

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERA ELECTRÓNICA

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO
PARA EL CONTROL DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA
EN LA EMPRESA PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL
AUTOMATION**

AUTORA:

PIERINA JEANNINE ARROYO CHARCOPA

DIRECTOR:

ANÍBAL ROBERTO PÉREZ CHECA

Quito, abril de 2015

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE GRADO**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Quito, abril de 2015

Pierina Jeannine Arroyo Charcopa

CC. 080182485-5

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen de Guadalupe por haber guiado mi camino a lo largo de mi carrera profesional.

A mis padres, Wilson y Beatriz quienes siempre han estado conmigo brindándome su apoyo incondicional en todo momento.

A toda mi amada familia, en especial mi hermana Mell, mis tías Maricela, Nala y Albita, mis primas Sonia y María José por darme fuerza para continuar.

A mi novio Xavier quien siempre me apoyó y ayudó para salir adelante con el proyecto y a mis queridos amigos, en especial Katty, Lili y Andrea quienes siempre tuvieron una palabra de aliento para seguir en la lucha.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica Salesiana, por inculcar en mí los conocimientos adquiridos a lo largo de éste arduo camino.

Al Ingeniero Roberto Pérez, por su tiempo y dedicación a este proyecto, por compartir conmigo sus conocimientos para el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	2
ANTECEDENTES	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos.....	3
1.4 Beneficiarios de la propuesta de intervención	3
CAPITULO 2	4
CONTROL DE PROCESO	4
2.1 Generalidades.....	4
2.2 Flujo de fluidos	4
2.2.1 Rapidez de flujo de fluido.....	4
2.2.2 Medición de flujo de fluidos	5
2.3.1 Tipos de control.....	6
2.3.1.1 Lazo abierto.....	6
2.3.1.2 Lazo cerrado.....	7
2.3.2 Control PID	7
2.5 Software RSLinx.....	10
2.6 Software RSLogix5000.....	11
2.7 Software Factory Talk View.....	12
CAPITULO 3	13
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL DE UN PROCESO DE FLUJO	13
3.1 Generalidades.....	13
3.2 Velocidad y caudal máximo en tubería.....	13
3.2.1 Velocidad máxima.....	13
3.2.2 Caudal máximo.....	14
3.2.3 Cálculo de la potencia de la bomba.....	15

3.3	Selección de equipos y especificaciones técnicas.....	16
3.3.1	Sensor de flujo de agua.....	16
3.3.2	Variador de frecuencia	17
3.3.3	Bomba centrífuga	19
3.3.4	Controlador Lógico Programable (PLC).....	19
3.3.4.2	Fuente1769-PA4	21
3.3.4.3	Módulo de entradas analógicas 1769-IF4.....	22
3.3.4.4	Módulo de entradas y salidas digitales 1769-IQ6XOW4	23
3.3.6	Módulo 22XCOMMDCBASE	25
3.4	Diagramas	26
3.4.2	Diagrama del proceso (P&ID).....	27
3.4.3	Diagrama de fuerza.....	28
3.4.4	Diagrama eléctrico de control	29
3.5	Red Ethernet	30
3.5.1	Asignación de una dirección IP al CPU del PLC	30
3.5.2	Conexión del adaptador EtherNet/IP al variador.....	32
3.5.3	Asignación de una dirección IP al variador.....	32
3.5.5	Compruebe la comunicación haciendo ping.....	36
3.5.6.1	Añadir el variador PowerFlex4 a través de la tarjeta 22-COMM-E al proyecto RSLogix 5000	38
3.6.1	Estructura del módulo	43
3.6.2	Diseño de la planta.....	45
3.6.2.1	Montaje de los equipos en la parte inferior.....	46
3.6.3	Distribución de los equipos en el área superior	47
3.6.3.1	Montaje de los equipos en el área superior	47
3.7	Programación del módulo.....	48
3.7.1	Bloque de función PID.....	49
3.8	Diseño de un HMI.....	54
3.8.1	Creación de una nueva aplicación y establecimiento de la red con el PLC.....	58
3.8.2	Creación de HMI Tags	57
3.8.3	Creación de pantalla con objeto vinculado a tag del controlador	58

CAPITULO 4.....	60
MANUAL TÉCNICO DE PRÁCTICAS	60
4.1 Generalidades	60
4.2 Práctica 1	60
4.3 Práctica 2.....	61
4.4 Práctica 3.....	61
4.5 Práctica 4.....	62
4.6 Práctica 5.....	62
4.7 Práctica 6.....	63
CAPITULO 5.....	64
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	64
5.1 Generalidades.....	64
5.2 Comprobación del funcionamiento del módulo de control de flujo	64
5.3 Análisis del sistema de capacitación del módulo.....	64
5.4 Análisis de costos.....	64
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES.....	72
LISTA DE REFERENCIAS	73
ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Sistema de control en lazo abierto	6
<i>Figura 2.</i> Sistema de control en lazo cerrado	7
<i>Figura 3.</i> Controlador PID.....	8
<i>Figura 4.</i> Pantalla de BOOTP/DHCP	9
<i>Figura 5.</i> Pantalla de RSLinx.....	10
<i>Figura 6.</i> Pantalla de RSLogix5000.....	11
<i>Figura 7.</i> Factory Talk View	12
<i>Figura 8.</i> Sensor de flujo usado en el proyecto	17
<i>Figura 9.</i> Variador de frecuencia usado en el proyecto	17
<i>Figura 10.</i> Bomba centrífuga trifásica usada en el proyecto	19
<i>Figura 11.</i> Controlador 1769-L32E	20
<i>Figura 12.</i> Fuente de alimentación eléctrica.....	21
<i>Figura 13.</i> Módulo de entradas análogas 1769-IF4	23
<i>Figura 14.</i> Módulo de entradas y salidas digitales 1769-IQ6XOW4	24
<i>Figura 15.</i> Módulo de comunicación Ethernet 22-COMM-E usado en el proyecto	25
<i>Figura 16.</i> Módulo de comunicación Ethernet 22-COMM-DC-BASE.....	26
<i>Figura 17.</i> Diagrama de red Ethernet del proyecto.....	26
<i>Figura 18.</i> Diagrama del proceso de flujo	27
<i>Figura 19.</i> Diagrama de fuerza del proyecto	28
<i>Figura 20.</i> Diagrama eléctrico de control	29
<i>Figura 21.</i> Configuración de redes	30
<i>Figura 22.</i> Configuración de red.....	31
<i>Figura 23.</i> New Entry	31
<i>Figura 24.</i> Lista de relación.....	32
<i>Figura 25.</i> Configuración de redes	33
<i>Figura 26.</i> Configuración de red.....	33
<i>Figura 27.</i> Lista de relación.....	33
<i>Figura 28.</i> New Entry	34
<i>Figura 29.</i> Lista de relación.....	34
<i>Figura 30.</i> Configuración de comunicaciones	35
<i>Figura 31.</i> Configuración de red.....	35
<i>Figura 32.</i> Configuración de la red.....	36

<i>Figura 33.</i> Reconocimiento de equipos	36
<i>Figura 34.</i> PLC en Red.	37
<i>Figura 35.</i> Variador en red.....	37
<i>Figura 36.</i> Módulos añadidos al proyecto RSLogix5000.....	38
<i>Figura 37.</i> Menú de la red.....	38
<i>Figura 38.</i> Selección del variador.....	39
<i>Figura 39.</i> Nombre del variador	39
<i>Figura 40.</i> Definición del módulo	40
<i>Figura 41.</i> Marca total o parcial	40
<i>Figura 42.</i> Cuadro de diálogo	40
<i>Figura 43.</i> New Module.....	41
<i>Figura 44.</i> Variador en red.....	41
<i>Figura 45.</i> New Module.....	42
<i>Figura 46.</i> Selección del módulo	42
<i>Figura 47.</i> Selección de módulo de entradas y salidas digitales.....	42
<i>Figura 48.</i> Selección de módulo de entradas análogas	43
<i>Figura 49.</i> Módulos añadidos al Software RSLogix5000	43
<i>Figura 50.</i> Diseño estructura metálica	44
<i>Figura 51.</i> Estructura metálica construida	45
<i>Figura 52.</i> Implementación de tubería diseñada.....	46
<i>Figura 53.</i> Implementación de tubería construida	46
<i>Figura 54.</i> Implementación de conexiones.....	48
<i>Figura 55.</i> Implementación de conexiones.....	48
<i>Figura 56.</i> Tag PID.....	49
<i>Figura 57.</i> Configuración del bloque PID	49
<i>Figura 58.</i> Línea de tendencia caudal vs velocidad.....	51
<i>Figura 59.</i> Simulación función de transferencia Matlab	52
<i>Figura 60.</i> Bloque de función PID Matlab	52
<i>Figura 61.</i> Valores de sobreimpulso y tiempo de establecimiento	53
<i>Figura 62.</i> Valores de sintonización del PID.....	53
<i>Figura 63.</i> Ventana Factory Talk View	54
<i>Figura 64.</i> Nombre de la aplicación	55
<i>Figura 65.</i> Displays.....	55
<i>Figura 66.</i> Menú de herramientas.....	56

