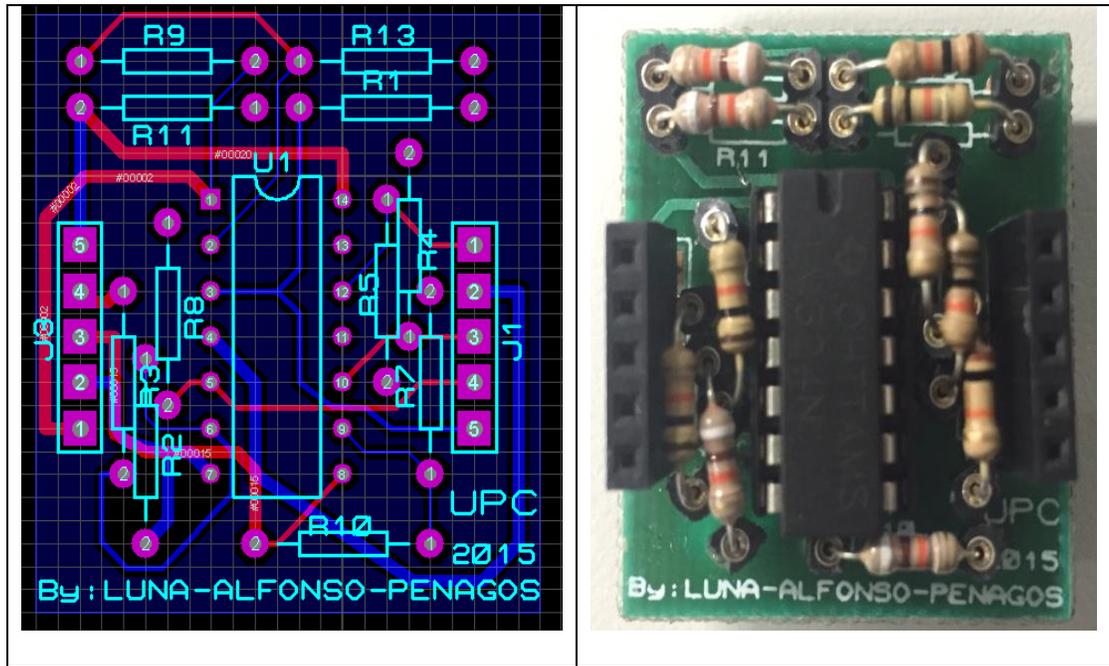
Figura 53. Circuito en Ares (Izq.) vs Circuito en Físico (Der.)



5.2.1. Tarjeta para Amplificación a 24 V.

Se diseña una tarjeta Figura 54. Circuito en Ares (Izq.) vs Circuito en Físico (Der.) la cual incorpora las etapas de amplificación para los 3 actuadores que manejan corrientes inferiores a 50 mA.

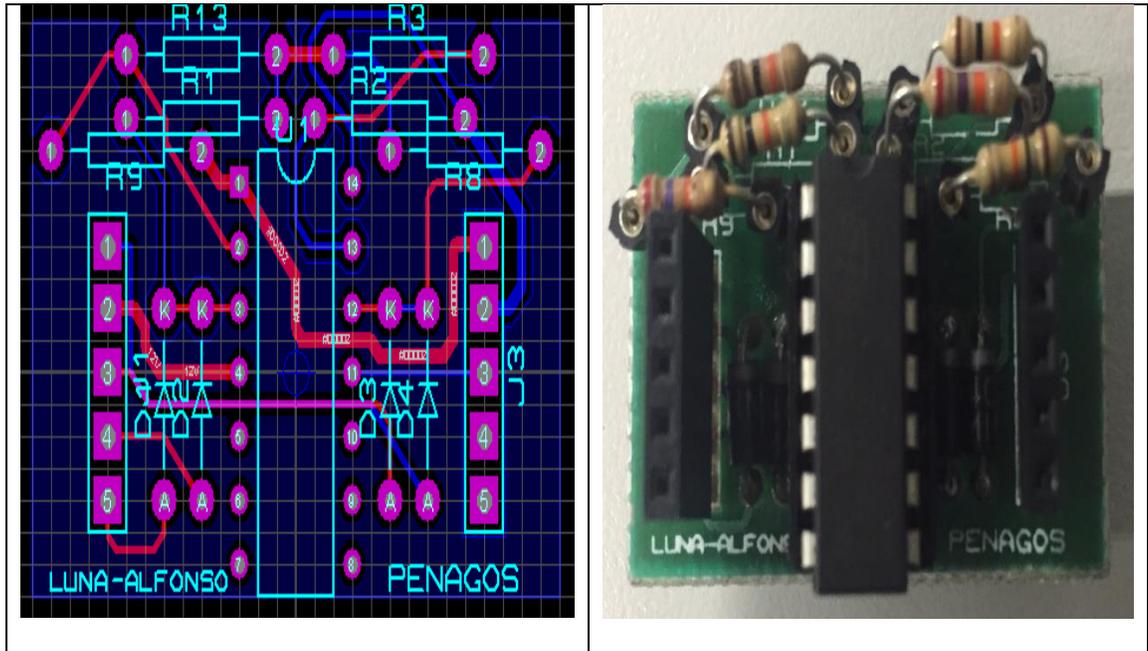
Figura 54. Tarjeta para Amplificación a 24V.



5.2.2. Tarjeta para Amplificación a 12V.

Para la amplificación de los PWM, se implementa un circuito con un amplificador operacional en configuración Amplificador No Inversor con ganancia de 3. Figura 55.

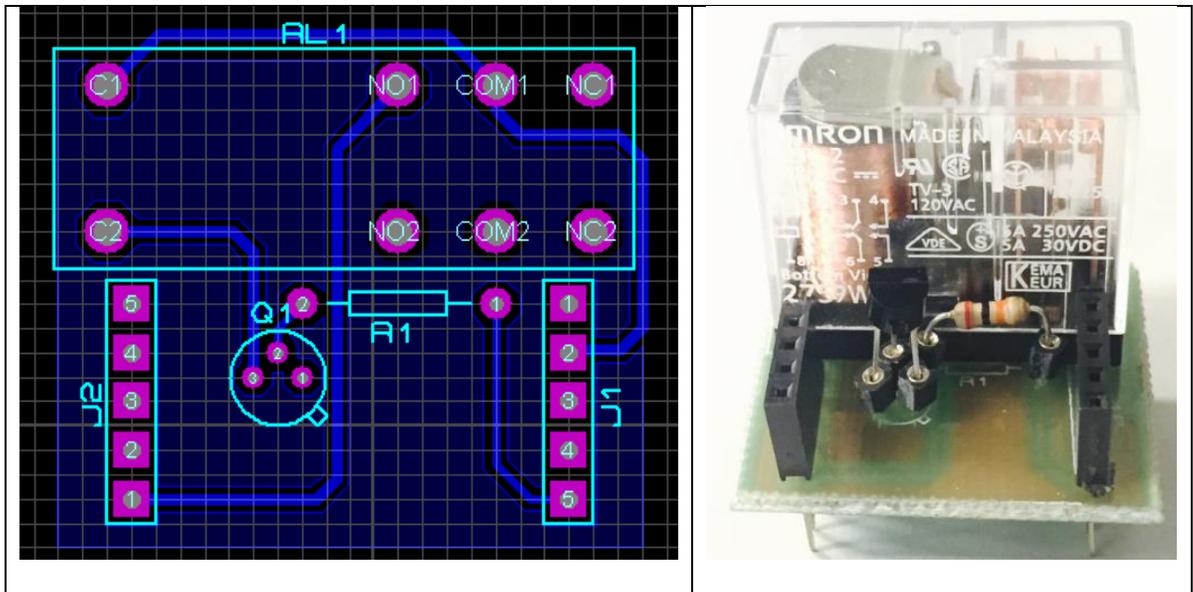
Figura 55. Circuito en Ares (Izq.) vs Circuito en Físico (Der.)



5.2.3. Tarjeta para Amplificación a 24 con rele-transistor

Para la etapa de potencia de la electroválvula 1 (Figura 92) fue necesario implementar un circuito relé-transistor debido a su alto consumo de corriente.

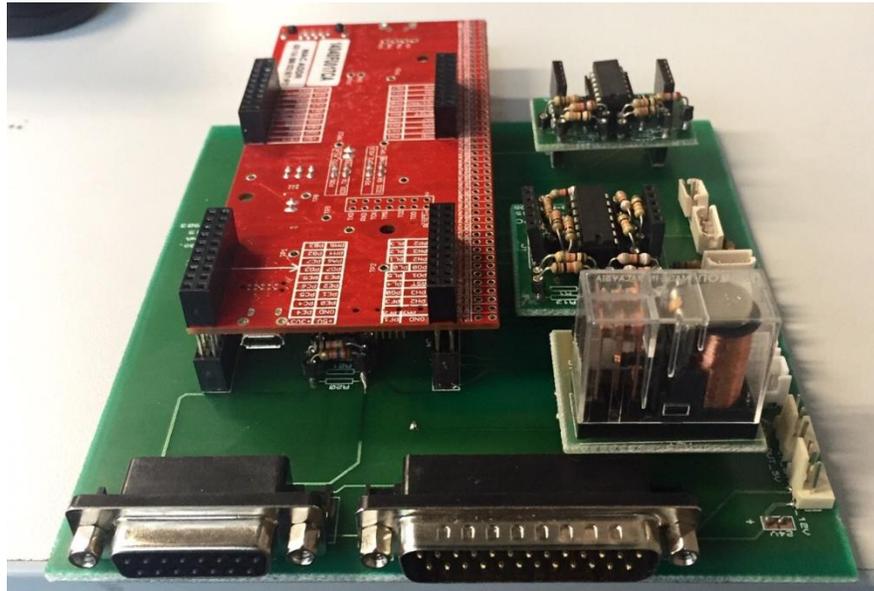
Figura 56. Circuito en Ares (Izq.) vs Circuito en Físico (Der.)



5.2.4. Tarjeta final

En la Figura 57, se puede ver el montaje de todas las tarjetas de potencia y tarjeta de desarrollo, a las bases de la tarjeta de adquisición de datos.

Figura 57. Montaje final.



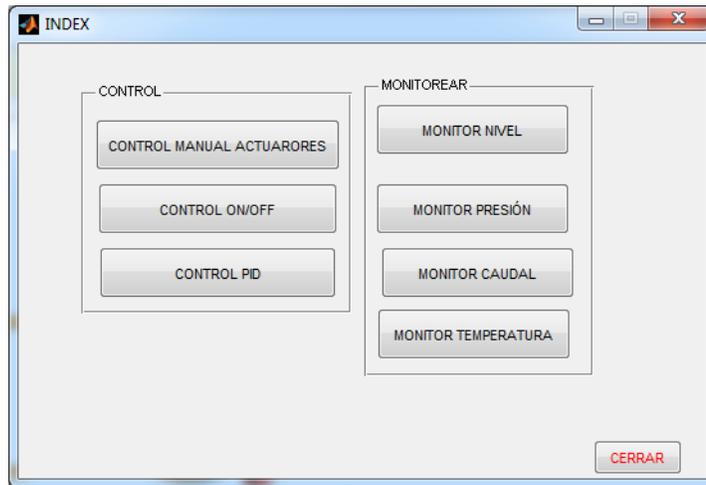
5.3. TARJETA DE DESARROLLO

Se realiza un programa el cual permite controlar el banco de forma Manual o por medio del Software (Matlab/Labview). Para el uso de del software debe ingresar ya sea a Matlab o Labview y leyendo el manual podrá comunicar: planta – tarjeta – software. El manual de usuario se puede ver en el Anexo 1 y la instalación: banco – tarjeta – PC en el anexo 2.

5.4. INTERFAZ GRÁFICA MATLAB

Por medio del uso de Matlab, se ha desarrollado una interfaz gráfica implementando la función GUIDE con la que cuenta este software. En la Ventana del Programa Principal llamado Index, se le da a conocer al usuario un menú con las diferentes opciones, ya sea para el Control o el Monitoreo. El panel de control incluye 3 modos diferentes de control y el panel de monitoreo permite conocer el estado de las cuatro variables que se controlan dentro de la planta, como se muestra en la Figura 58.

Figura 58. Ventana INDEX.

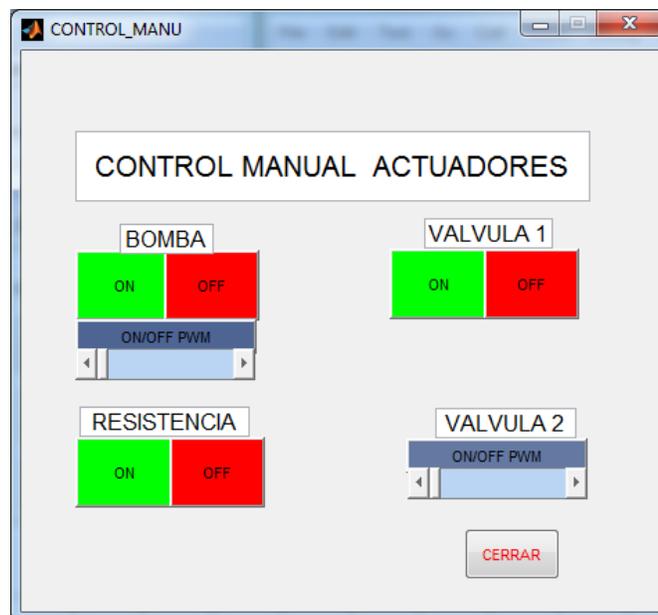


La selección para los botones de la figura anterior, dan apertura a una subventanas, las cuales se explican cada una, a continuación.

5.4.1. Control Manual Actuadores.

En figura 59, se puede observar la Ventana para el Control Manual Actuadores, donde le permite al usuario, controlar el Encendido y Apagado de los Actuadores, ya sea de manera ON/OFF o Proporcional (PWM), respectivamente.

Figura 59. Ventana Control Manual Actuadores.



5.4.2. Control ON/OFF

La ventana del Control ON/OFF que se muestra en la figura 60, le permite al usuario seleccionar cuál de las dos variables desea realizar el Control ON/OFF, las cuales son Nivel y Temperatura; dependiendo de la selección se abre una nueva subventana que sería: control ON/OFF *actuador seleccionado*.

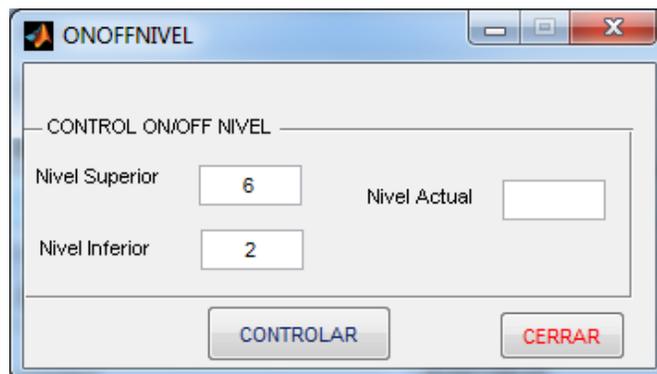
Figura 60. Ventana Control ON/OFF.



- **Control ON/OFF Actuador.**

En esta ventana (figura 61), el usuario debe indicar el valor inferior y superior para el Nivel deseado/Temperatura deseada. Donde el programa se encarga de mantener el nivel/temperatura entre estos límites y a su vez da a conocer el valor actual en el que se encuentra la variable controlada.