<i>Figura 67.</i> Nuevo servidor Rockwell.....	56
<i>Figura 68.</i> Ventana RSLinx Enterprise.	57
<i>Figura 69.</i> HMI Tags	57
<i>Figura 70.</i> Tags en línea	58
<i>Figura 71.</i> Nueva pantalla.....	58
<i>Figura 72.</i> Animation.....	59
<i>Figura 73.</i> Objeto en la pantalla	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Unidades de medida de la rapidez de flujo	5
Tabla 2. Velocidades en la tubería	14
Tabla 3. Características del variador	18
Tabla 4. Características del variador	18
Tabla 5. Características del controlador	20
Tabla 6. Fuente de alimentación eléctrica	21
Tabla 7. Módulo de entradas análogas	22
Tabla 8. Especificaciones del módulo de entradas digitales	23
Tabla 9. Especificaciones del módulo de salidas digitales	23
Tabla 10. Datos experimentales de la planta	50
Tabla 11. Costos directos	65
Tabla 12. Costos indirectos	66
Tabla 13. Costo total	66
Tabla 14. Flujo de caja	67
Tabla 15. Indicadores del proyecto	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Características técnicas de equipos	79
Anexo 2. Banco de ejercicios propuestos	83
Anexo 3. Manual técnico de prácticas	84

RESUMEN

La implementación de un módulo de entrenamiento para el control de un proceso de flujo fue necesario en la empresa PIL S.A. debido a que se necesita capacitar al personal para adaptarlo a las condiciones apropiadas para desarrollar los trabajos.

Los nuevos trabajadores al vincularse a la empresa se encuentran con equipos e interfaces diferentes a las que estaban acostumbrados a manejar, pero este módulo permite familiarizar al trabajador con el software y hardware con los que trabaja la empresa.

El módulo de entrenamiento está diseñado para realizar prácticas de nivel básico, intermedio y avanzado con la planta, todo es controlado mediante un PLC Allen Bradley de la familia CompactLogix con un CPU 1769-L32E y el software propio de la marca, RSLogix5000, para las prácticas de nivel avanzado se desarrolló una aplicación HMI para monitorización y supervisión del proceso, el software utilizado es el Factory Talk View Site Edition.

Para realizar este proyecto fue necesario un diseño minucioso de la estructura del módulo y de las conexiones eléctricas para una eficaz implementación del mismo.

ABSTRACT

Implementing a training module for controlling a process flow in the company was necessary PIL S.A. because they need to train staff to adapt to the appropriate conditions to develop the work.

New workers by joining the company are with equipment and different interfaces that were used to manage, but this module to familiarize the employee with the software and hardware you work with the company.

El The training module is designed for practice of basic, intermediate and advanced to the ground, everything is controlled by a PLC Allen Bradley CompactLogix family with a CPU 1769-L32E and self-marking software, RSLogix5000, for advanced level practices an HMI application for monitoring and oversight of the process was developed, the software used is the Factory Talk View Site Edition.

To carry out this project required careful design of the module structure and electrical connections for effective implementation.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto permitirá entrenar al personal nuevo de la empresa PIL Automation a través del diseño y construcción de un módulo de entrenamiento para el control de un proceso de flujo. A continuación se detalla el desarrollo del trabajo por capítulos.

En el capítulo uno, se presenta el planteamiento del proyecto a desarrollarse, la justificación, beneficiarios y los objetivos que se desean alcanzar.

En el capítulo dos, se presenta la fundamentación teórica relacionada con el control de procesos, su estructura, características y elementos constitutivos.

En el capítulo tres, se detalla el diseño y construcción del módulo de entrenamiento para el control de un proceso de flujo. El diseño se realiza por medio de cálculos y mediciones de las variables involucradas en el proceso. La construcción cuenta con todos los materiales necesarios, un variador de frecuencia, una bomba centrífuga, PLC Allen Bradley para control, Sistema de comunicación Ethernet y un HMI para supervisión del proceso.

En el capítulo cuatro, se pretende dar una guía para la capacitación del personal de la empresa mediante un manual técnico en el que se proponen 6 prácticas, iniciando con nivel básico, luego aumentando a intermedio y por último nivel avanzado, también se detalla el desarrollo de cada uno de ellas, incluido los pasos previos para su ejecución.

En el capítulo cinco, se pretende comprobar el funcionamiento del módulo de control de flujo, realizando un análisis a las pruebas, ejecutando las prácticas del manual técnico del capítulo cuatro y también se detalla el costo total del módulo incluido el diseño, construcción, montaje de los equipos y la relación Costo/Beneficio del proyecto.

CAPITULO 1

1. ANTECEDENTES

1.1 Introducción

En la actualidad el desarrollo de la tecnología ha generado que los equipos técnicos siempre se estén renovando y las exigencias de la Industria Petrolera en Ecuador sean cada vez más altas, ya que trabaja con una amplia gama de dispositivos para el área de control y automatización. Cada empresa elige la marca con la que desea trabajar según sus características técnicas y conveniencias.

La empresa PIL Automation se ve afectada debido a que la capacitación de personal es necesaria para adaptarlo a las condiciones apropiadas para desarrollar los trabajos. Los nuevos trabajadores al vincularse a la empresa se encuentran con equipos e interfaces diferentes a las que estaban acostumbrados a manejar, esto implica que el nuevo personal tenga que familiarizarse con los equipos y recibir capacitación en planta, lo que trae como consecuencia tiempos muertos y retraso en la producción. Por lo tanto este proyecto permitirá entrenar al personal nuevo a través del diseño y construcción de un módulo de entrenamiento para el control de proceso de flujo. Contará con comunicación Ethernet Industrial y un HMI para supervisión del proceso y se elaborará un manual técnico de prácticas para su operación.

1.2 Justificación

La Industria Petrolera en el Ecuador en la última década ha tenido un crecimiento notable, por lo que cada vez requiere insertar en su campo laboral profesionales en diferentes áreas. Una de ellas es el control de procesos y por este motivo es fundamental la vinculación de Ingenieros Electrónicos especializados en Sistemas Industriales, sin embargo en su desempeño profesional necesitan tiempo para adaptarse y desenvolverse en el manejo de los equipos e instrumentos nuevos que el mercado ofrece. Por lo antes mencionado, este proyecto propone la creación de un módulo de entrenamiento en control del proceso de flujo para el nuevo personal técnico de la empresa PIL Automation, que le permitirá a dicho profesional entrenarse en temas relacionados con la formación académica en la especialización.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar y construir un módulo de entrenamiento para el control de procesos de flujo en la Industria petrolera en la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL Automation.

1.3.2 Específicos

- Diseñar e implementar el Hardware del módulo de entrenamiento para el control de procesos de flujo para la Industria petrolera.
- Diseñar e implementar los programas para supervisión en el Software Factory Talk View Site Edition y para control en el Software RSLogix 5000.
- Configurar la comunicación Ethernet Industrial.
- Elaborar un manual técnico de prácticas básicas, intermedias y avanzadas para la operación del módulo de control de proceso de flujo.

1.4 Beneficiarios de la propuesta de intervención

La Empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL Automation y el nuevo personal técnico se beneficiarán directamente al realizar el módulo de entrenamiento en el área de proyectos de control y automatización. Además a través de este proyecto se creará vínculos entre la Universidad y la empresa privada.

CAPITULO 2

2. CONTROL DE PROCESO

2.1 Generalidades

Este capítulo presenta la fundamentación teórica relacionada con el control de procesos, su estructura, características, elementos constitutivos. También se da especificaciones generales de un proceso de flujo y su instrumentación debido a que la variable flujo es de gran importancia en la industria, ya que a ésta se puede encontrar en plantas de tratamiento de: aguas residuales, petróleo, agua potable, manejo de lácteos y de cualquier tipo de productos líquidos.

2.2 Flujo de fluidos

2.2.1 Rapidez de flujo de fluido

La cantidad de flujo que fluye en un sistema por unidad de tiempo, se puede expresar mediante los tres términos que se definen a continuación.

Q: La rapidez de flujo de volumen, es el volumen del flujo de fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo.

W: La rapidez de flujo de peso, es el peso de fluido que fluye pasa por una sección por unidad de tiempo.

M: La rapidez de flujo de masa, es la masa de fluido que fluye pasa por una sección por unidad de tiempo. (Mott, 1996, pág.146)

De estos tres términos, el que se utiliza en el proyecto es la rapidez de flujo de volumen debido a que ésta es la variable que se desea controlar.

El fluido que circula por la planta es agua y la unidad en la que se desea medir es Lt/min.

Q se calcula con la ecuación:

$$Q= Av \tag{1-1}$$

2.2.2 Medición de flujo de fluidos

En la tabla 1 se resume los tres tipos de rapidez de flujo de fluido y en ella se dan las unidades estándar tanto en el Sistema Internacional como en el Británico de Unidades. Debido a que los metros cúbicos por segundo y los pies cúbicos por segundo son muy grandes para la rapidez de flujo, con frecuencia se utilizan otras unidades, como los Lt/min. (Mott, 1996, pág.147)

Tabla 1.
Unidades de medida de la rapidez de flujo

Símbolo	Nombre	Definición	Unidades SI	Sistema Británico de Unidades
Q	Rapidez de flujo de Volumen	$Q=Av$	m^3/s	pie^3/s
W	Rapidez de flujo de peso	$W=YQ$ $W=Y Av$	N/S	lb/s
M	Rapidez de flujo de masa	$M=pQ$ $M=pAv$	Kg/s	Slugs/s

Nota. Fuente: Mott, 1996, pág.147
Elaborado por: Pierina Arroyo

2.3 Sistema de control

“Es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado” (Ogata, 2010, pág.3)

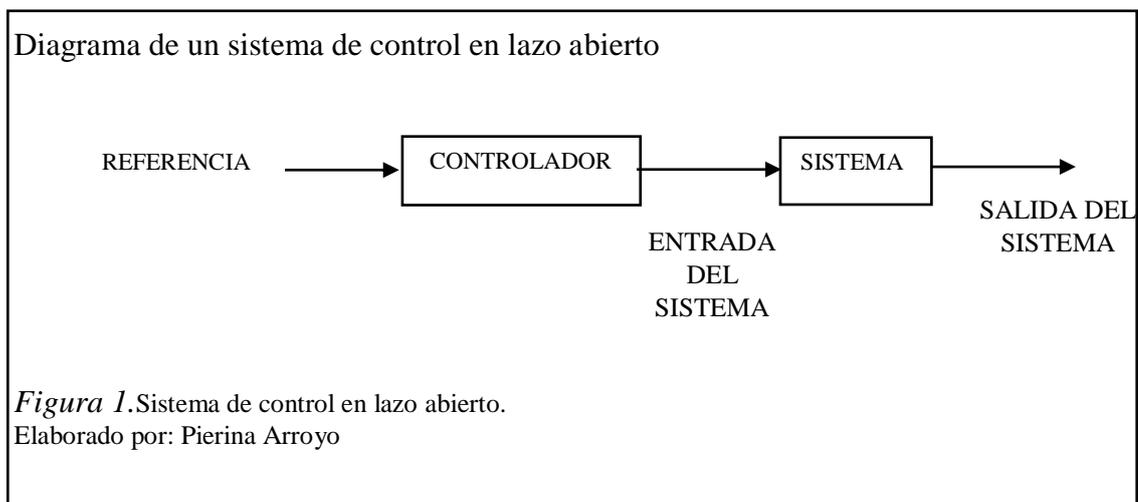
2.3.1 Tipos de control

2.3.1.1 Lazo abierto

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. (Ogata, 2010, pág.8)

En la Figura 1 se presenta el diagrama de un sistema de control en Lazo Abierto.



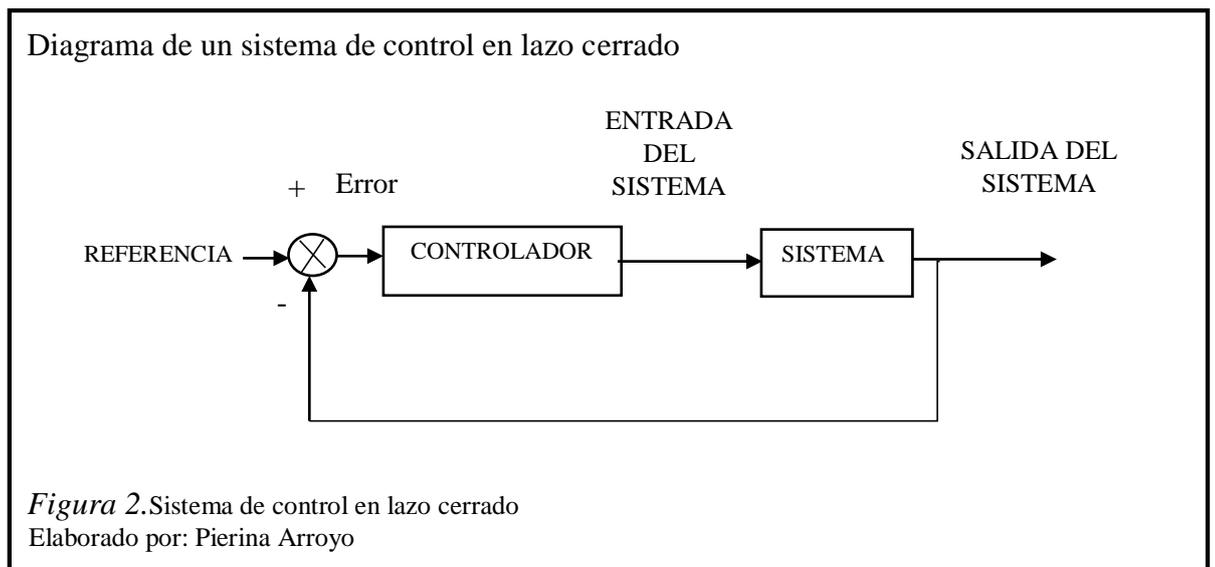
2.3.1.2 Lazo cerrado

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador con la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.

El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (Ogata, 2010, pág.7)

En la Figura 2 se presenta el diagrama de un sistema de control en Lazo Abierto.



2.3.2 Control PID

Es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se desea obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral y el derivativo. El valor proporcional determina la reacción del error actual.

El integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero.

El derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. Ajustando estas tres variables en el algoritmo del control PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso. (Visioli, 2011, pág.98.)

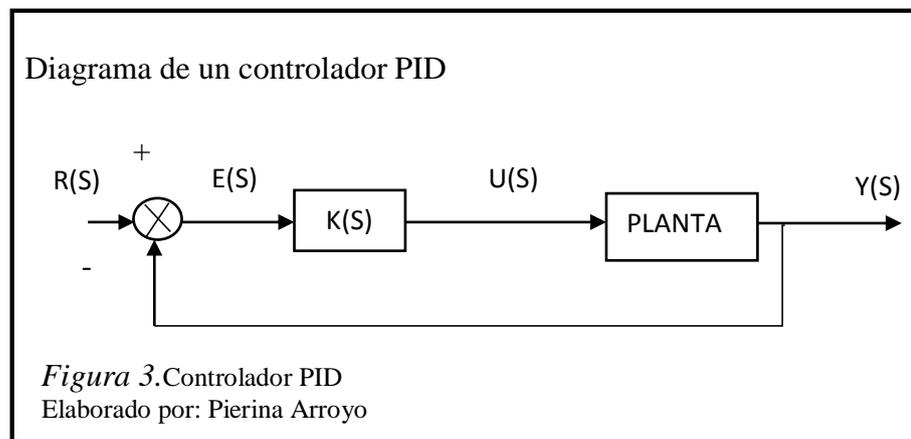
La ecuación de un controlador PID se obtiene mediante:

$$\mu(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + k_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1-2)$$

Y su función transferencia resulta:

$$C_{PID}(S) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (1-3)$$

El controlador PID es aún el más utilizado en la industria moderna, se considera el lazo básico de control como el que se muestra en la Figura 3.

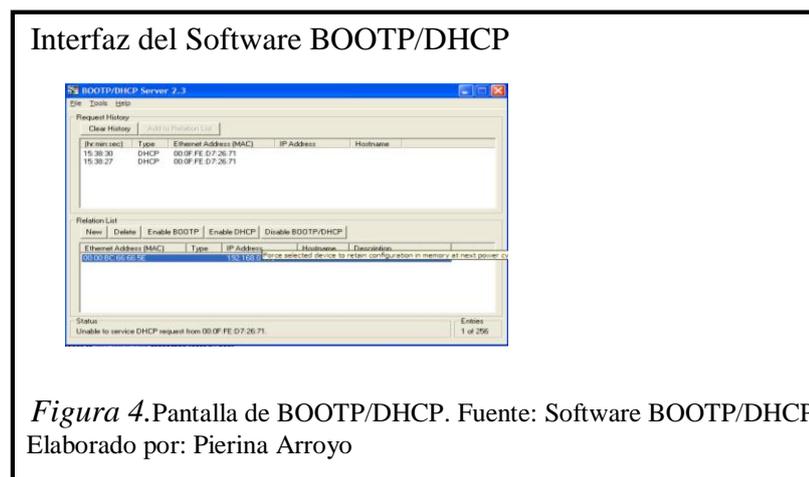


2.4 Software BOOTP/DHCP

Este software es una herramienta del paquete de Allen Bradley para sus equipos, permite asignar una dirección IP a los dispositivos con los que se desea establecer una red o si se desea conectar vía online con un PLC que tiene comunicación Ethernet y se necesita setear su dirección IP.

Primero se deben asignar las direcciones IP a los dispositivos para luego poder configurar el enlace en el Software RSLinx debido a que sin este paso previo resulta muy difícil establecer la red ya que la dirección IP es la identificación del equipo dentro del entorno.

En la Figura 4 se presenta la interfaz del software BOOTP/DHCP con el usuario.