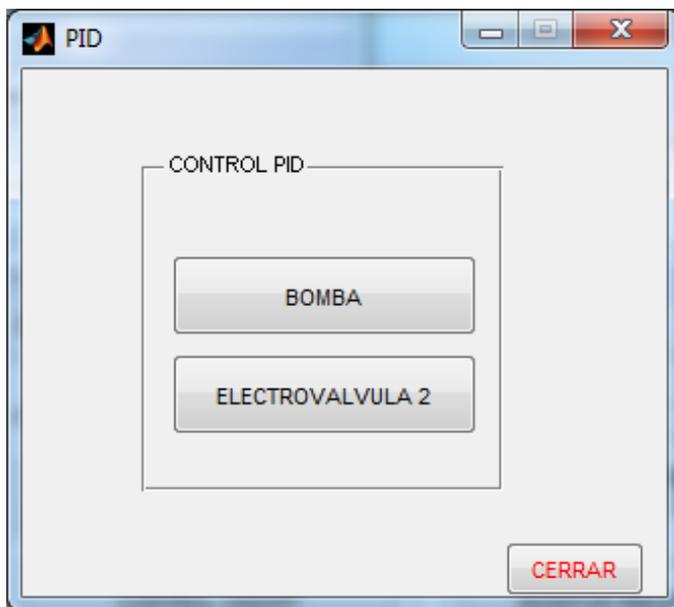
Figura 61. Ventana Control ON/OFF Nivel.



5.4.3. Control PID

Para la Ventana del Control PID (figura 62), se le da opción al operario de seleccionar alguno de los dos actuadores, los cuales pueden ser controlados proporcionalmente y facilitan la implementación de control PID; una vez seleccionado alguna de las dos opciones abre una nueva subventana que indica: *PID actuador seleccionado*.

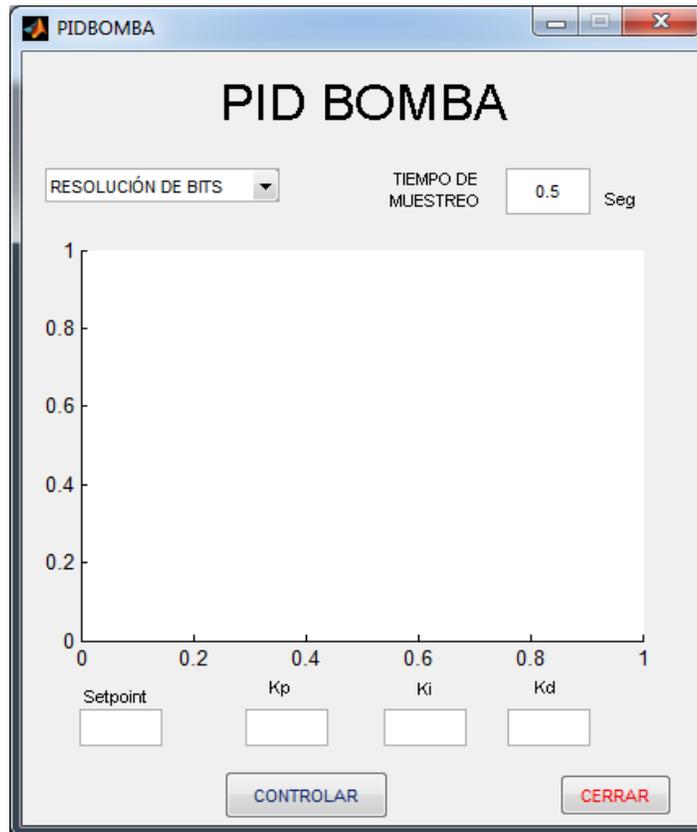
Figura 62. Ventana Control PID.



- **PID Actuador**

Para el caso de la Ventana del PID Actuador, el operario debe indicar la resolución de bits con la que desea adquirir los datos, teniendo como opción 8 bits, 10 bits y 12 bits. A su vez, debe ingresar el tiempo de Muestreo, el valor deseado para el Setpoint, K_p , K_i y K_d . En figura 63, se puede observar la ventana PID para la bomba, que también es similar a la de válvula 2.

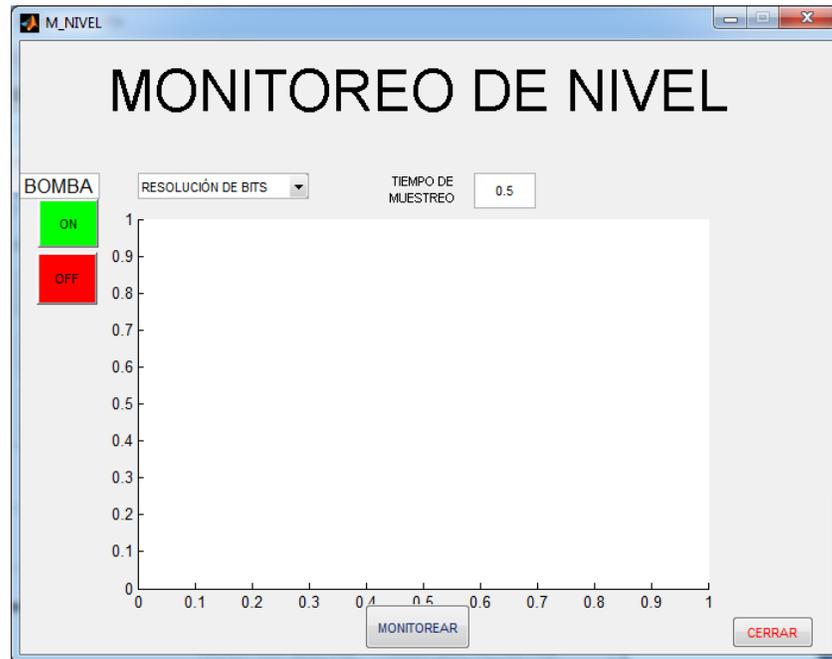
Figura 63. Ventana PID Bomba.



5.4.4. Monitor Actuador

En la figura 64, se muestra la Ventana como ejemplo para Monitorear el Nivel, que es igual para las otras 3 variables; donde el usuario selecciona la resolución de bits y el tiempo de muestreo con la cual desea monitorear esta variable, graficando el estado en que se encuentra. El usuario de forma manual tiene acceso al encendido/apagado de la bomba para las variables de nivel, caudal y presión, mientras que la temperatura tiene acceso al encendido/apagado de la resistencia.

Figura 64. Ventana Monitor Nivel.



5.5. INTERFAZ GRÁFICA LABVIEW

Los resultados de la Interfaz Gráfica, después de la programación se pueden ver a continuación:

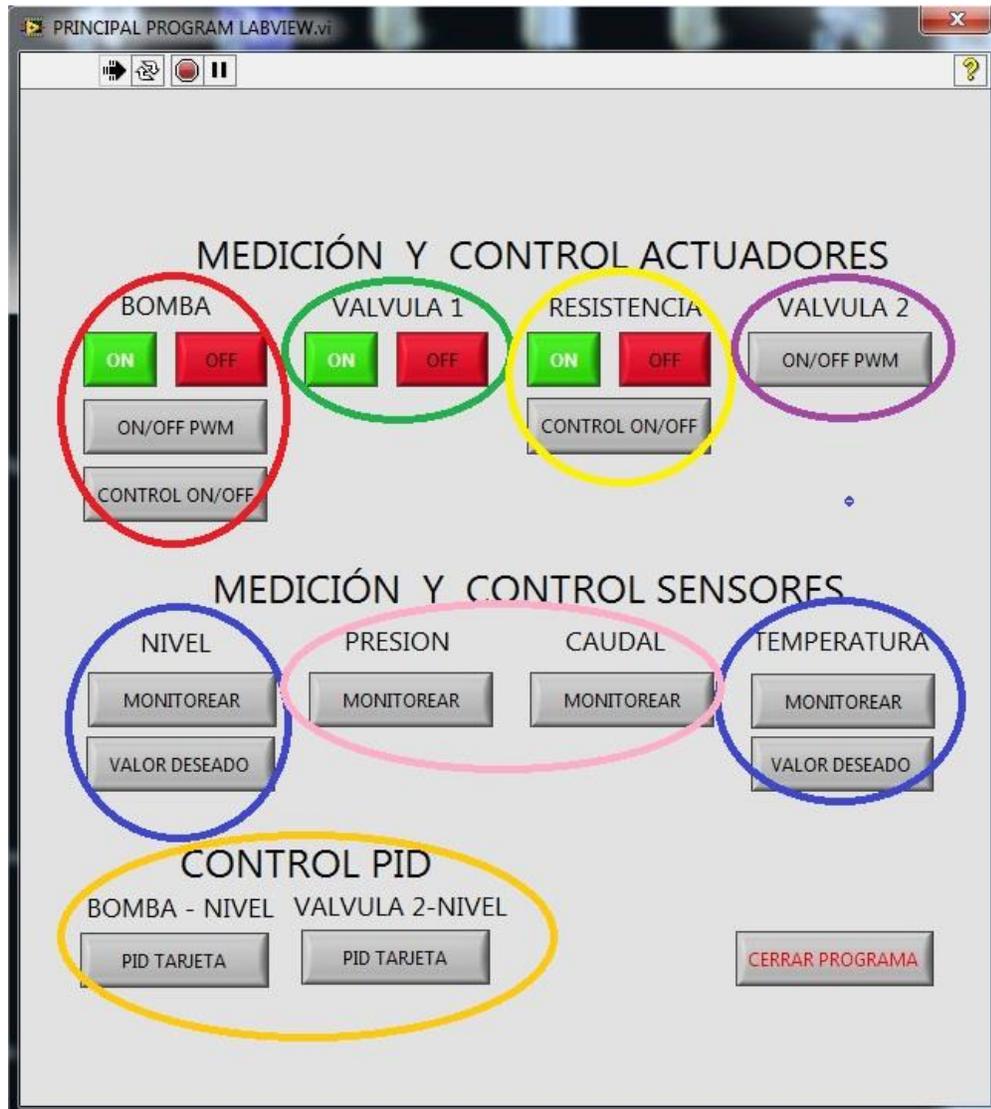
La ventana principal de la Interfaz gráfica que se obtuvo es como se muestra en la Figura 65. Está clasificado por 3 grupos que son: a) Medición y Control Actuadores, b) Medición y Control Sensores y c) Control PID.

En el primer grupo, para el círculo rojo, se muestra las funciones para la bomba que es el encendido y apagado, el control de encendido y apagado por medio del PWM y el Control ON/OFF; en el círculo verde, se encuentra el encendido y apagado de la válvula 1; en círculo amarillo, para la resistencia está el encendido, apagado y el Control ON/OFF; luego en el círculo morado se muestra el encendido y apagado por medio del PWM para la válvula 2.

En el segundo grupo, para los círculos azules se muestra las funciones de Monitoreo y el valor deseado para el Nivel y para la Temperatura; en el círculo rosado, está el monitoreo para la Presión y para el Caudal.

En el tercer grupo, en el círculo naranja, se muestra las funciones para PID desde la tarjeta para los controles de Bomba - Nivel y Válvula 2 - Nivel.

Figura 65. Ventana Programa Principal Labview.



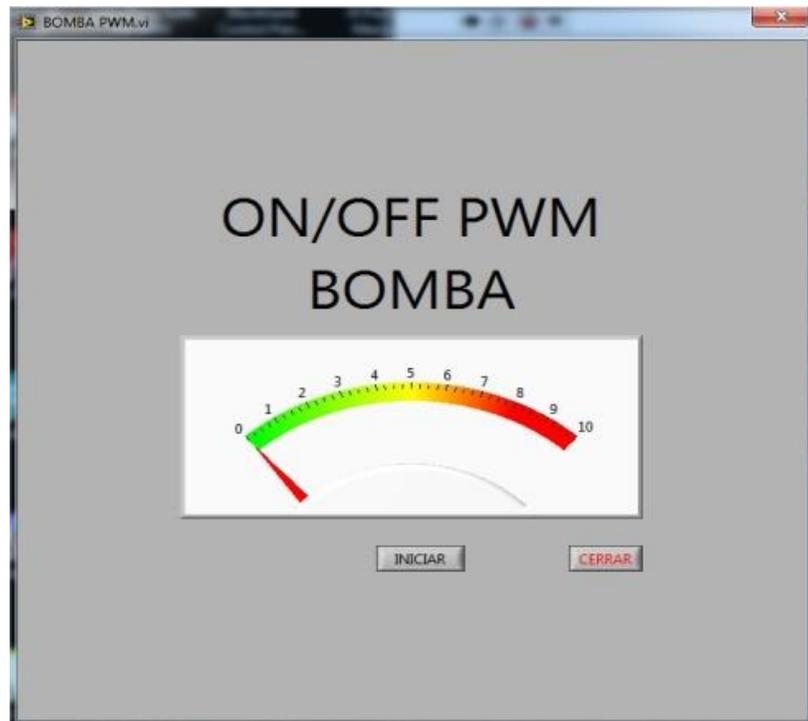
Los botones anteriores, al dar clic en alguno de ellos son redirigidos a una nueva ventana, excepto los botones de ON y OFF. Estas subrutinas son explicadas a continuación.

5.5.1. Ventana ON/OFF Manual Actuator.

En la figura 66, se observa la Ventana de la interfaz gráfica, que se obtuvo del diagrama de flujo del ON/OFF Manual para el ejemplo de la Bomba y que es similar al de la válvula 2. En esta se muestra un indicador para escoger el valor en

un rango de 1 a 10 V, que el usuario desee. Luego debe dar clic en el botón iniciar. Pero cuando desee terminar entonces debe indicar cero, dar clic en iniciar, esperar que el actuador en el banco se apague y luego en el botón cerrar. Luego retorna a la Ventana del Programa Principal.

Figura 66. Ventana del ON/OFF Manual Bomba.



5.5.2. Ventana ON/OFF Actuador Ajustable.

La Ventana de Control ON/OFF Actuador Ajustable, se puede ver en la Figura 67, como ejemplo para la bomba y que funciona de la misma forma para la resistencia. Donde el usuario escoge el Nivel Máx y Min, que desea para que se autocontrole, posteriormente debe dar clic en el botón iniciar. En el tanque virtual se puede observar en tiempo real el control que se realiza en el tanque núm. 2 del banco para la bomba y para la temperatura tanque núm. 1. Si el usuario desea terminar, debe dar clic en Terminar y luego en cerrar, para retornar a la Ventana Principal del Programa.

Figura 67. Ventana de Control ON/OFF Bomba.



5.5.3. Ventana Monitoreo del Nivel.

En la figura 68, se puede ver la Ventana de Monitoreo como ejemplo para el Nivel, y que funciona igualmente para las otras variables; donde el usuario debe indicar el tiempo de muestreo dado en mseg., luego el número de muestras que desea para el monitoreo y por último indicar en que resolución de bits desea realizar la operación. Luego debe encender o dado el caso apagar la bomba y para el caso de la temperatura apagar o encender la resistencia; posteriormente, debe dar clic en el botón Monitorear. Luego, en la pantalla se empieza a graficar los datos que se obtienen del monitoreo del Nivel. Para cerrar esta ventana debe esperar que termine de graficar y luego dar clic en el botón Cerrar, para retornar a la Ventana Principal del Programa. Esta ventana es similar para los otras 3 variables.

Figura 68. Ventana del Monitoreo del Nivel.



5.5.4. Ventana Valor Deseado para el Actuador.

La ventana para el Valor Deseado como ejemplo para el Nivel, se puede observar en la figura 69, que igualmente sirve para la temperatura, en la cual el usuario debe indicar en el tanque virtual izquierdo el valor de nivel que desea y dar clic en el botón Enviar. Posteriormente, se puede observar en el tanque virtual derecho como aumenta/disminuye el nivel hasta llegar al valor deseado. Para finalizar se debe dar clic en el botón Terminar y luego en cerrar para retornar a la Ventana del Programa Principal.