2.5 Software RSLinx

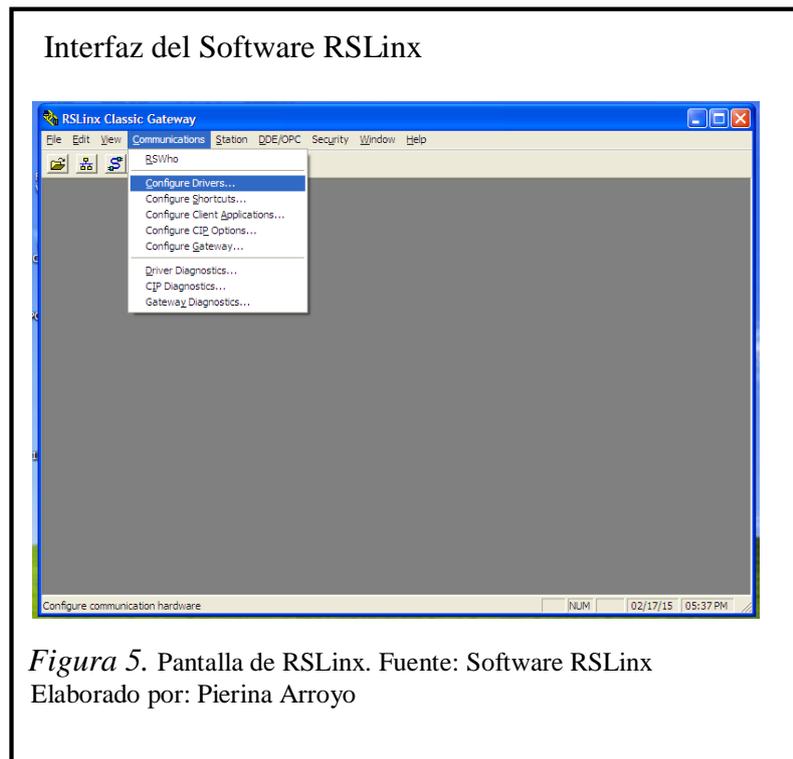
RSLinx es el software que gestiona la red de comunicación entre el paquete de desarrollo de la programación y los dispositivos que se desean adherir a la red.

Este software permite crear drivers de comunicación en los que se elige el tipo de comunicación que se va a utilizar, en el caso de este proyecto se usó el driver Ethernet Devices.

En la ventana de diálogo RSWho se verifica que los dispositivos de la red se encuentren activos y listos para utilizarse.

El software RSLinx puede obtener acceso a la lista de nombre de tags almacenada en el software RSLogix5000 y poner la lista de nombre de tags a disposición de otros paquetes de software.

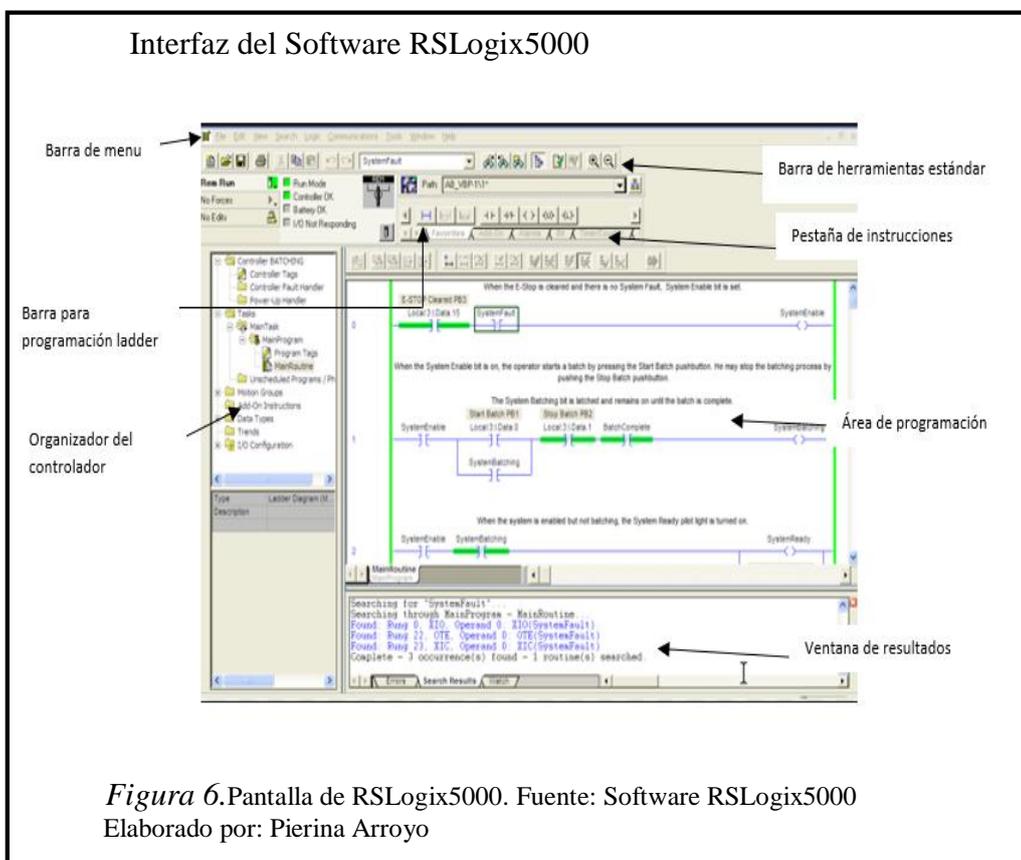
En la Figura 5 se presenta la interfaz del software RSLinx con el usuario.



2.6 Software RSLogix5000

El software RSLogix 5000 está diseñado para programar controladores de la familia Logix 5000 y para la plataforma logix de Rockwell Automation. Utiliza varios tipos de lenguaje de programación como Escalera (Ladder), Bloques de funciones (Functions blocks), texto estructurado (structuredtext) y esquemas de funciones secuenciales (SequentialFunction Chart), tiene un entorno muy amigable con el usuario sencillo de manejar.

En la Figura 6 se presenta la interfaz del software RSLogix5000 con el usuario.



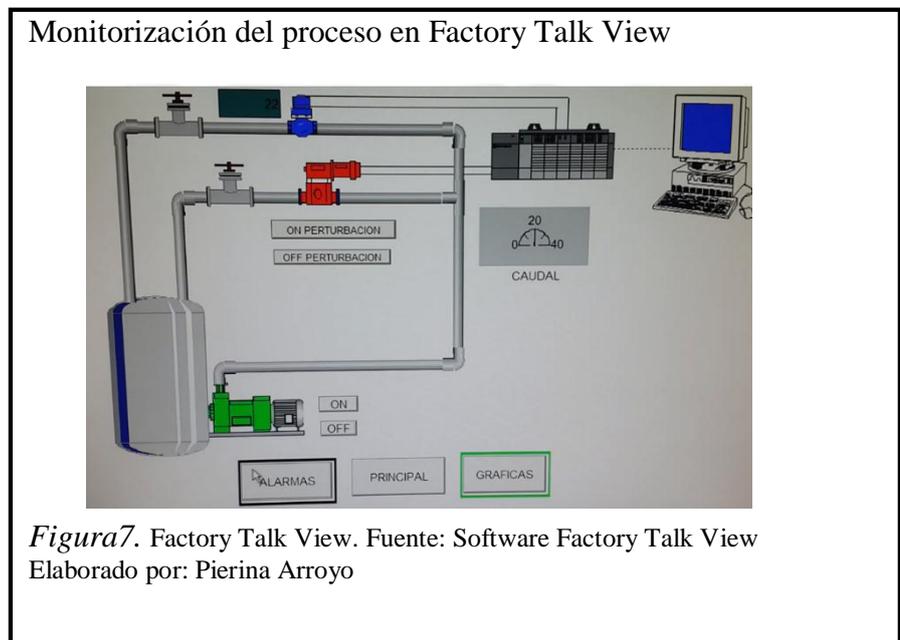
Cada tag se almacena individualmente en el controlador, de modo que se puede crear nuevos tags mientras está en línea con un controlador en el modo de marcha.

Permite combinar lenguajes de programación, es decir todos los lenguajes de programación soportados comparten el mismo entorno de desarrollo, base de datos de tags e interface de usuario de fácil uso. Allen Bradley (2009). Software RSLogix5000. Recuperado el 25-Feb-2015, de <http://rockwellautomation.com>

2.7 Software Factory Talk View

Factory Talk View es el software de Rockwell Automation que permite desarrollar aplicaciones HMI a nivel de supervisor a través de una red.

Mediante RSLinx este software tiene acceso a la lista de tags de RSLogix5000 y permite realizar animaciones, visualizaciones y monitoreo de las variables que pertenecen al proceso, también permite obtener datos históricos de las alarmas que se produzcan y gráficas para monitorización del proceso como se muestra en la Figura 7.



CAPITULO 3

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL DE UN PROCESO DE FLUJO

3.1 Generalidades

En el presente capítulo se realizará el diseño y construcción del módulo de entrenamiento para el control de un proceso de flujo. El diseño se realizará por medio de cálculos y mediciones de las variables involucradas en el proceso. La construcción contará con todos los materiales necesarios, un variador de frecuencia, una bomba centrífuga, PLC Allen Bradley para control, Sistema de comunicación Ethernet y un HMI para supervisión del proceso.

3.2 Velocidad y caudal máximo en tubería

3.2.1 Velocidad máxima

Existe un límite de velocidad máximo en el diseño, según el material de la tubería.