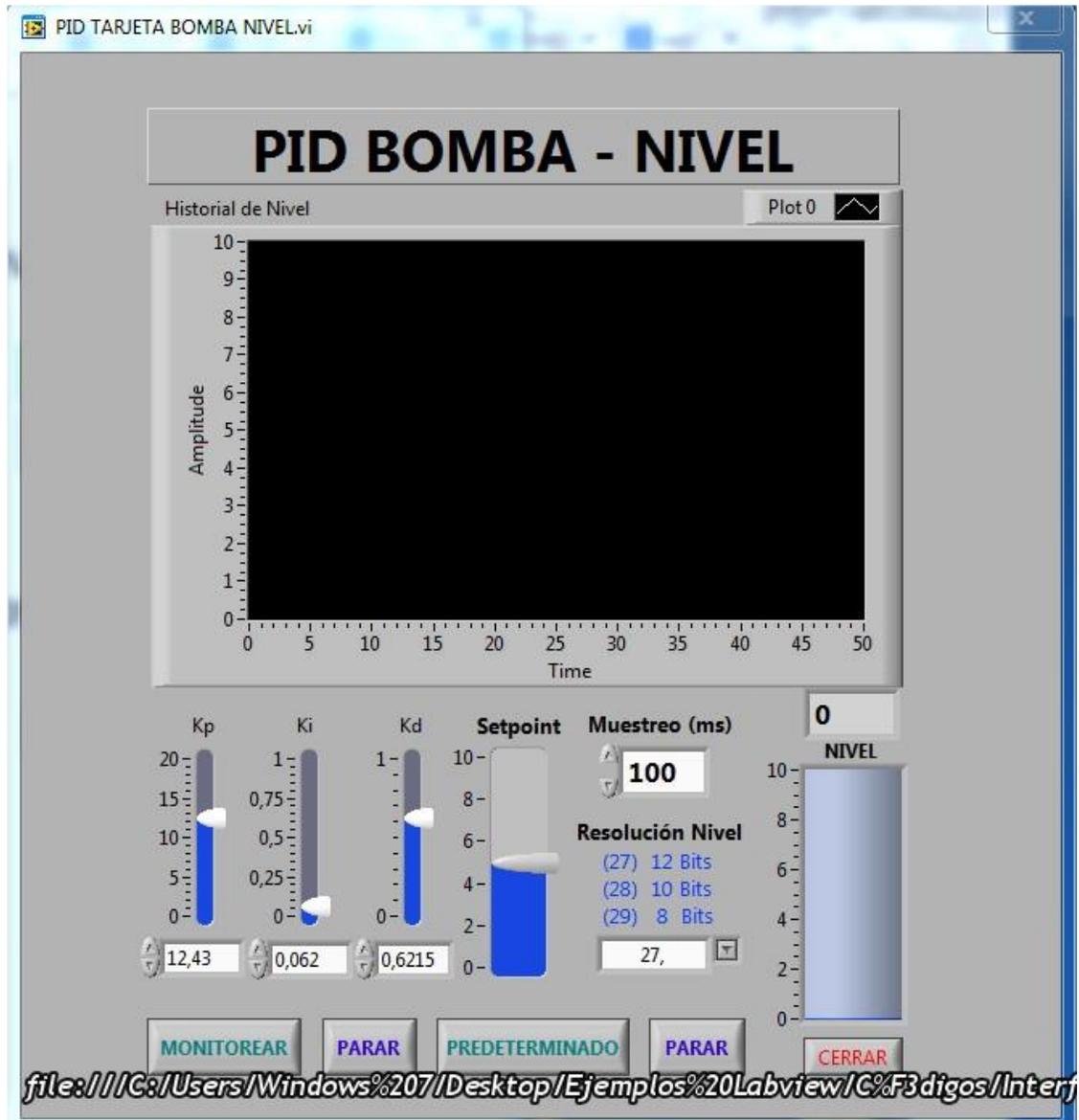
Figura 69. Ventana del Valor Deseado para el Nivel.



5.5.5. Ventana PID Tarjeta Bomba - Nivel

La Ventana del PID Tarjeta como ejemplo para la Bomba - Nivel se muestra en la figura 70. En la cual el usuario indica el tiempo de muestreo en mseg., el valor para K_p , K_d , K_i , Setpoint y la resolución de bits para el Nivel. Posteriormente, le da Iniciar y se puede observar la variación del nivel en la gráfica y el tanque virtual que está en la parte inferior derecha, se observa también el porcentaje del PID y como éste, controla la abertura y cierre de la bomba. Para finalizar, debe dar clic en el botón Terminar y luego en cerrar para retornar a la Ventana Principal. Esta ventana es similar para el PID Tarjeta Bomba – Nivel.

Figura 70. Ventana PID Tarjeta Bomba - Nivel.



6. Conclusiones

- El reconocimiento de la planta es esencial para lograr trabajar con ella. Se hace necesario que el usuario sepa que pines son los que manejan los actuadores on/off, además de los niveles de voltaje que requiere cada una.
- El sensor de nivel funciona muy bien entre rangos 0 a 9 litros.
- Se hace necesario que el usuario tenga previo conocimiento de fluidos, con ello puede relacionar muy bien la teoría con la práctica, de esa forma hace un mejor uso de los bancos.
- Hay que tener en cuenta el nivel del tanque 2, pues cuando este es muy bajo, la bomba puede tomar aire y no funcionar correctamente.
- El control de temperatura no puede ser mínimo a la temperatura ambiente.
- La resolución del ADC de 8, 10 y 12 bits, no afecta el control de la planta.
- Se logró diseñar circuitos de acople de la parte digital de la tarjeta, a la parte de potencia de la planta.
- La tarjeta seleccionada funciono adecuadamente a los requerimientos del proyecto.
- Labview facilita la visualización del nivel y de la temperatura por medio de un tanque virtual y un termómetro virtual, respectivamente.
- Matlab no permite comunicar correctamente entre ventanas cuando se ejecuta una sola subrutina.

7. Recomendaciones

- El manejo de la planta con la tarjeta de adquisición de datos y los respectivos Software, puede ser implementado en Áreas educativas como Mecánica de fluidos, Control Análogo, Control Digital, Sensores y Transductores, entre otros.
- Es necesario que el estudiante interactúe primero con la planta antes de realizar algún control Manual con la tarjeta de adquisición o con el Software.
- Los tiempos de muestreo para caudal y temperatura deben ser lo más rápido para que pueda alcanzar a tomar el valor.
- En el monitoreo de cualquiera de las variables, el usuario debe esperar que termine el proceso para poder cerrar esa ventana.
- El usuario debe recordar que el PID puede ser modificado a su gusto o puede usar el PID determinado por los diseñadores.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Advantech Corporation. USB-4702. [En línea] 11 enero de 2009. [Citado el: 17 enero de 2015.] Disponible en: http://www.advantech.com.mx/products/1-2MLKNO/USB-4702/mod_807ADF3C-B073-4671-AD72-10D0930DC8F6.aspx.

[2] Alcalde San Miguel, Pablo. Electrónica aplicada. Navalmorales: Ediciones Paraninfo, S.A., 2010. ISBN: 8497327802.

[3] Angulo Bahón, Cecilio y Raya Giner, Cristóbal. *Tecnología de sistemas de control*. 1ra. Barcelona : Ediciones UPC, S.L., 2004. ISBN: 8483017784.

[4] Arduino. ArduinoDue [En línea] 2015. [Citado el: 26 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDue>.

[5] Arduino, Arduino Zero [En línea] 2015. [Citado el: 26 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardZero>

[6] Arduino, What's Arduino?. [En línea] 2015. [Citado el: 26 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.arduino.cc/>.

[7] Areny, Ramón Pallás. Sensores y Acondicionadores de Señal. 4 ed. s.l. : Marcombo S.A., 2003. ISBN: 9788426713445.

[8] Bacaicoa, Luis Esquiroz. Electrónica de potencia: dispositivos. Oviedo: Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones, 1999. ISBN: 9788483171493.

[9] Balcells Sendra, Josep y Romeral, Josú Luís. AUTÓMATAS PROGRAMABLES. Sensores y Actuadores. 1 ed. s.l. : MARCOMBO, S.A., 2000. ISBN: 8426710891.

[10] Bertrán Albert, Eduard. Procesado Digital de Señales. Catalunya: Univ. Politèc. de Catalunya, 2009. ISBN: 9788483018507.

[11] Bolton, William. Mediciones y pruebas eléctricas y electrónicas. 1 ed. Barcelona: MARCOMBO, S.A., 1995. ISBN: 8426710328.

[12] Castro Lechtaler, Antonio Ricardo y Jorge Fusario, Rubén. Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información I. 2 ed. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 2006. Vol. I. ISBN: 8429143947.

[13] Corporation, Atmel. About Atmel. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.atmel.com/about/corporate/default.aspx>.

[14] Corporation, Atmel. Atmel SMART ARM-based MCUs. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/arm/default.aspx?tab=overview>.

[15] Corporation, Atmel. ATSAM4L - XSTK. [En línea] 2015. [Citado el: 24 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://store.atmel.com/PartDetail.aspx?q=p:10500343#tc:description>

- [16] Corporation, Omega. OM-USB-1608FS. [En línea] 2003-2015. [Citado el: 17 enero de 2015.] Disponible en: http://www.omega.com/pptst/OM-USB-1608FS_SERIES.html.
- [17] Espín Reyes, David Alejandro y Ortega Narvaéz, Edison Eduardo. Universidad Politécnica Salesiana. [En línea] 05 de 2013. [Citado el: 27 de 03 de 2015.] Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4352/1/UPS-ST000991.pdf>
- [18] FESTO. Estación de trabajo compacta MPS® PA. FESTO DIDACTIC. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 03 de 2013.] Disponible en: <http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/automatizacion-de-procesos/compact-workstation/estacion-de-trabajo-compacta-mps-pa-con-tramos-de-regulacion-de-nivel,caudal,presion-y-temperatura.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xOC44ODluNDM3Ng>.
- [19] Freescale Semiconductor, Inc. About Freescale. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 01 de 2015.] Disponible en: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?code=COMPANY_INFO_HOME&fsrch=1&sr=2&pageNum=1.
- [20] Freescale Semiconductor, Inc. Embedded Board Solutions (EBS). [En línea] 2015. [Citado el: 26 de 01 de 2015.] Disponible en: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=SBC_HOME&fsrch=1&sr=1&pageNum=1#EBS_Tools.
- [21] Freescale Semiconductor, Inc. Kinetis K Series. [En línea] 2015. [Citado el: 22 de 01 de 2015.] Disponible en: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=KINETIS_K_SERIES.
- [22] Freescale Semiconductor, Inc. TWR-K70F120M. [En línea] [Citado el: 26 de 01 de 2015.] Disponible en: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=TWRK70F120M&fsrch=1&sr=2&pageNum=1.
- [23] García, Juan Carlos, Parrales, José Luís y Mazacón, Baño Alfonso. Diseño de una tarjeta de adquisición de datos para la supervisión y control de procesos y desarrollo de su interfaz utilizando LabVIEW 7.1. En: Revista Tecnológica ESPOL [En línea], Feb, 2009. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. I. ISBN 52144051. [Citado el: 19 enero de 2015.] Disponible en: http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/dise%C3%B1o-tarjeta-adquisicion-datos-supervision-control-procesos-desarrollo-interfaz-utilizando/id/52144051.html
- [24] Gilat, Amos. Matlab: una introducción con ejemplos prácticos. Barcelona: Reverte, 2006. ISBN: 9788429150353.
- [25] GmbH, ARM Ltd and ARM Germany. KEIL. [En línea] 2013. [Citado el: 07 de 02 de 2015.] Disponible en: <http://www.keil.com/company/>.
- [26] Gonzáles, Víctor R. OpenVRG - Víctor R. Gonzáles. [En línea] [Citado el: 14 enero de 2015.] Disponible en: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_4.4.htm.

- [27] Jiménez Ríos, Félix Vicente y Rivero Juárez, Joaquín. Diseño y construcción de una tarjeta programable de adquisición, procesamiento de datos y control. CENIDET. [En línea] Febrero de 2006. [Citado el: 20 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-mktro/submenus/investigacion/tesis/21-22%20Felix%20Vicente%20Jimenez%20Rios%20-%20Joaquin%20Rivero%20Juarez.pdf>.
- [28] Juarez, Magdiel Pascual García. Tarjeta de adquisición de datos con interfaz usb, empleando al microcontrolador AT90USB646 de Atmel. Trabajo de Grado [En línea]. Oaxaca, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2013. [Citado el: 18 enero de 2015.] Disponible en: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11915.pdf
- [29] Jürgen Helmich, ADIRO. Manual MPS-PA Compact Workstation. [En línea] 12 de 2008. [Citado el: 25 de 01 de 2015.] www.festo.com/didactic <http://www.festo.com/didactic/de/ProcessAutomation>.
- [30] Kuo, Benjamin C. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO. 7 ed. México, D.F. : Pearson Educación, 1996. ISBN: 9688807230.
- [31] Laboratorio Remoto de Automática. [En línea] 2008. [Citado el: 22 de 03 de 2015.] Disponible en: <http://www.lra.unileon.es/es/book/export/html/268>.
- [32] Lajara Vizcaíno, José Rafael y Pelegrí Sebastián José. LabVIEW: Entorno gráfico de programación. 2 ed. Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2011. ISBN: 9788426718686.
- [33] Manosalvas Benalcázar, Angel Efraín y Quinga Jarrin, Javier Alejandro. Diseño y construcción de un módulo de adquisición de datos para la supervisión y control de una mini planta de procesos con interfaz USB para LabView. Universidad Politécnica SALESIANA. [En línea] Diciembre de 2012. [Citado el: 20 enero de 2015.] Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3209>.
- [34] Mazzone, Virginia. Controladores PID. The University of NEWCASTLE Australia. [En línea] 03 de 2002. [Citado el: 23 de 03 de 2015.] Disponible en: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- [35] Measurement Computing Corporation. USB-2627. [En línea] 07 de 2014. [Citado el: 16 enero de 2015.] Disponible en: <http://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-2627.aspx>.
- [36] National Instruments Corporation. Quanser QUBE-Servo con Conexión para el NI myRIO. [En línea] 2014. [Citado el: 18 enero de 2015.] Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212417>.
- [37] National Instrument Corporation. National Instruments VISA. What Is VISA?[Online] 2014. [Citado: 02 de 10, 2015.] Disponible en: <http://www.ni.com/visa/>.
- [38] National Instrument Corporation. USB-6009. [En línea] 2014. [Citado el: 16 enero de 2015.] Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>.
- [39] Neyra, Fernando Gabino Ramirez. Tesis Institucionales. Sistema de adquisición de datos de sensores analógicos y digitales. [En línea] 15 Abril de 2010. [Citado el: 20 enero de 2015.] Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/6296>.