La velocidad máxima permisible para los diferentes tipos de material se muestra en la Tabla 2

Tabla 2.
Velocidades en la tubería

MATERIAL DE LA TUBERÍA	VELOCIDAD	
	MÁXIMA	MÍNIMA
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3,00	0,30
Concreto simple hasta 65 cm de diámetro o mayores	3,50	0,30
Concreto reforzado	3,50	0,30
Acero con revestimiento	5,00	0,30
acero sin revestimiento	5,00	0,30
Acero galvanizado	5,00	0,30
Asbesto cemento	5,00	0,30
Hierro fundido	5,00	0,30
Hierro dúctil	5,00	0,30
Polietileno de alta densidad	5,00	0,30
PVC	5,00	0,30

Nota. Fuente: Cálculo Hidráulico de tuberías industriales, PDVSA, pág. 45
Elaborado por: Pierina Arroyo

3.2.2 Caudal máximo

Dado que existe un límite de velocidad dentro de las tuberías se procede a calcular el caudal máximo para evitar sobrepasar dicha velocidad.

Tubería de ½”

$$Q_{max} = V * A \quad (3-1)$$

$$Q_{max} = \frac{5m}{s} * 1.96x10^{-4}m^2x_h^{3600s} \quad (3-2)$$

$$Q_{max} = 3.51m^3/h \quad (3-3)$$

El Caudal máximo que se va utilizar en el sistema es

$$\frac{3.51m^3}{h} = \frac{58.5lt}{min} = 0.000975m^3/s$$

3.2.3 Cálculo de la potencia de la bomba

Para la determinación de la potencia que requiere la bomba para transmitir al sistema se aplicará la siguiente fórmula.

$$P_{teórica} = ha * p * g * Qt \quad (3-4)$$

Se determinará la potencia real (potencia de entrada de la bomba) considerando lo siguiente:

$$P_{real} = \frac{P_{teórica}}{n} \quad (3-5)$$

Donde, n = eficiencia.

En este caso se utiliza una eficiencia del 30% como el valor mínimo que puede tener la bomba.

ha , es la altura dinámica

p , es la densidad del agua

g , es la aceleración de la gravedad

Qt , es el caudal total

Como caudal máximo se utilizará $0.000975m^3/s$ y como ha 0.80m

$$P_{teórica} = 0.80m * 998.2kg/m^3 * 9.98m/s^2 * 0.000975m^3/s \quad (3-6)$$

$$P_{teórica} = 7.7703 \frac{kgm^2}{s^3} \quad (3-7)$$

Considerando la equivalencia de 1HP = 745 W.

$$P_{teórica} = \frac{7.7703}{745} \quad (3-8)$$

$$P_{teórica} = 0.01042HP \quad (3-9)$$

Potencia real de la bomba

$$P_{real} = \frac{0.01042}{0.30} \quad (3-10)$$

$$P_{real} = 0.03473HP \quad (3-11)$$

Por lo tanto se necesita una bomba de $\frac{1}{2}$ HP que es la de menor valor de potencia en el mercado.

3.3 Selección de equipos y especificaciones técnicas

3.3.1 Sensor de flujo de agua

Se decidió usar un sensor de flujo modelo YF-21 como el que se muestra en la Figura 8, debido a que es versátil y de fácil funcionamiento, se alimenta con 12VDC y su señal de salida es un tren de pulsos que acondicionado con un sistema electrónico se puede comunicar con el módulo de entradas análogas 1769-IF del PLC el mismo que recibe una señal de 0-5 VDC.

Su principio de funcionamiento es el efecto hall, el mismo que consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo.

Para esto es necesario que la dirección del campo magnético sea perpendicular a la dirección de flujo de la corriente.

El campo magnético transversal ejerce una fuerza desviadora sobre el conductor o semiconductor. Esta fuerza causa la desviación de los portadores de carga que se mueven a través del material.

Como resultado, aparece una diferencia de potencial V_{xy} (denominada voltaje de Hall) entre los extremos del conductor. Este voltaje es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado y su polaridad depende del signo de los portadores de carga.

Sensor de flujo



Figura 8. Sensor de flujo usado en el proyecto
Elaborado por: Pierina Arroyo

3.3.2 Variador de frecuencia

Variador de frecuencia



Figura 9. Variador de frecuencia usado en el proyecto
Elaborado por: Pierina Arroyo

Se decidió usar un variador de frecuencia trifásico PowerFlex4 de la marca Allen Bradley de 2 HP de potencia y 220V de alimentación, debido a que una de sus características técnicas es contar con el protocolo de comunicación RS485, el mismo que es primordial para establecer la comunicación con el PLC y controlarlo, otro factor determinante para seleccionar este equipo es su precio ya que es accesible al consumidor.

En el puerto de comunicación RS485 se conecta el kit de comunicación 22-XCOMM-BASE que a la vez se conecta mediante un bus de datos con la tarjeta de comunicación 22-COMM-E que permite el acceso a una red Ethernet y de esta manera controlar el variador desde el CPU del PLC.

Estos variadores compactos tienen características técnicas tales como las que se muestran en la Tabla 3 y la Tabla 4.

Tabla 3.
Características del variador

Variador de frecuencia PowerFlex4	
Temperatura Ambiente	50 °C (122 °F)
Control	V/Hz
Comunicación	RS-485
Comunicaciones opcionales	ControlNet™, DeviceNet™, EtherNet/IP™, ProfibusDP, BACnet™ y LonWorks®
Programación	Teclado LCD integral o software DriveTools™ SP

Nota. Fuente: Publicación 22A-QS001H-ES-P (2009)
Elaborado por: Pierina Arroyo

Tabla 4.
Características del variador

Número de Catálogo	Capacidades nominales de salida		capacidades nominales de entrada			protección de circuitos secundarios			Disipación de alimentación eléctrica
	Kw(HP)	Amps	Gama de tensión	KVA	Amps	Fusibles	Protectores de motor 140M2	Contactores	IP20 Watts Abiertos
Entrada trifásica de 200-240V CA 10%. Salida trifásica de 0-230V									
22A-B800N104	1,5(2,0)	8	180-265	4	9,5	15	140M-C2E-C16	100-C12	85

Nota. Fuente: Publicación 22A-QS001H-ES-P (2009)
Elaborado por: Pierina Arroyo

3.3.3 Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial.

Una bomba centrífuga consiste en un rodete que produce una carga de presión por la rotación del mismo dentro de una cubierta. Las diferentes clases de bombas se definen de acuerdo con el diseño del rodete, el que puede ser para flujo radial o axial. Quiminet(2012). Características de las Bombas Centrífugas. Recuperado el 17-Feb-2015, de <http://quiminet.com>

Se decidió utilizar una bomba centrífuga trifásica de 2HP de potencia y alimentación de 220VAC como la que se muestra en la Figura 10. La bomba es de mayor potencia a la calculada ya que ésta fue proporcionada por la empresa auspiciante.



3.3.4 Controlador Lógico Programable (PLC)

Se decidió utilizar un PLC de marca Allen Bradley de la familia CompactLogix 1769 para el desarrollo del proyecto, debido a que se requiere capacitar al personal técnico de la empresa auspiciante en el uso de los equipos que ésta utiliza para sus proyectos. Este PLC es de tipo modular, proporciona flexibilidad con opciones de montaje en riel DIN o panel, evita el posicionamiento incorrecto del módulo por codificación por

software, conecta hasta tres bancos de Compact I/O™, requiere el uso de un módulo adaptador de comunicación y una fuente de alimentación eléctrica.

3.3.4.1 Controlador 1769-L32E

El controlador 1769-L32E que se muestra en la Figura 11, es un módulo de la familia CompactLogix de Allen Bradley, a través de él se obtiene control y comunicación con los dispositivos que formen parte de la red que se desea establecer, mediante la utilidad BOOTP se le asigna una dirección IP al puerto Ethernet y así se podrá tener comunicación con el PLC.

A continuación se presenta la Tabla 5 en la que se describe las características técnicas del módulo de control 1769-L32E:

Tabla 5.
Características del controlador

Controlador	Memoria Disponible	Opciones de Comunicación	Número de tareas admitidas	Número de E/S locales admitidas
1769-L32E	750KB	1 Puerto Ethernet/IP 1 Puerto RS-232	6	16

Nota. Fuente: Publicación 1769-UM011I-ES-P (2013)
Elaborado por: Pierina Arroyo



3.3.4.2 Fuente 1769-PA4

Las fuentes de alimentación eléctrica de E/S Compact I/O 1769-PA4 distribuyen la alimentación desde cualquiera de sus caras laterales. Puede proporcionar 2 amperes tanto al lado izquierdo como al lado derecho de la fuente con un voltaje de 5 VCC y 1 amper a cada lado a 24VCC.