- [40] Niño Camazón, Jesús. Sistemas operativos monopuesto. Madrid : S.A. EDITEX, 2011. ISBN: 9788497719711.
- [41] Omega Engineering Corporation. Adquisición de datos. [En línea] 2003-2015. [Citado el: 21 de enero de 2015.] Disponible en: <http://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>.
- [42] Penin, Aquilino Rodríguez. Conexión del driver EZDDE a EASYPORT (Festo). 3 ed. México D.F.: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A., 2012. ISBN: 978-970-15-1305-7.
- [43] Rodriguez, V., y otros. e-spacio. [En línea] 27 de 03 de 2015. [Citado el: 27 de 03 de 2015.] Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=taee:congreso-2010-1023&dsID=S04B02.pdf>.
- [44] STMicroelectronics. About STMicroelectronics. [En línea]: 2015. [Citado el: 22 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.st.com/web/en/press/en/p3383>.
- [45] STMicroelectronics. STM32 32-bit ARM Cortex MCUs. [En línea] 2015. [Citado el: 22 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169>
- [46] STMicroelectronics, STM32 MCU Discovery Kits. [En línea] 2015. [Citado el: 22 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/LN1848>.
- [47] STMicroelectronics. STM32F4DISCOVERY [En línea] [Citado el: 22 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419>.
- [48] Systems, IAR. IAR Embedded Workbench. [En línea] 2015. [Citado el: 05 de 02 de 2015.] Disponible en: <https://www.iar.com/iar-embedded-workbench/completely-integrated-development-tools/>.
- [49] Texas Instruments. Code Composer Studio. [En línea] 2015. [Citado el: 05 de 02 de 2015.] Disponible en: <http://www.ti.com/tool/CCSTUDIO>.
- [50] Texas Instruments. CompanyInfo. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.ti.com/corp/docs/company/>.
- [51] Texas Instruments. TM4C1294 Connected LaunchPad. [En línea] [Citado el: 24 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.ti.com/tool/ek-tm4c1294xl>.
- [52] Texas Instruments. LaunchPads – ConnectedHerculesLaunchPads [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpads-hercules.html#tabs>.
- [53] Texas Instruments. LaunchPads – ConnectedLaunchPads [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 01 de 2015.] Disponible en: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpads-connected.html#tabs>.

[54] Texas Instruments. Microcontrollers (MCU). [En línea] 2015. [Citado el: 23 de 01 de 2015.] Disponible en: http://www.ti.com/lscs/ti/microcontrollers_16-bit_32-bit/c2000_performance/control_automation/tm4c12x/overview.page

[55] Texas Instruments. Texas Instruments. [En línea] 01 de 2014. [Citado el: 02 de 02 de 2015.] Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ml/spmu287b/spmu287b.pdf>.

ANEXOS

Anexo1. MANUAL DEL USUARIO

MANUAL

MATILDE GUTIERREZ LUNA
LERMAN YESID ALFONSO MORENO

BOGOTÁ D.C.

2015

CONTENIDO

1.	TARJETA DE DESARROLLO.....	83
1.1.	INSTALACIÓN DRIVERS DE LA TARJETA TM4C1294.....	83
1.2.	INTALACIÓN DE DRIVERS PARA LOS SOFTWARE	87
1.2.1.	Drives para Labview.	87
1.2.2.	Paquete de NI-VISA.	88
1.2.3.	Instalación de NI-VISA.	88
1.3.	MANEJO DE LA INTERFAZ GRÁFICA EN LABVIEW	89
1.4.	MANEJO DE LA INTERFAZ GRÁFICA EN LABVIEW	90
1.4.1.	Ventana ON/OFF PWM	91
1.4.2.	Ventana ON/OFF PWM	91
1.4.3.	CONTROL ON/OFF BOMBA	92
1.4.4.	CONTROL ON/OFF RESISTENCIA	93
1.4.5.	MONITOREAR NIVEL	93
1.4.6.	MONITOREAR PRESION	94
1.4.7.	MONITOREAR CAUDAL	95
1.4.8.	MONITOREAR TEMPERATURA	96
1.4.9.	VALOR DESEADO NIVEL	97
1.4.10.	VALOR DESEADO TEMPERATURA	98
1.4.11.	PID LABVIEW BOMBA - NIVEL	99
1.4.12.	PID LABVIEW VALVULA 2 - NIVEL	100
1.5.	INTERFAZ GRÁFICA MATLAB.....	102
1.5.1.	Control Manual Actuadores.	102
1.5.2.	Control ON/OFF	103
1.5.3.	Control PID	105
1.5.4.	Monitor Nivel	107
1.5.5.	Monitor Presión	108
1.5.6.	Monitor Caudal	109
1.5.7.	Monitor Temperatura	110

TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA PLANTA MSP DE FESTO

1. TARJETA DE DESARROLLO

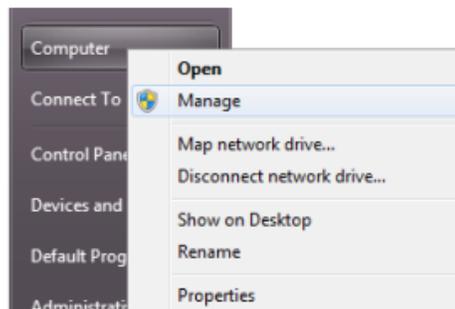
La tarjeta de desarrollo con ref. TM4C1294 de Texas Instruments (TI), es la que contiene la programación que comunica la Interfaz desde el software determinado, con la Planta. Para que la comunicación de la tarjeta de desarrollo sea correcta es necesario instalar algunos drivers.

1.1. INSTALACIÓN DRIVERS DE LA TARJETA TM4C1294

Para que el sistema operativo del computador reconozca la tarjeta, es necesario instalar los drivers. Dependiendo del sistema operativo se realiza la instalación, en este caso será para Windows 7/8. Está instalación fue posible con ayuda de la guía, que proporciona Texas Instruments. Los pasos para Windows 7 son:

- a) Descargar la carpeta que contiene los drivers de la tarjeta y extraerla. (http://www.ti.com/tool/stellaris_icdi_drivers).
- b) Para Windows 7, Ir a *Inicio > Equipo*, le damos clic derecho y *Administrar*. (Figura 1).

Figura 1. Paso b) para Windows 7.



Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.¹⁵

Para Windows 8, Ir a *Inicio* y dar clic en *Administrador del Equipo*. (Figura 2).

¹⁵ <http://www.ti.com/lit/ml/spmu287b/spmu287b.pdf>

Figura 2. Paso b) para Windows 8.



Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.

- c) Luego, hacer clic en *Administrador de Dispositivos* de la barra de Administración del equipo. Por consiguiente, aparece la lista de dispositivos de hardware instalados en el computador.
- d) Cuando la tarjeta está conectada al computador por primera vez y el sistema es Windows 7 / 8, el busca los instaladores automáticamente. Espere hasta que el tiempo de proceso finalice, apareciendo la pantalla que se ve en la Figura 3.

Figura 3. Paso d).



Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.

- e) Luego, cuando detecta el ICDI, la Interfaz y el microcontrolador. Los drivers no instalados presentan un signo de exclamación en amarillo, en la ventana del *Administrador de Dispositivos*. Figura 4.

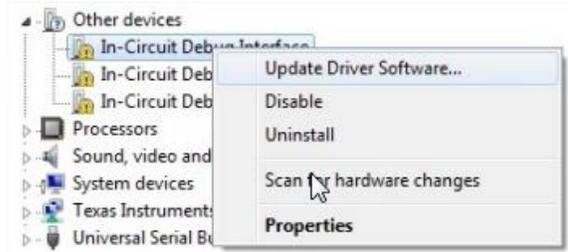
Figura 4. Paso e).



Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.

- f) Dar clic derecho en una de las tres entradas y seleccionar *Actualizar Software de Controlador*. Como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Paso f).



Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.

- g) Luego aparece una pantalla donde pregunta *¿Cómo desea buscar el software del controlador?* Seleccione *Buscar software del controlador en el equipo*.
- h) En la siguiente pantalla, de clic en examinar y seleccione la ruta de la carpeta donde están los drivers. Espere que instale el driver.
- i) Posteriormente, puede aparecer una advertencia (Figura 6) que dice que windows no puede comprobar el editor del software. Entonces, haga clic en *Instalar este software del controlador de todas formas*.

Figura 6. Paso i).

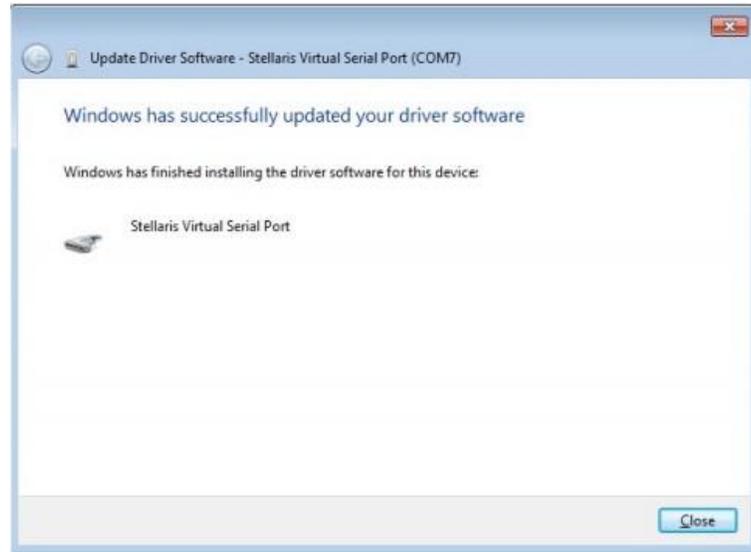


Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.

- j) Cuando se completa la instalación. Windows muestra un mensaje que dice que la instalación ha sido un éxito (Figura 7), para cada driver. Haga clic en *cerrar* el mensaje y realice el mismo procedimiento para los otros dos

drivers. El mensaje para cada driver será: I) Stellaris Virtual Serial Port. II) Stellaris ICDI DFU Device y III) Stellaris ICDI JTAG/SWD Interface.

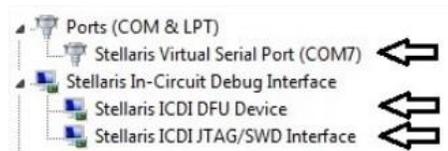
Figura 7. Paso j).



Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.

- k) Por último, en *Ports (COM & LPT)*, se puede ver el reconocimiento de la tarjeta y aparece como *stellaris Virtual Serial Port (COM_)*. Figura 8. Abajo de este aparece *Stellaris In-CircuitDebug Interface* y en él, los instaladores correctamente instalados. Finalmente, ya está lista para utilizarse la tarjeta.

Figura 8. Paso k).



Fuente: Texas Instruments. Driver Installation Instructions.

IMPORTANTE: El número del Puerto debe ser COM7, como se observa en la imagen anterior, por el contrario, debe dar clic derecho y seleccionar *Propiedades*. Luego aparece la ventana que se ve en la figura 9. Posteriormente en la pestaña *Configuración de Puerto*, dé clic en *Opciones Avanzadas*, y en la nueva ventana que aparece (figura 10), en la parte inferior aparece *Número de Puerto COM* y al lado un botón desplegable donde puede cambiarlo.

Figura 9. Ventana de Propiedades

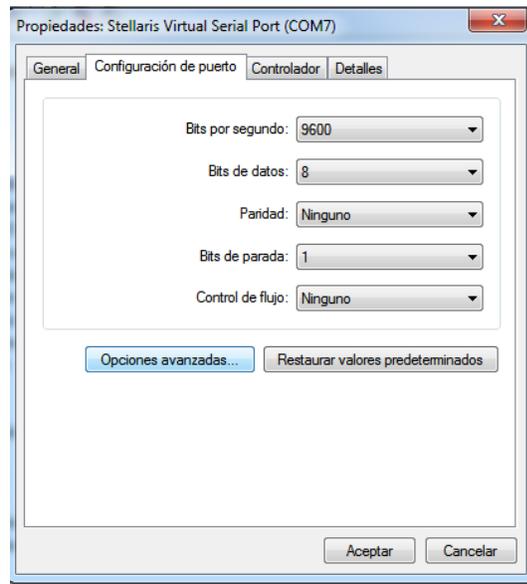
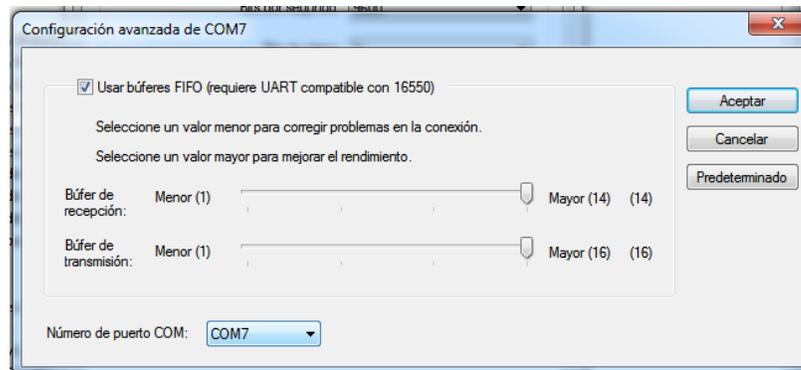


Figura 10. Ventana de Configuración avanzada.



1.2. INTALACIÓN DE DRIVERS PARA LOS SOFTWARE

Los software (Labview y Matlab), necesitan de algunos drivers, para el funcionamiento correcto de la Interfaz Gráfica. Antes de abrir cualquiera de los dos programas debe instalarse primero estos drivers.

1.2.1. Drives para Labview.

La comunicación de la tarjeta con Labview es por medio de comunicación serial. El programa facilita la comunicación por medio de un paquete complementario

llamado NI-VISA, para ser instalado, comunicando el puerto físico (tarjeta) con el programa de Labview. Este paquete se puede conseguir desde la página principal de Labview, dependiendo de la versión que se tenga.

1.2.2. Paquete de NI-VISA.

NI-VISA¹⁶, contiene librerías, se presta para la interacción como el seguimiento en NI de I/O y el Control Interactivo de VISA (Arquitectura de software virtual, para la configuración, programación, solución de problemas para sistemas de instrumentación). También cuenta con programas para la configuración para todas las necesidades del desarrollo.

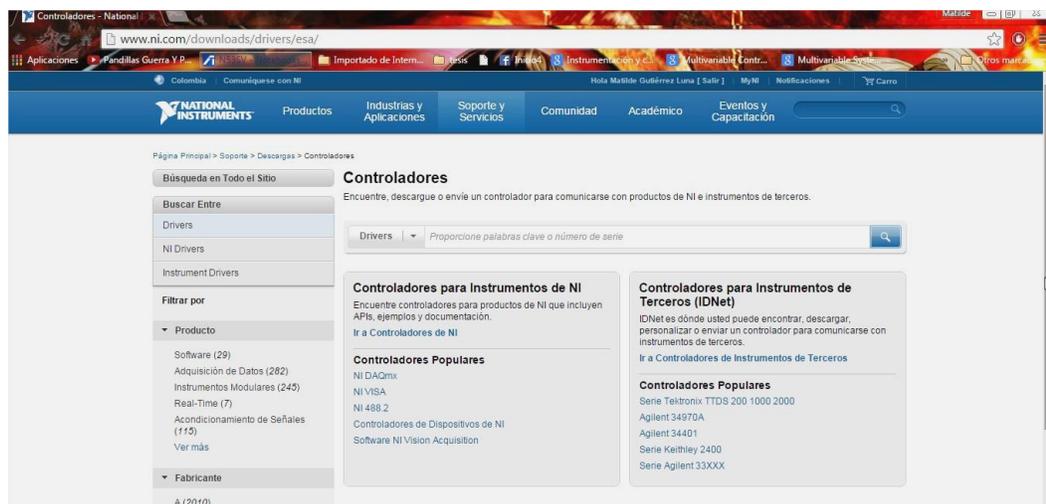
1.2.3. Instalación de NI-VISA.

Para la instalación del paquete, se realiza descargando el paquete desde la página principal de NI.

a) Ir a la página principal y en el buscador escribir controladores. Luego, aparece el resultado de la Búsqueda y a dar clic en el primer resultado que sale en la lista.

b) Posteriormente, se redirige a la página donde están todos los drivers complementarios para instrumentos de NI. Como se puede observar en la figura 11. Dar clic en NI VISA, que se encuentra en la lista Controladores Populares.

Figura 11. Ventana de la página de los controladores de NI.



Fuente: **National Instrument Corporation.** National Instruments VISA.

¹⁶ **National Instrument Corporation.** National Instruments VISA. What Is VISA?[Online] 2014. [Cited: 02 de 10, 2015.] Disponible en: <http://www.ni.com/visa/>.

c) En la siguiente ventana le damos clic en la versión que coincida con la versión que se tiene de Labview. Es decir, si la versión de Labview es 2013, se descarga una versión que haya salido para ese año.

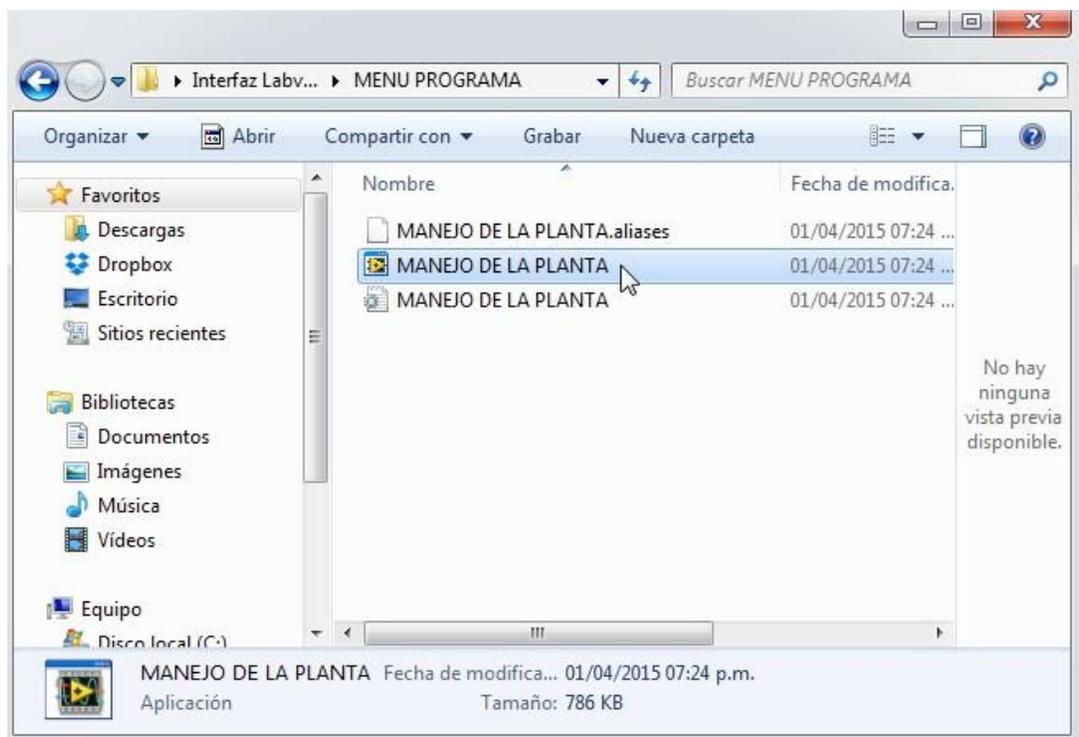
d) Finalmente retorna a la página, donde se descarga el instalador. Espere hasta que termine la descarga, luego abra el instalador y continúe con la instalación.

1.3. MANEJO DE LA INTERFAZ GRÁFICA EN LABVIEW

La interfaz gráfica cuenta con un ejecutable y también con el instalador para ser instalado en el equipo.

El ejecutable se encuentra en el CD en la carpeta *MENU PROGRAMA* y dentro de la carpeta aparecen 3 archivos, dar clic en el segundo archivo llamado *MANEJO PLANTA*, como se observa en la figura 12.

Figura 12. Carpeta MENU PROGRAMA.



Espere que se ejecute el programa y le aparezca la pantalla de Inicio o Ventana Principal.

1.4. MANEJO DE LA INTERFAZ GRÁFICA EN LABVIEW

La ventana principal del programa (Figura 13), se puede encontrar botones de uso y están clasificados por 3 grupos que son: a) Medición y Control Actuadores, b) Medición y Control Sensores y c) Control PID.

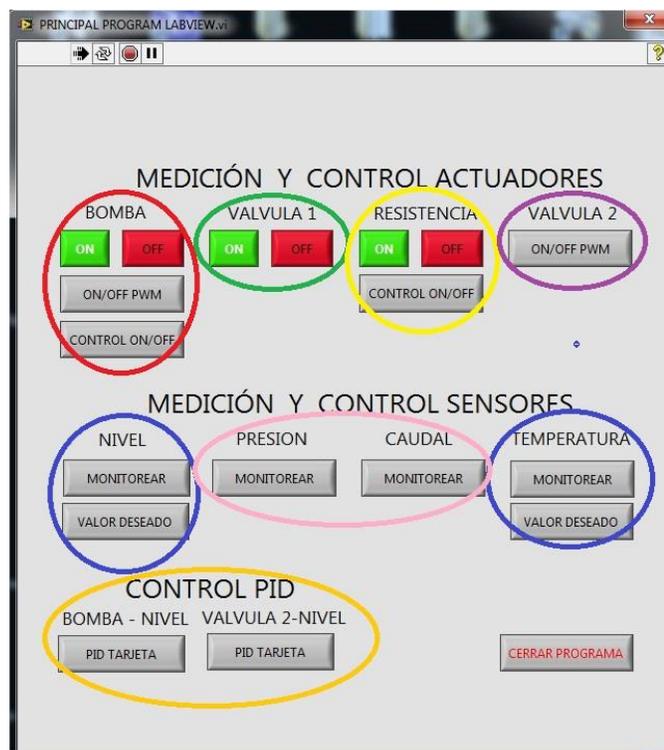
En el primer grupo, para el círculo rojo, se muestra las funciones para la bomba que es el encendido y apagado, el control de encendido y apagado por medio del PWM y el Control ON/OFF; en el círculo verde, se encuentra el encendido y apagado de la válvula 1; en círculo amarillo, para la resistencia está el encendido, apagado y el Control ON/OFF; luego en el círculo morado se muestra el encendido y apagado por medio del PWM para la válvula 2.

En el segundo grupo, para los círculos azules se muestra las funciones de Monitoreo y el valor deseado para el Nivel y para la Temperatura; en el círculo rosado, está el monitoreo para la Presión y para el Caudal.

En el tercer grupo, en el círculo naranja, se muestra las funciones para PID desde la tarjeta para los controles de Bomba - Nivel y Válvula 2 - Nivel.

Por último en la parte inferior izquierda, se encuentra el botón para terminar el programa antes de darle en el botón cerrar, en la parte superior izquierda.

Figura 13. Ventana Programa Principal.

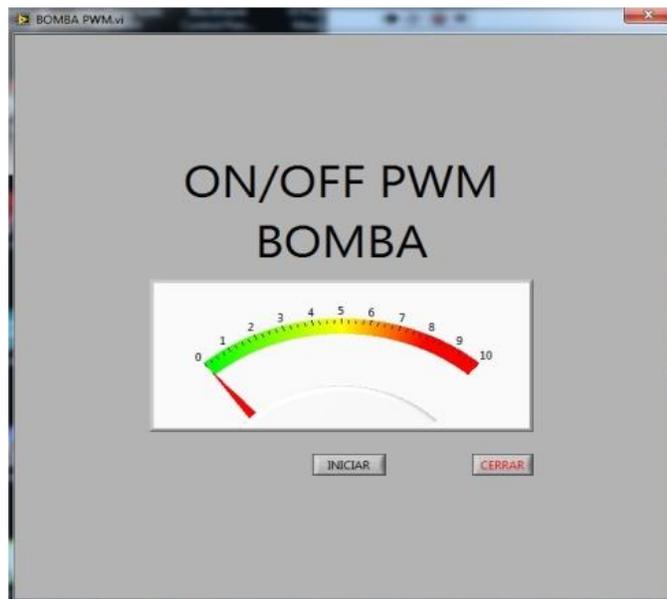


Los botones que se muestran en la figura anterior, al dar clic en alguno de ellos, se redirige a una nueva ventana, excepto los botones ON y OFF. Estas subventanas se explican a continuación.

1.4.1. Ventana ON/OFF PWM

En la figura 14, se muestra la ventana para el ON/OFF PWM de la bomba, en la cual se observa un simulador de potenciómetro, el cual tiene un rango de 0 a 10 V para el PWM, que maneja la bomba para ser encendida. El usuario puede indicar que valor desea y dar clic en el botón Iniciar al programa; cuando ya no desee trabajar más con el PWM de la bomba, debe indicar cero, darle clic a iniciar, esperar que se apague la bomba y dar clic al botón cerrar, para retornar a la ventana del Programa Principal.

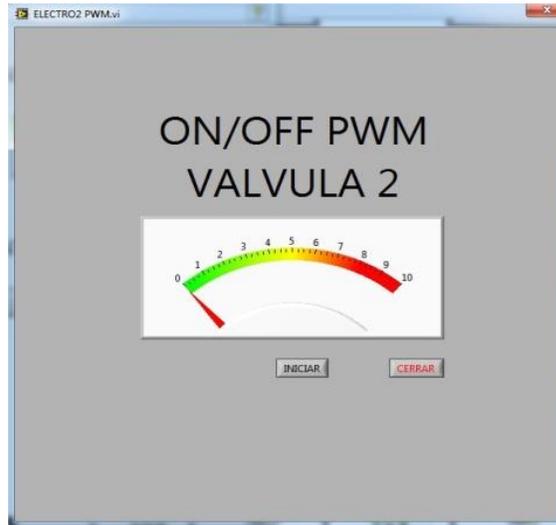
Figura 14. Ventana ON/OFF PWM para la Bomba.



1.4.2. Ventana ON/OFF PWM

En la ventana (Figura 15), se muestra el simulador de un potenciómetro, el cual está en una escala de 0 a 10 V, para el PWM que maneja el encendido de la válvula 2. El usuario puede indicar el valor que desea y dar clic en el botón Iniciar al programa. Si el usuario no desea trabajar más con el PWM de la válvula 2, debe dar cero en el indicador, darle clic a iniciar, esperar que se apague la bomba y posteriormente dar clic al botón cerrar, para retornar a la ventana del Programa Principal.

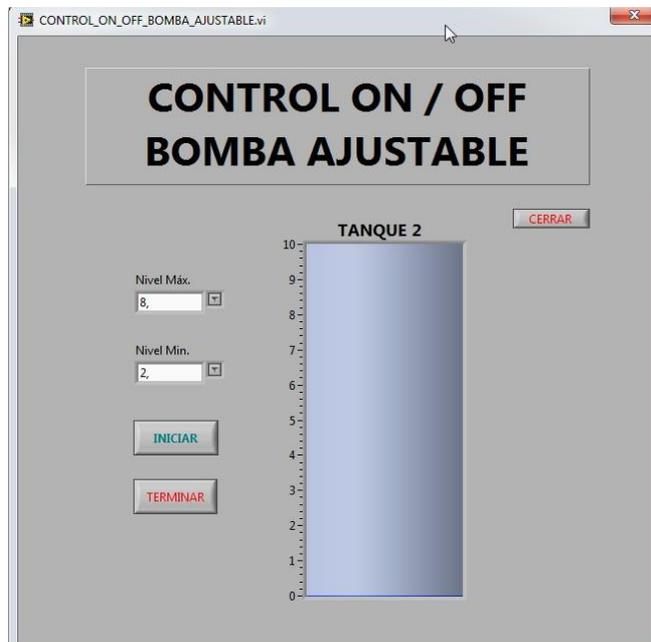
Figura 15. Ventana ON/OFF PWM para la Bomba.



1.4.3. CONTROL ON/OFF BOMBA

En la figura 16, se visualiza la Ventana para el Control ON/OFF de la Bomba, el usuario debe indicar únicamente el valor máximo y el valor mínimo que desea para el nivel y le da clic en iniciar el programa. En el tanque virtual se puede visualizar también, el control automático que inicia en el tanque del banco, con los valores que el usuario indicó. Pero si el usuario desea terminar, debe dar clic en el botón Terminar y luego en Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal.

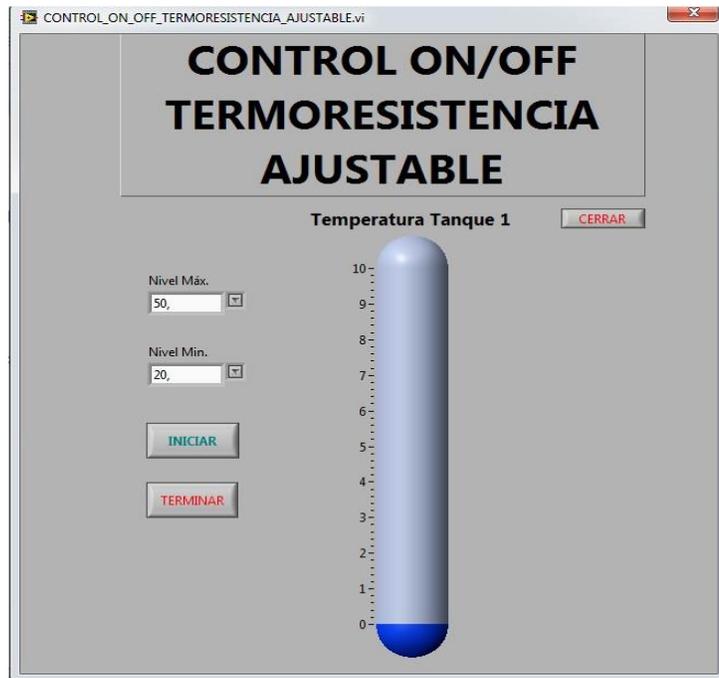
Figura 16. Ventana Control ON/OFF Bomba.



1.4.4. Control ON/OFF Resistencia

En la figura 17, se ve la Ventana para el Control ON/OFF de la Temperatura, el usuario indica entonces el valor máximo y el valor mínimo que desea para el nivel y le da clic en iniciar para iniciar el control, luego en el tanque virtual se visualiza, el control automático en el tanque del banco, con los valores que el usuario dio. Por el contrario si el usuario desea terminar entonces debe dar clic en el botón Terminar y luego en botón Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal.

Figura 17.Ventana Control ON/OFF Resistencia.



1.4.5. Monitorear Nivel.

En la ventana de la figura 18, el usuario primero indica el valor de muestreo, el número de muestras y la resolución de bits que desea, posteriormente selecciona prender o apagar bomba y le da clic en monitorear, luego en la gráfica puede ir observando el monitoreo de la señal del nivel. Si el usuario desea terminar, entonces debe esperar que se termine de ejecutar el programa y posteriormente debe dar clic en el botón Terminar y luego en el botón Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal.

Figura 18. Ventana para Monitorear Nivel.



1.4.6. Monitorear Presión.

En la ventana de la figura 19, el usuario indica el valor de muestreo, el número de muestras y la resolución de bits que desea, por consiguiente selecciona prender o apagar bomba y le da clic en monitorear, luego en la gráfica puede ir observando el monitoreo de la señal de la presión. Si el usuario desea terminar, entonces debe esperar que se termine de graficar el monitoreo y posteriormente debe dar clic en el botón Terminar y luego en el botón Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal.

Figura 19. Ventana para Monitorear Presión.



1.4.7. Monitorear Caudal.

En la ventana de la figura 20, el usuario indica el valor de muestreo, el número de muestras y la resolución de bits que desea, luego selecciona prender o apagar bomba y le da clic en monitorear, posteriormente en la gráfica puede ir observando el monitoreo de la señal del caudal. Si el usuario desea terminar, entonces debe esperar que se termine el monitoreo y posteriormente debe dar clic en el botón Terminar y luego en el botón Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal.