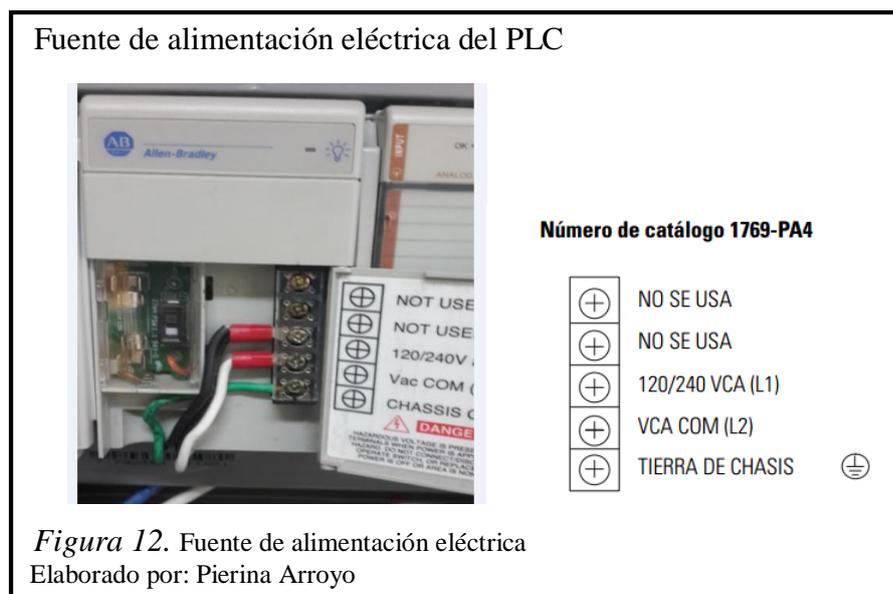
A continuación se presenta la Tabla 6 en la que se describe las características técnicas de la fuente utilizada en el proyecto:

Tabla 6.
Fuente de alimentación eléctrica

Número de Catálogo	Descripción	Categoría de Voltaje	Rango de Voltajes de Funcionamiento
1769-PA4	Fuente de alimentación eléctrica de expansión 1769 Compact i/o	120/220VCA	85....VCA o 170....265VCA

Nota. Fuente: Publicación 1769-IN028B-ES-P (2008)
Elaborado por: Pierina Arroyo

La alimentación de la fuente en su entrada tiene un rango de 120-240VAC y sus conexiones son las mostradas en la Figura 12.



3.3.4.3 Módulo de entradas análogas 1769-IF4

El módulo de entradas análogas utilizado es el que se muestra en la Figura 13, tiene cuatro canales de entrada, de los cuales se usó únicamente uno ya que el módulo de control de flujo sólo cuenta con un sensor de caudal con rango de operación de 0 a 5VCC.

A continuación se presenta la Tabla 7 en la que se describe las características técnicas del módulo de entradas y salidas análogas:

Tabla 7.
Módulo de entradas análogas

Especificación	1769-IF4
Rangos de operación analógica normal	Voltaje: $\pm 10VCC$, de 0 a 10VCC, de 0 a 5VCC, de 1 a 5VCC Corriente: de 0 a 20mA, de 4 a 20mA
Número de Entradas	4
Voltaje Nominal Operativo	30VCA, 30VCC
Consumo de Corriente del bus	120mA a 5VCC 60mA a 24VCC

Nota. Fuente: Publicación 1769-IN048A-ES-P (2000)
Elaborado por: Pierina Arroyo

Módulo de entradas análogas del PLC



Figura 13. Módulo de Entradas Análogas 1769-IF4

Elaborado por: Pierina Arroyo

3.3.4.4 Módulo de entradas y salidas digitales 1769-IQ6XOW4

A continuación se presentan algunas tablas que describen las especificaciones técnicas del módulo de entradas y salidas digitales utilizado en el proyecto:

Tabla 8.

Especificaciones del módulo de entradas digitales

Especificación	1769IQ6XOW4
Entradas	6
Categoría de Voltaje	24VDC
Rango de operación de Voltaje	10.....30VDC 10.....26.4VDC

Nota. Fuente: Publication 1769-TD006E-EN-P (2015)

Elaborado por: Pierina Arroyo

Tabla 9.

Especificaciones del módulo de salidas digitales

Especificación	1769IQ6XOW4
Salidas	4
Categoría de Voltaje	AC/DC Contactos tipo relé NO
Rango de operación de Voltaje	5....265VAC 5.....125VDC

Nota. Fuente: Publicación 1769-TD006E-EN-P (2015)

Elaborado por: Pierina Arroyo

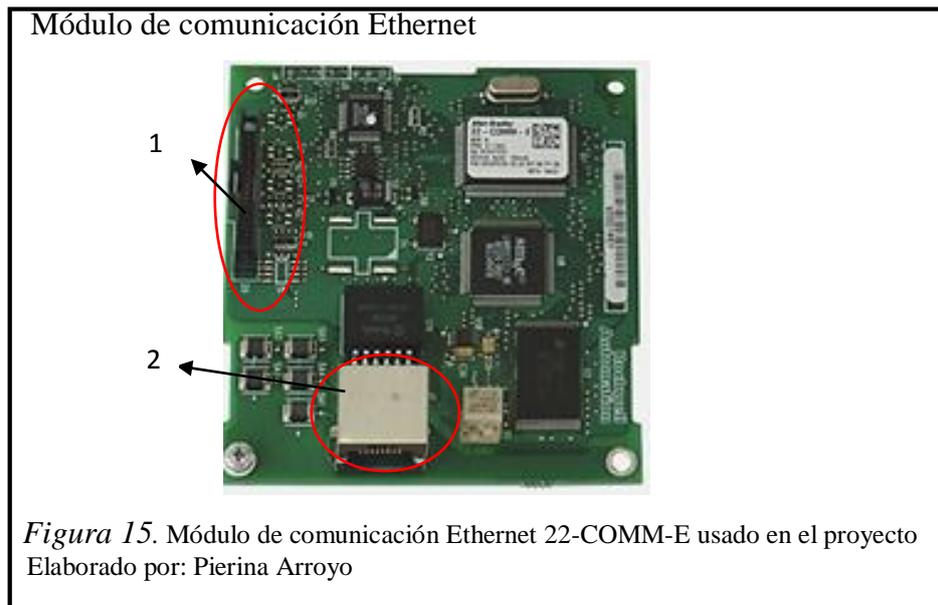
El sistema de control de flujo cuenta con 6 pulsadores, 4 luces y una electroválvula on/off, todas estas son señales digitales que recepta y envía el PLC mediante el módulo de entradas y salidas digitales que se muestra en la Figura 14.



3.3.5 Módulo Ethernet 22-COMM-E

El adaptador EtherNet / IP 22-COMM-E que se muestra en la Figura 15, es una opción de comunicación destinado a ser instalado en un variador PowerFlex 40, pero también se puede utilizar con otros productos de Allen-Bradley mediante un adaptador interno DSI.

1. Conector DSI de 20 pines
2. Conector Ethernet



3.3.6 Módulo 22XCOMMDCBASE

El kit de comunicación 22XCOMMDCBASE que se utilizó en el proyecto es el mostrado en la Figura 16, está diseñado para comunicarse con los siguientes adaptadores de Allen Bradley:

- 22-COMM-C ControlNet
- 22-COMM-L LonWorks
- 22-COMM-D DeviceNet
- 22-COMM-P Profibus
- 22-COMM-E EtherNet/IP
- 22-COMM-B BACnet MS/TP

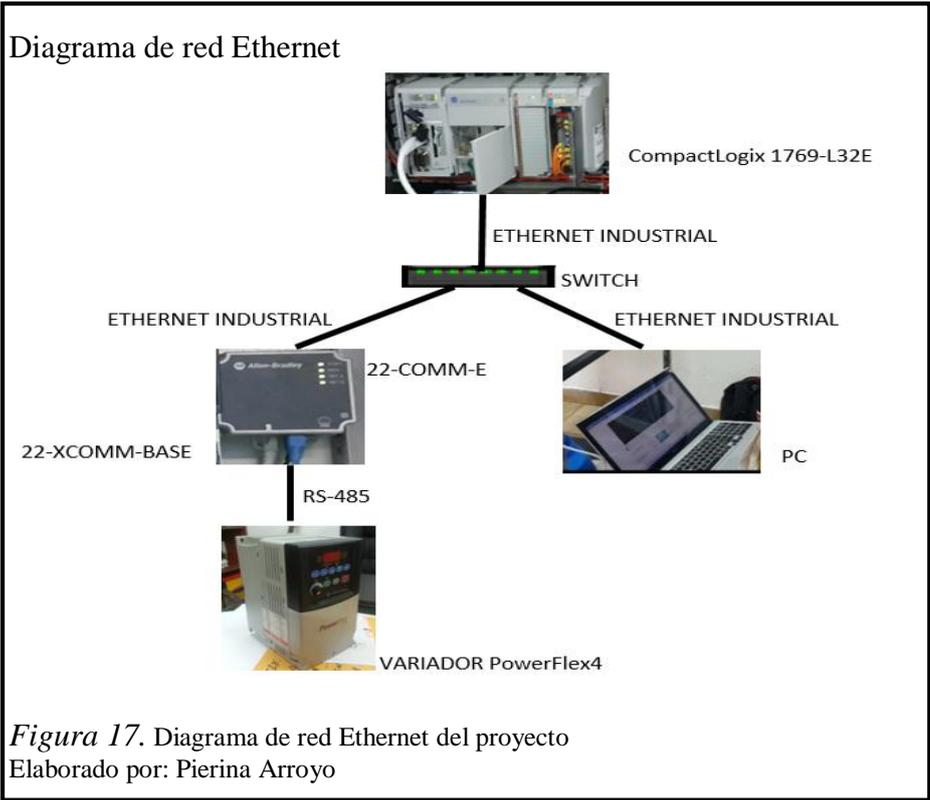
El Kit DSI Comms externo se usa típicamente para proporcionar una conexión de red para PowerFlex 4 y PowerFlex 4M unidades que no pueden acomodar internamente un adaptador.