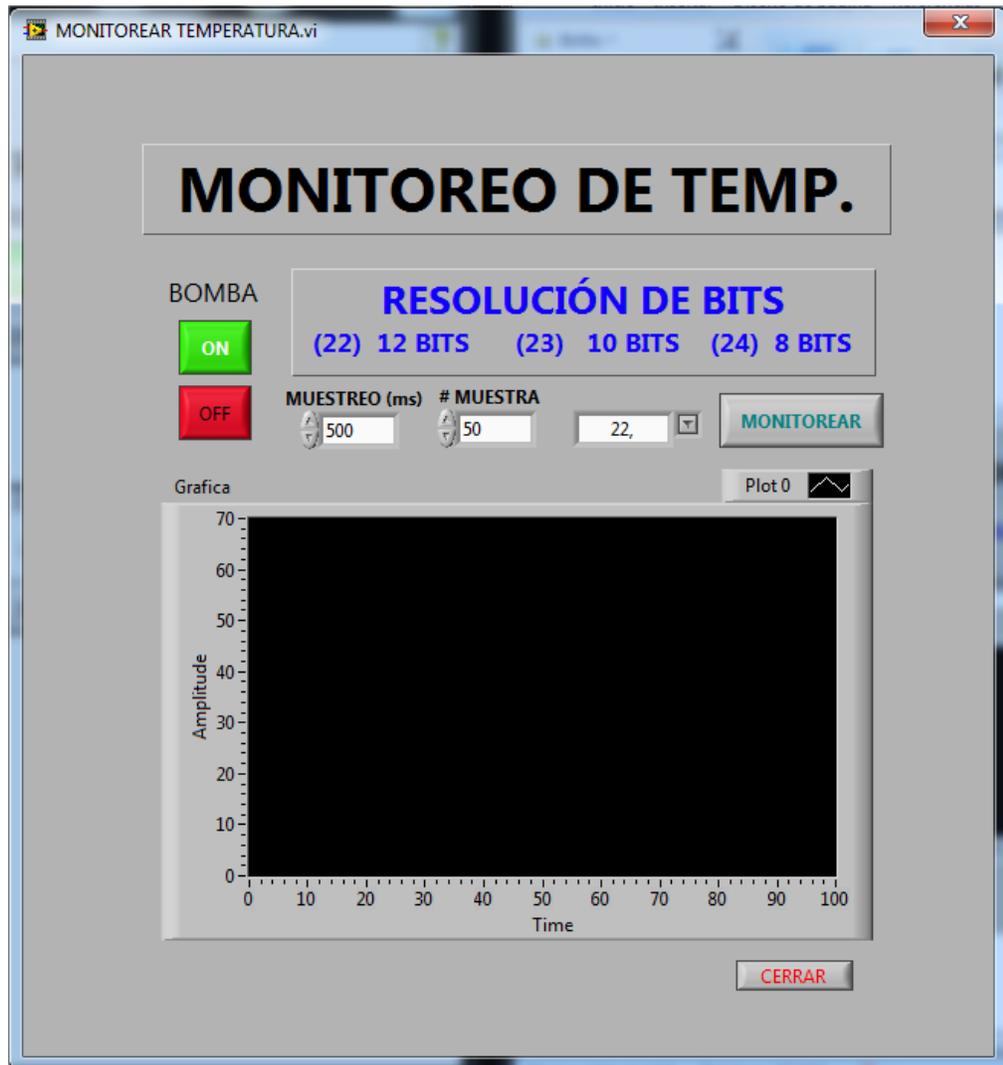
Figura 20. Ventana para Monitorear Caudal.



1.4.8. Monitorear Temperatura.

En la ventana de la figura 21, el usuario indica el valor de muestreo, el número de muestras y la resolución de bits que desea, seguidamente selecciona prender o apagar bomba y le da clic en monitorear, entonces en la gráfica puede ir observando el monitoreo de la señal de la temperatura. Si el usuario desea terminar, entonces debe esperar que se termine de ejecutar el monitoreo y posteriormente debe dar clic en el botón Terminar y luego en el botón Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal

Figura 21. Ventana para Monitorear Temperatura.



1.4.9. Valor Deseado Nivel.

En la figura 22, se observa la ventana para el valor deseado del nivel, donde tiene un tanque izquierdo para seleccionar el nivel deseado, luego se da clic en enviar. Posteriormente, en el tanque virtual derecho se visualiza el nivel actual y como empieza a bajar/subir para llegar al valor deseado, si el usuario desea terminar entonces debe dar clic en el botón Terminar y luego en botón Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal.

Figura 22. Ventana para el Valor Deseado Nivel.



1.4.10. Valor Deseado Temperatura.

La ventana para el valor deseado de temperatura (figura 23), tiene un tanque a la izquierda para seleccionar el nivel deseado, se da clic en enviar y luego en el tanque virtual derecho, se observa el nivel actual y como baja/sube para llegar al valor deseado, si el usuario desea terminar, debe dar clic en el botón Terminar y luego el botón Cerrar, para retornar a la Ventana del Programa Principal.

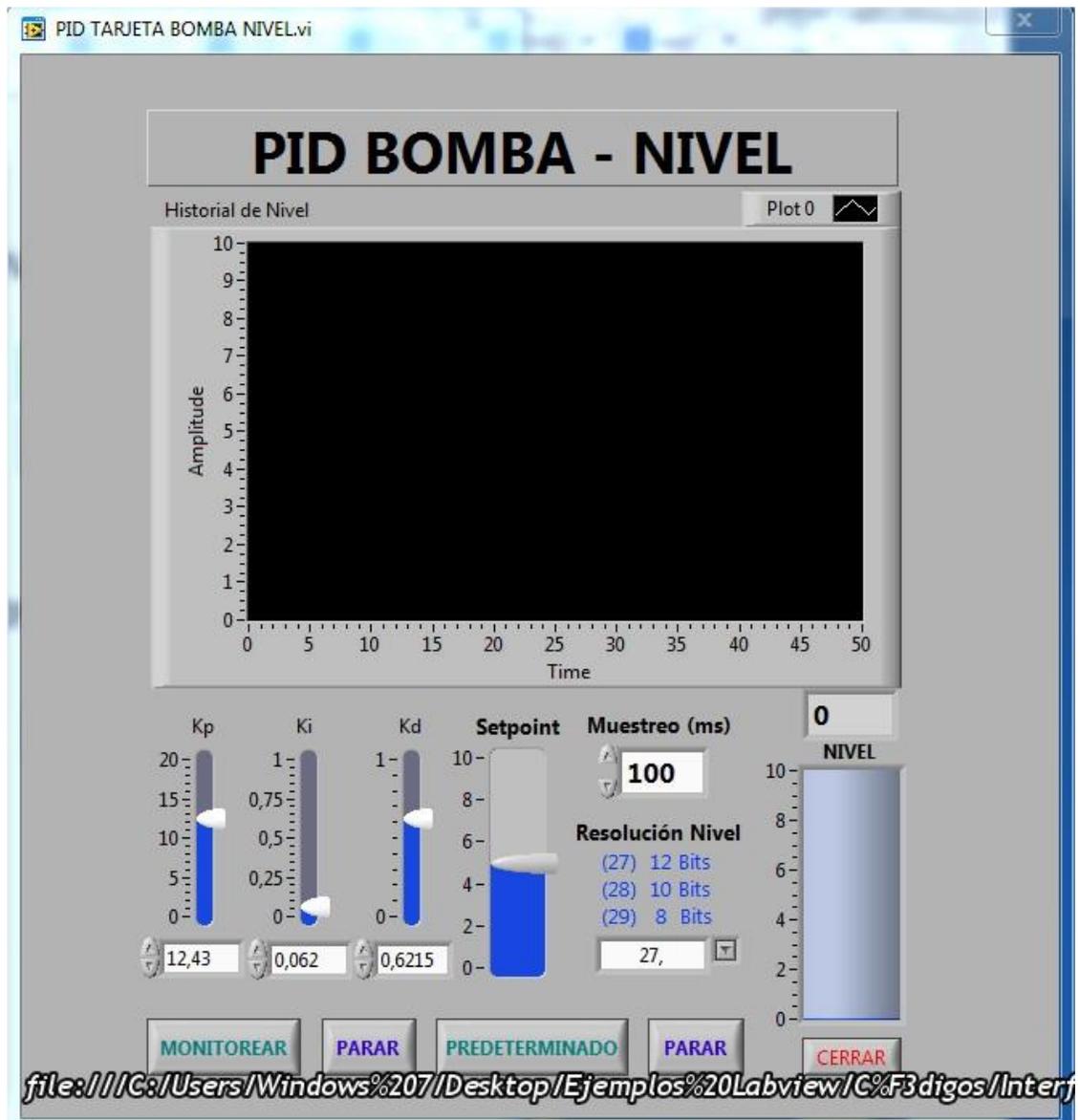
Figura 23. Ventana para el Valor Deseado Nivel.



1.4.11. PID Labview Bomba - Nivel.

En la figura 24, se ve la Ventana para el PID Labview Bomba - Nivel, en la cual el usuario debe indicar el valor de muestreo, resolución de bits, el valor para k_p , k_d , k_i , setpoint que desea, luego da clic en iniciar. Posteriormente se visualiza el estado del nivel tanto en la gráfica como en el tanque virtual, también se ve el valor de la salida PID en porcentaje. Si el usuario desea terminar el Control del PID, da clic en terminar y en el botón Cerrar, para retornar a la ventana del Programa Principal.

Figura 24. Ventana para el PID Labview Bomba - Nivel.

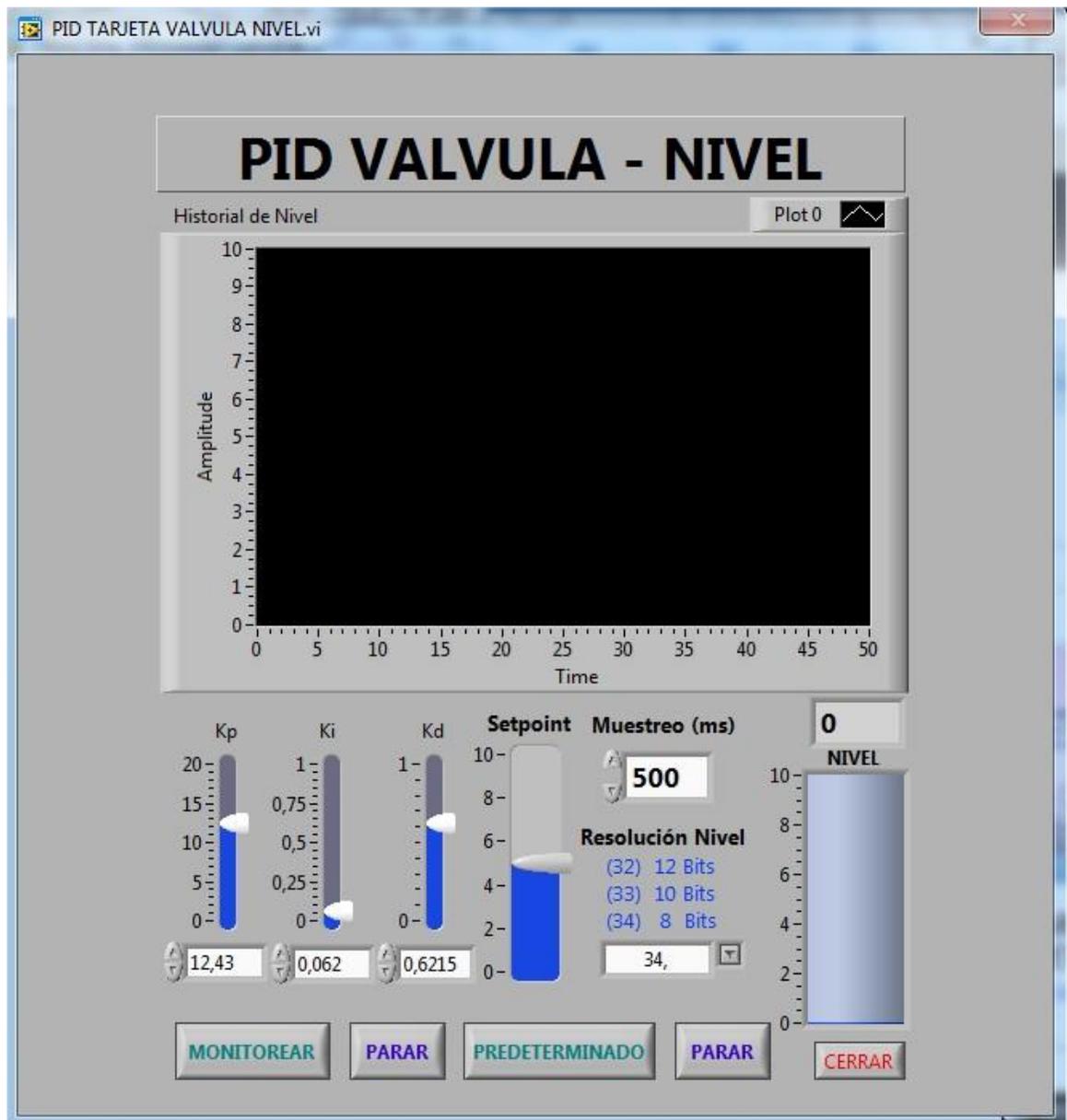


1.4.12. PID Labview Válvula 2 - Nivel.

En la figura 25, se ve la Ventana para el PID Labview Válvula 2 - Nivel, en la cual el usuario debe indicar el valor de la bomba, el valor de muestreo, resolución de bits, el valor para k_p , k_d , k_i , setpoint que desea, luego da clic en iniciar. Posteriormente se visualiza el estado del nivel tanto en la gráfica como en el tanque virtual, también se ve el valor de la salida PID en porcentaje y el control de la válvula 2 prendiendo/apagando. Pero si el usuario desea terminar el Control del

PID, da clic en terminar y luego en el botón Cerrar, para retornar a la ventana del Programa Principal.

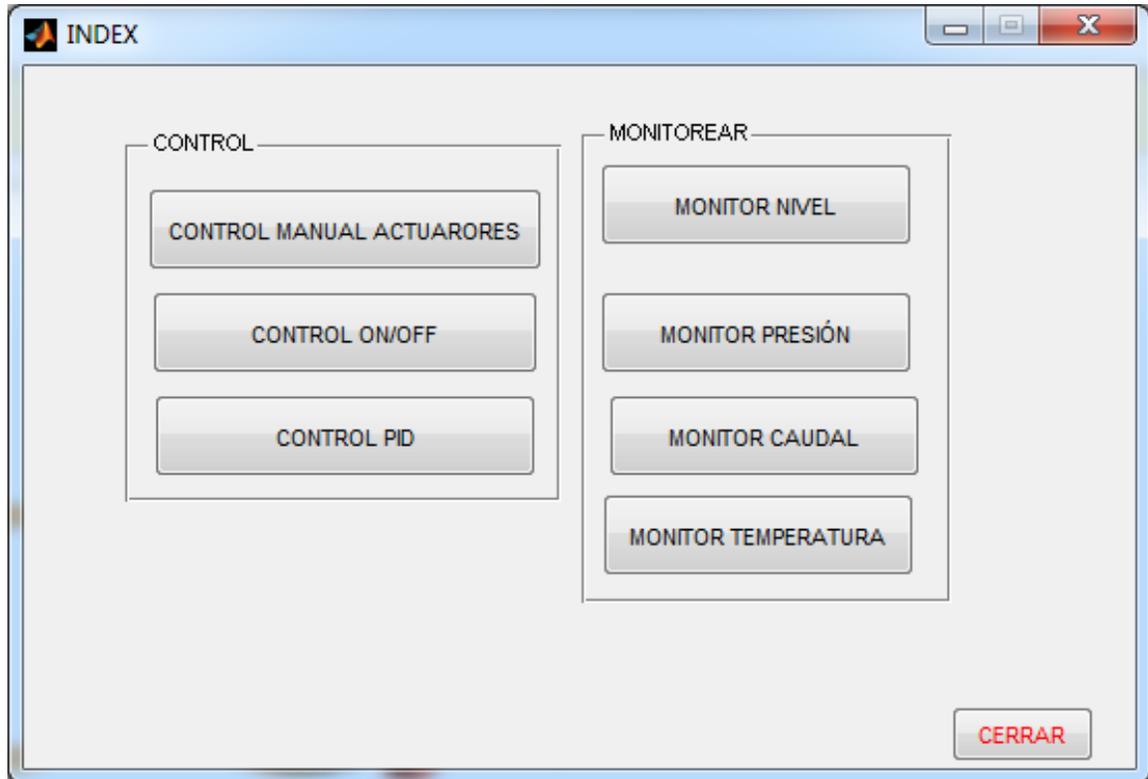
Figura 25. Ventana para el PID Labview Bomba - Nivel.