3.4 Diagramas

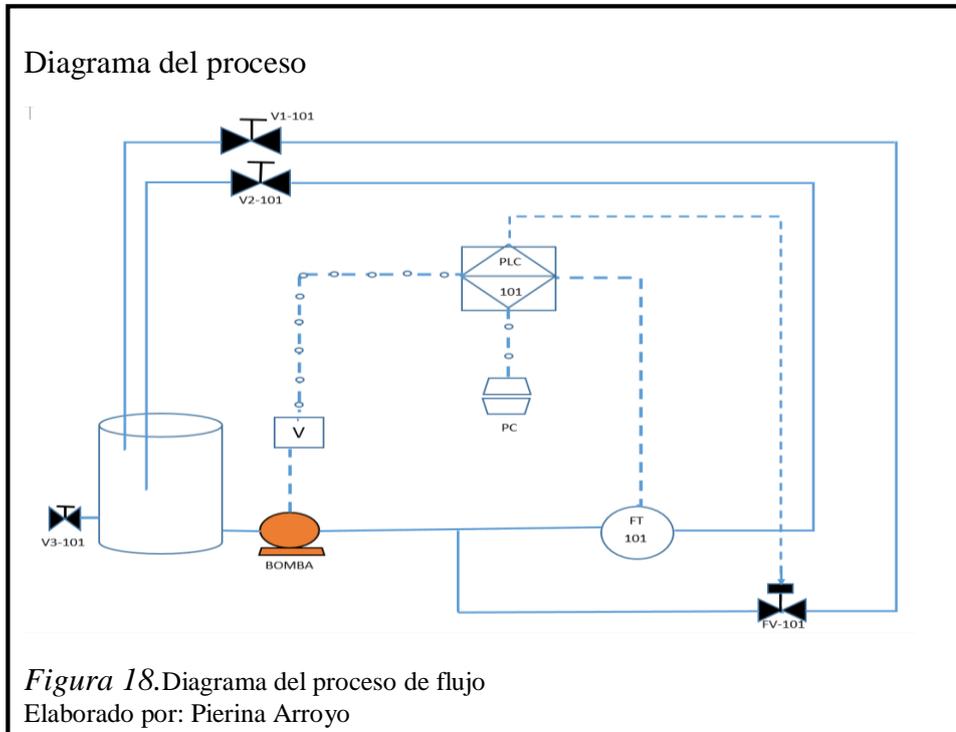
3.4.1 Diagrama de red

A continuación se presenta el diagrama de red del proyecto en la Figura 17:



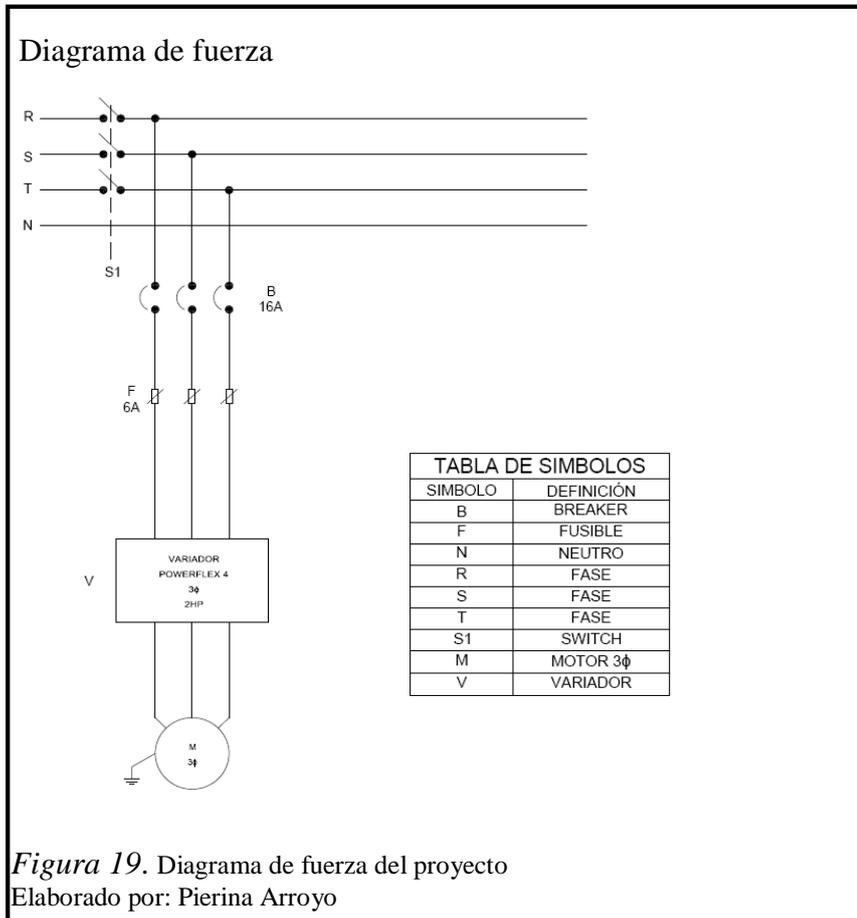
3.4.2 Diagrama del proceso (P&ID)

A continuación se presenta el Diagrama del proceso de control de flujo en la Figura 18:



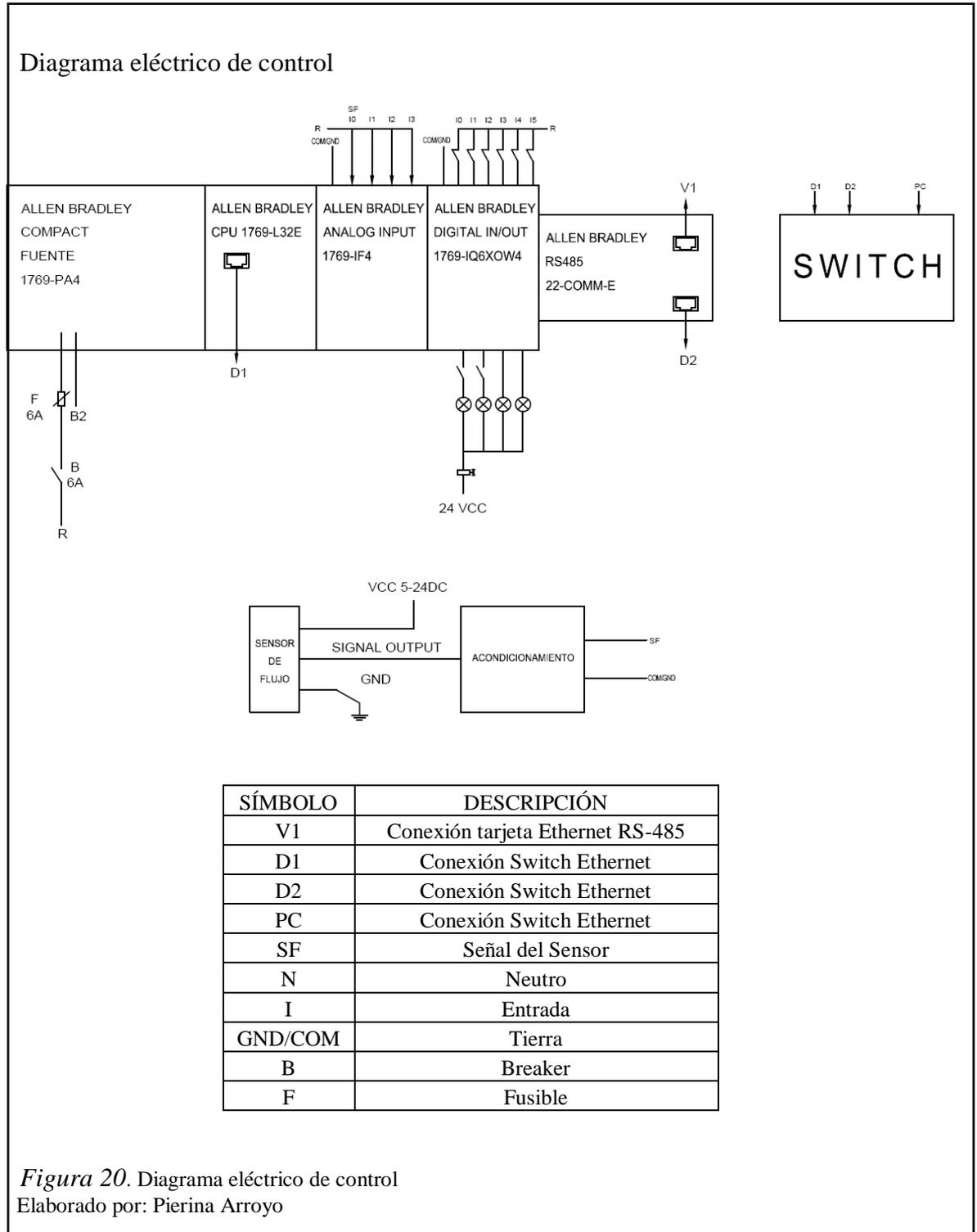
3.4.3 Diagrama de fuerza

A continuación se presenta el Diagrama de fuerza del proyecto en la Figura 19:



3.4.4 Diagrama eléctrico de control

A continuación se presenta el diagrama eléctrico de control del proyecto en la Figura 20:



3.5 Red Ethernet

Se decidió establecer una red Ethernet Industrial para el proyecto debido a que se necesita controlar un variador de frecuencia y no se cuenta con un módulo de salidas análogas para el PLC y por este motivo la solución es controlar al variador mediante la red de comunicación.