1.5. INTERFAZ GRÁFICA MATLAB

En la Ventana mostrada en la figura 12, el usuario tiene la opción de seleccionar el ejecutable llamado INDEX, el cual lo llevara directamente a menú principal Figura 26, donde se le facilitan las diferentes opciones con las que cuenta el programa.

Figura 26. Ventana INDEX.

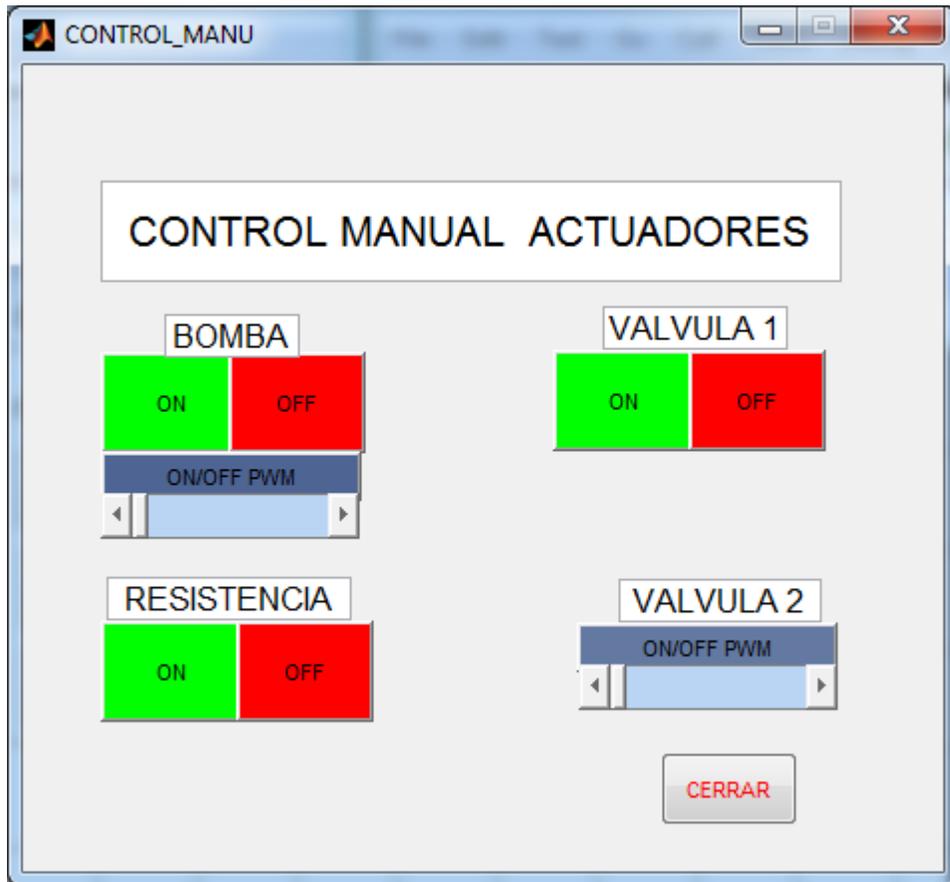


La selección para los botones de la figura anterior, dan apertura a una ventana, las cuales se explican para cada una, a continuación.

1.5.1. Control Manual Actuadores.

En figura 27, se puede observar la Ventana para el Control Manual Actuadores, donde le permite al usuario, controlar el Encendido y Apagado de los Actuadores, ya sea de manera ON/OFF o Proporcional (PWM) Respectivamente.

Figura 27. Control Manual Actuadores.



En esta interfaz se le recomienda al usuario no encender el proporcional de la bomba si esta se encuentra encendida. Para hacer uso del proporcional es necesario que la bomba se encuentre apagada, de lo contrario el programa cuenta con un sistema de seguridad interno el cual bloquea el control sobre el actuador.

1.5.2. Control ON/OFF

La ventana del Control ON/OFF que se muestra en la figura 28, le permite el operario seleccionar cuál de las dos variables desea realizar el Control ON/OFF, las cuales son Nivel y Temperatura.

Figura 28. Control ON/OFF.



- **Control ON/OFF Nivel**

En esta ventana, figura 29 el usuario debe indicar el valor inferior y superior para el Nivel deseado. Donde el programa se encarga de mantener el nivel entre estos límites y a su vez da a conocer el valor actual en el que se encuentra la variable controlada.

Figura29. Control ON/OFF nivel



- **Control ON/OFF Temperatura**

Si el usuario desea implementar un Control ON/OFF de Temperatura, al seleccionar esta opción da apertura a la Ventana que se ve en la figura 30, en la cual se le solicita el valor inferior y superior de Temperatura, donde desea que opere el Control. Para este control se debe tener en cuenta el límite inferior de temperatura que el usuario desee no debe ser inferior a la Temperatura Ambiente.

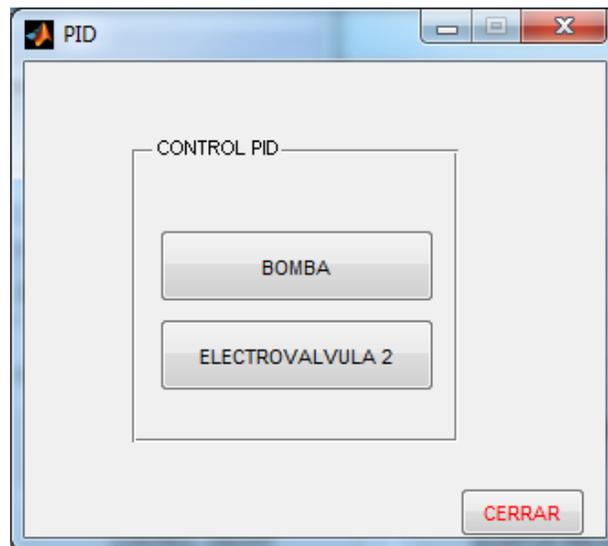
Figura 30. Control ON/OFF Temperatura.



1.5.3. Control PID

Para la Ventana del Control PID (figura 31), se le da opción al operario de seleccionar alguno de los dos actuadores, los cuales pueden ser controlados proporcionalmente y facilitan la implementación de control PID.

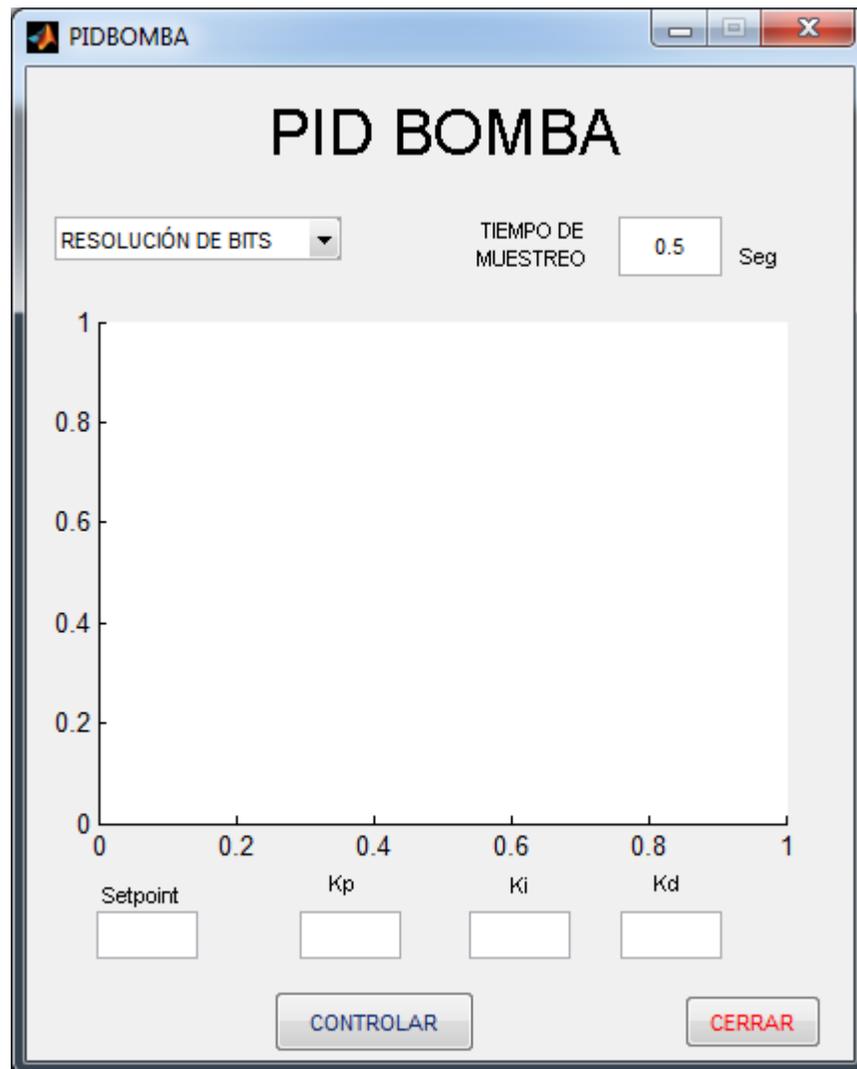
Figura 31. Control PID.



- **PID Bomba:**

Para el caso de la Ventana del PID Bomba (figura 32), el operario debe indicar la resolución de bits con la que desea adquirir los datos, teniendo como opción 8, 10 y 12 bits. A su vez, debe ingresar el tiempo de Muestreo, el valor deseado para el Setpoint, Kp, Ki y Kd. El usuario debe tener en cuenta que para implementar este controlador es necesario que el caudal de salida sea inferior al caudal de entrada, para asegurar esto, la válvula 101 debe permanecer con una apertura de 45°.

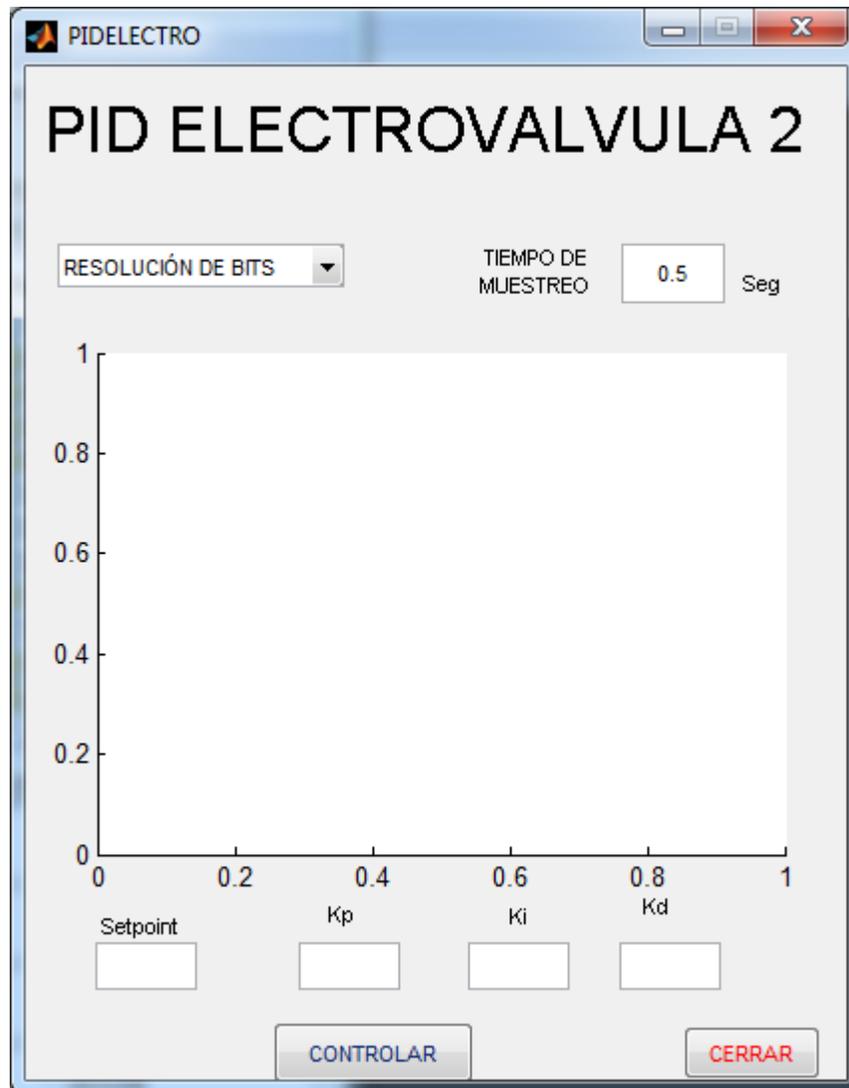
Figura 32. PID Bomba.



1.5.3.1. PID Electroválvula 2

Esta Ventana (figura 33), de PID Electroválvula 2, permite controlar la apertura proporcional de la Electroválvula 2 por medio de un PID. Donde el usuario debe ingresar la resolución de bits, con la opción de seleccionar entre 8, 10 o 12 bits. También debe indicar el tiempo de muestreo, el valor deseado de apertura y las constantes K_p , K_i y K_d .

Figura 33. PID Electroválvula 2.

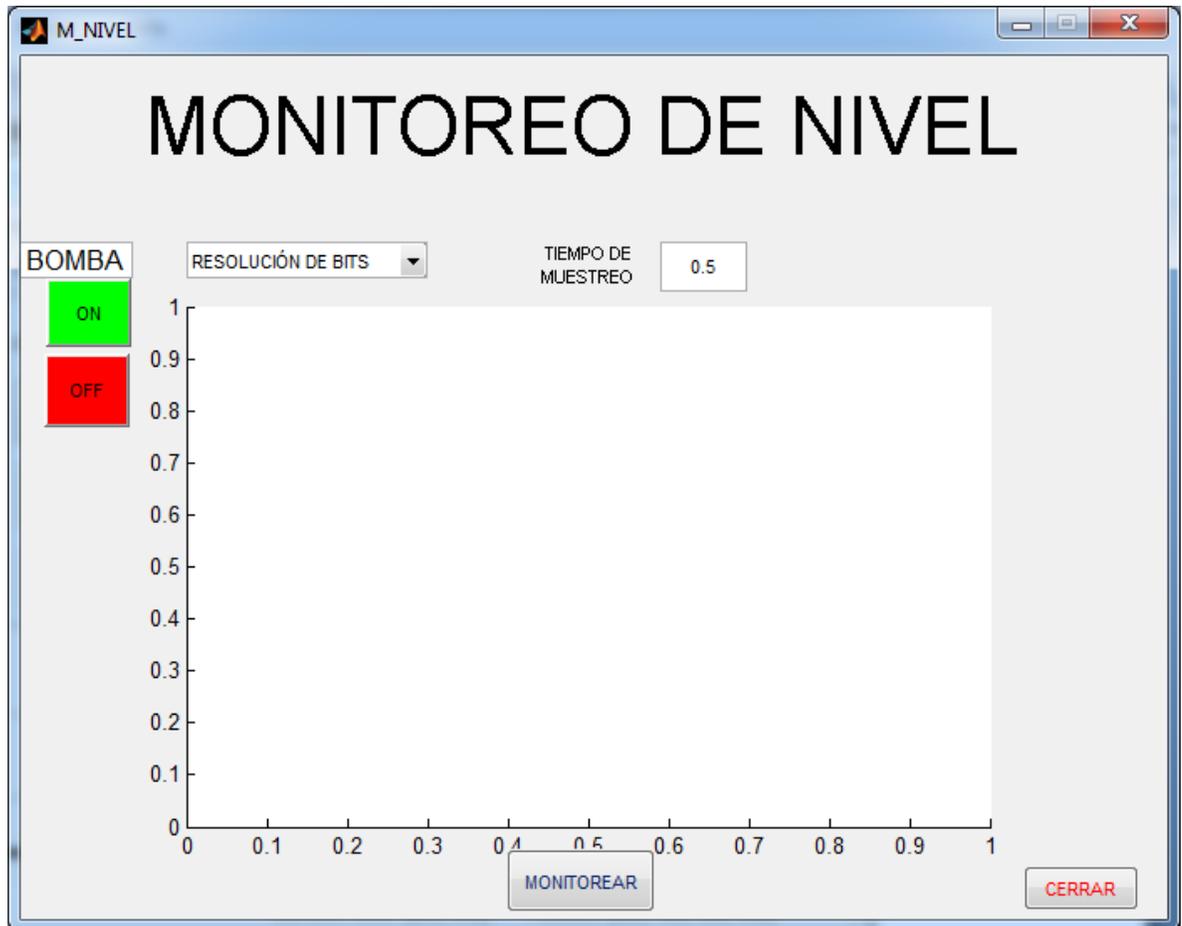


1.5.4. Monitor Nivel

En la figura 34, se muestra la Ventana Monitor Nivel, donde el usuario selecciona la resolución de bits y el tiempo de muestreo con la cual desea monitorear esta

variable, graficando el estado en que se encuentra. El usuario de forma manual tiene acceso al encendido/apagado de la Bomba.

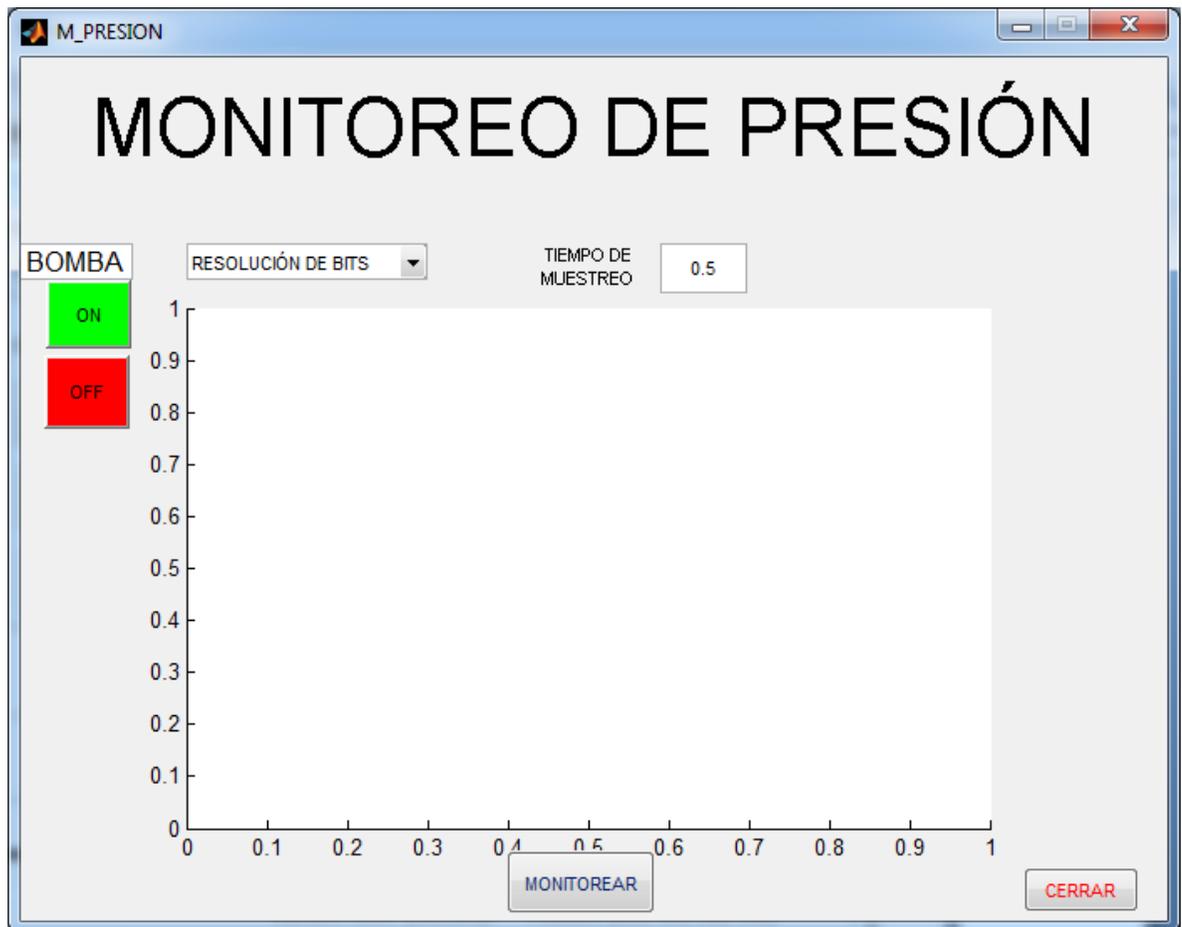
Figura 34. Monitor Nivel.



1.5.5. Monitor Presión

La Ventana de Monitor Presión observada en la figura 35, le permite seleccionar al usuario la resolución de bits y el tiempo de muestro, con la que puede conocer el estado y el comportamiento dinámico de la Variable.

Figura 36. Monitor Presión.



1.5.6. Monitor Caudal

En esta ventana del Monitor Caudal (figura 37), el usuario tiene acceso al estado de la variable y puede llegar a modificar el encendido/apagado de la Bomba, de esta manera, puede observar los cambios de la variable. Además de indicar la resolución y muestreo con la que desea realizar el monitoreo.

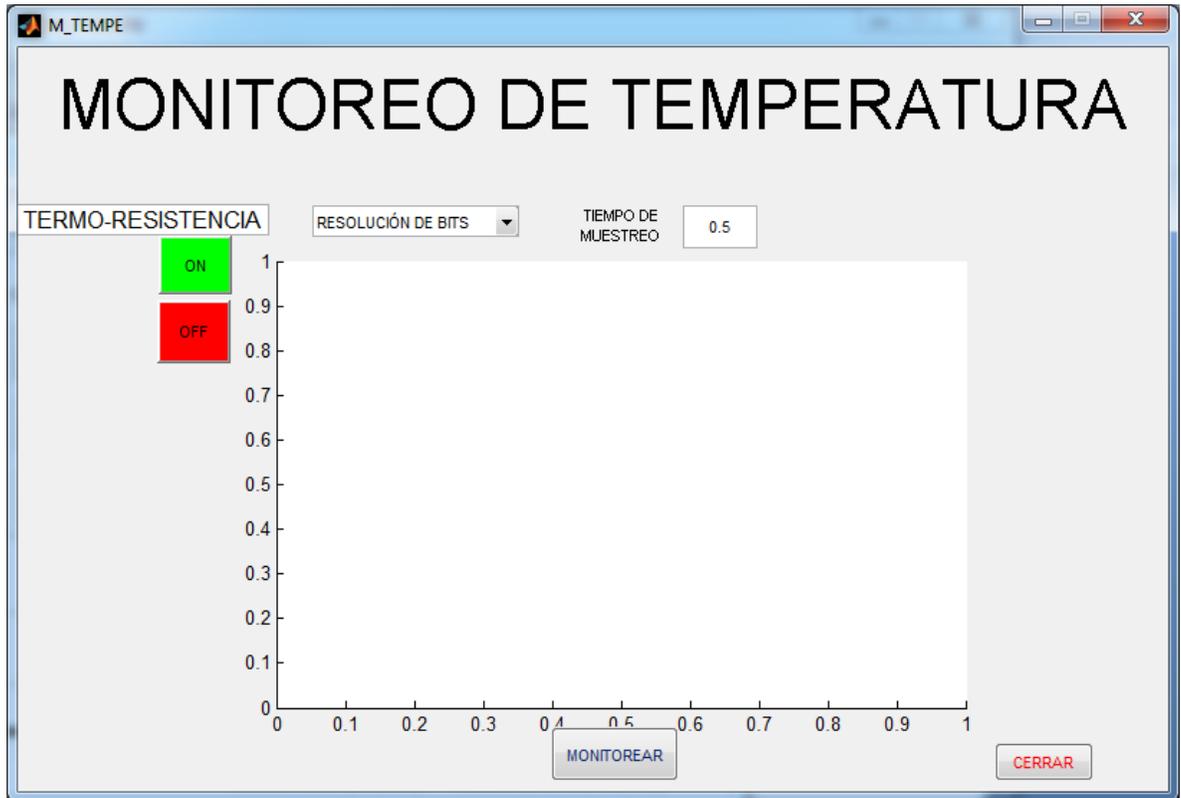
Figura 37. Monitor Caudal.



1.5.7. Monitor Temperatura

Por medio de esta Ventana para el Monitor Temperatura (figura 38), el operario puede acceder al estado en que se encuentre la Variable y modificar su valor, encendiendo/apagando la termo-resistencia y dar el valor para la resolución y tiempo de muestreo.

Figura 38. Monitor Temperatura.



Anexo 2.

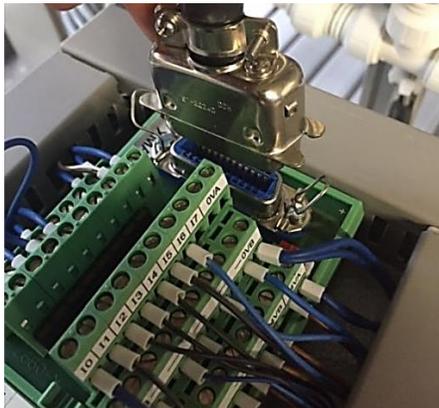
Manual de conexión y operación

Este manual contiene los pasos a seguir para realizar la conexión adecuada entre la estación de trabajo MPS PA COMPACT WORSTATION-MEASUREMENT y la tarjeta de adquisición de datos.

En la **figura1-a**, se puede observar el cable concentric de 24 pines; el cual es conectado al módulo del banco pin a pin y se asegura como se muestra en la **Figura 1-b**.

Figura 1. Conexión y acople del cable concentric.

a. Conexión cable concentric-24 al módulo.



b. Acople del cable concentric-24.



Fuente: propia.

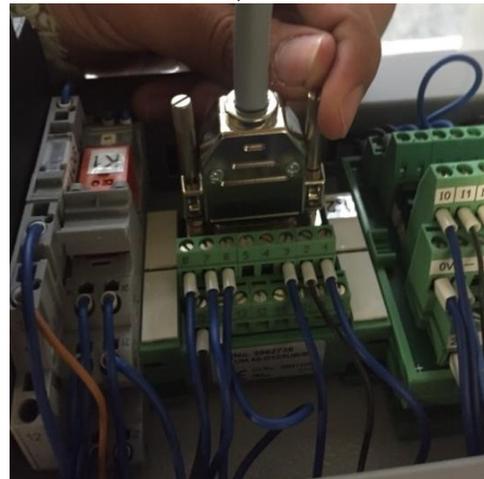
Como se observa en la Figura 3 se realiza la conexión del cable db-15 al módulo del banco y se asegura como se muestra en la Figura 4.

Figura 2. Conexión y acople del conector db-15.

a. Conexión cable db-15 al banco.



b. Acople cable db-15.



Fuente: propia.

Como se observa en la Figura 5 se conecta el conector db-15 a la tarjeta de adquisición y se asegura como se muestra en la Figura 6.

Figura 3. Conexión y acople del conector db-15 a la tarjeta de adquisición.

a. Conexión cable db-15 a la tarjeta de adquisición.

b. Acople cable db-15.



Fuente: propia.

Como se muestra en la Figura 7 se conecta el conector db-25 a la tarjeta y se asegura como se muestra en la Figura 8.

Figura 4. Conexión y acople del conector db-25 a la tarjeta de adquisición.

a. Conexión cable db-25 a la tarjeta de adquisición.

b. Acople cable db-25.



Fuente: propia.

Inicialmente se debe ejecutar la interfaz gráfica ya sea en matlab o LabView, para luego proceder a configurar la tarjeta de adquisición en modo automático, como se muestra en la **figura 5-a**. Por medio de esta configuración, se permite controlar la estación y realizar el monitoreo de las variables controladas. Para el modo manual, se debe alimentar la tarjeta por medio de un puerto USB como se observa en la **figura 4**, posteriormente se acciona el modo manual y plata pasa hacer controlada por medio de pulsadores como se ve en la **figura 5**.

Para el modo manual de la tarjeta

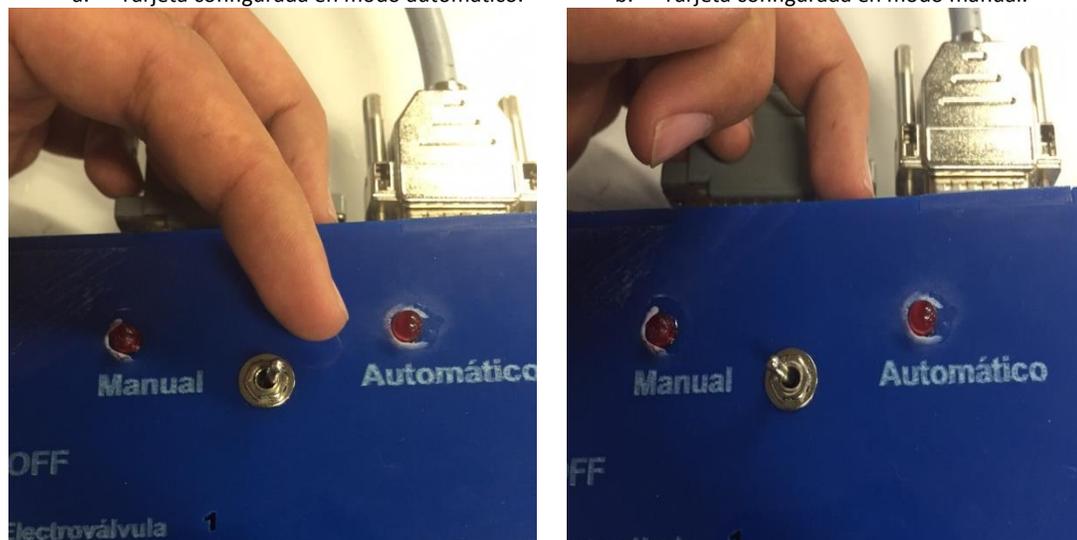
Figura 4. Conexión USB



Figura 5. Configuración de la tarjeta.

a. Tarjeta configurada en modo automático.

b. Tarjeta configurada en modo manual.



Fuente: propia.