La red está conformada por un PLC CompactLogix 1769-L32E, una PC y un variador PowerFlex4.

Para comunicar el variador fue necesario adquirir una tarjeta Ethernet 22-COMM-E de la marca Allen Bradley y un kit de comunicación DSI 22-XCOMM-BASE de la misma marca debido a que el variador no se puede comunicar directamente a la red ya que está provisto de comunicación RS-485 únicamente.

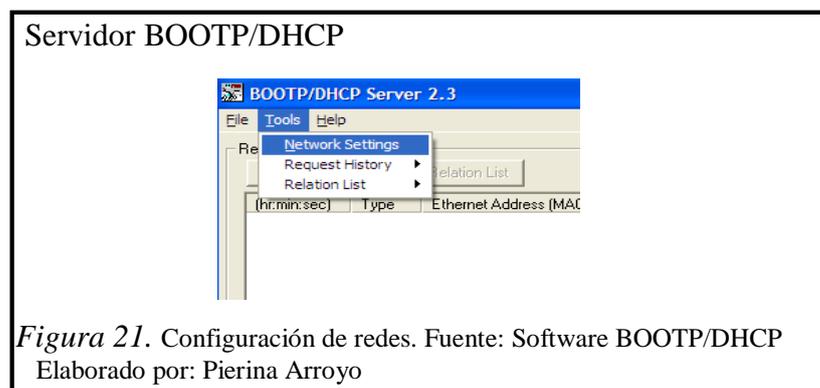
El puerto RS-485 se conecta a través de un cable de red cruzado con conectores RJ-45 con la tarjeta 22-XCOMM-BASE, ésta mediante un bus de datos con conectores DSI se enlaza con la tarjeta 22-COMM-E, la misma que proporciona una salida Ethernet que se comunica con el switch conmutador de red.

Los pasos para configurar la red son:

3.5.1 Asignación de una dirección IP al CPU del PLC

A continuación se presentan los pasos para asignar una dirección IP al CPU del PLC:

- Inicie el software BOOTP.
- Seleccione Tools>Network Settings como se muestra en la Figura 21.



- Introduzca la máscara de Ethernet y Gateway como se observa en la Figura 22.
- Se hace clic en OK.

Máscara de red

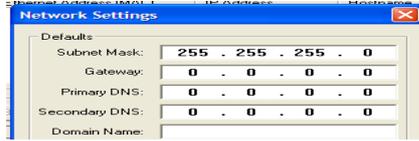


Figura 22. Configuración de red. Fuente: Software BOOTP/DHCP
Elaborado por: Pierina Arroyo

- En el cuadro de diálogo BOOTP Request History, se puede ver las direcciones de hardware de los dispositivos que emiten solicitudes BOOTP.
- Se hace doble clic en la dirección de hardware del dispositivo que desee configurar.
- El cuadro de diálogo New Entry se muestra la dirección Ethernet (MAC) del dispositivo como se observa en la Figura 23.
- Se escribe la dirección IP que desee asignar y que se encuentre en el rango 192.168.0.100 hasta 192.168.0.120
- se hace clic en OK.

Dirección IP

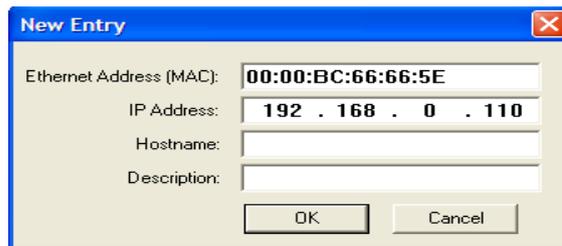


Figura23. New Entry. Fuente: Software BOOTP/DHCP
Elaborado por: Pierina Arroyo

- Para asignar permanentemente esta configuración al dispositivo, se resalta el dispositivo y se hace clic en Disable BOOTP/DHCP como se muestra en la Figura 24.

Disable BOOTP/DHCP



Figura 24. Lista de relación. Fuente: Software BOOTP/DHCP
Elaborado por: Pierina Arroyo

- Cuando se desconecte y se vuelva a conectar la alimentación eléctrica, el dispositivo utiliza la configuración que ha asignado y no emitirá una solicitud BOOTP.

3.5.2 Conexión del adaptador EtherNet/IP al variador

A continuación se presentan los pasos para conectar el adaptador Ethernet/IP al variador:

- Antes de conectar el adaptador 22-COMM-E al variador 22A-B8P0N104, se debe escribir en una ficha nemotécnica la dirección Ethernet (MAC ID) que viene inscrita en la tarjeta ya que se la necesita para futuras configuraciones.
- Se conecta el bus al conector DSI tanto de la tarjeta 22-COMM-E como de la tarjeta 22-XCOMM-BASE.
- Se conecta el puerto RS-485 del variador a la tarjeta 22-XCOMM-BASE y la tarjeta 22-COMM-E al puerto Ethernet del PLC.

3.5.3 Asignación de una dirección IP al variador

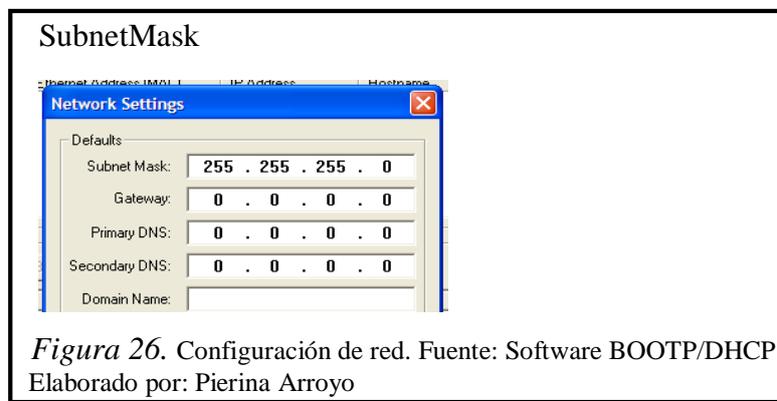
El adaptador de red 22-COMM-E, 22-XCOMM-BASE, variador PowerFlex4 forman un conjunto para la comunicación Ethernet en donde quien lleva la IP es la tarjeta 22-COMM-E, la misma que se asigna mediante el servidor BOOTP/DHCP.

A continuación se presentan los pasos para asignar una dirección IP al Variador:

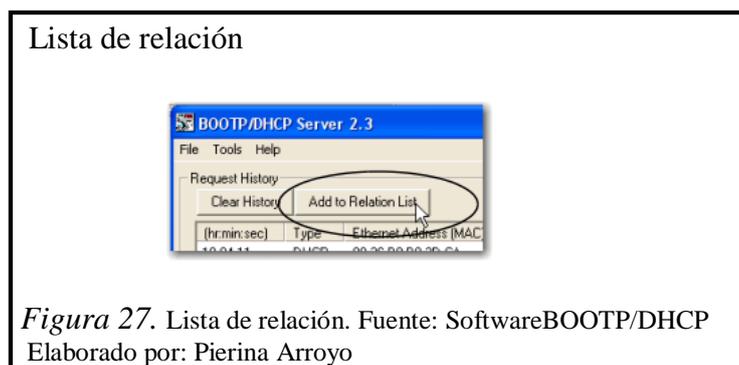
- Se inicia la utilidad BOOTP/DHCP.
- En el menú Tools, se selecciona >>Network Settings como se muestra en la Figura 25.



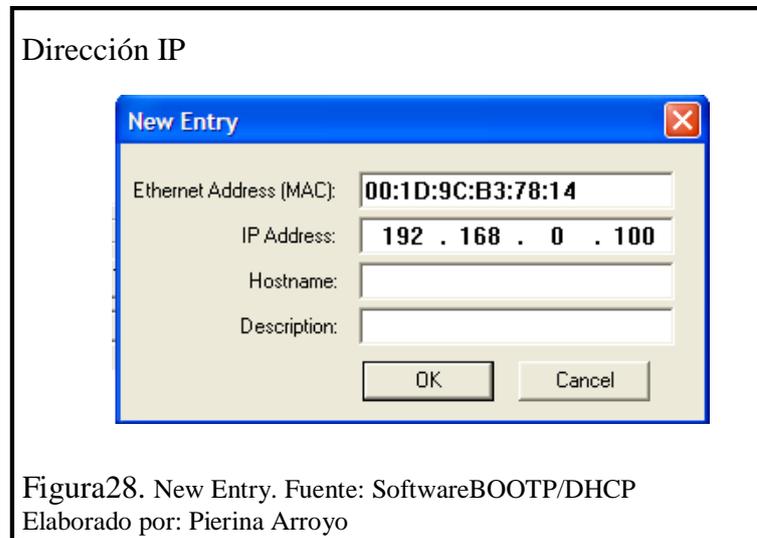
- Se escribe la Subnet Mask de la red como se muestra en la Figura 26.



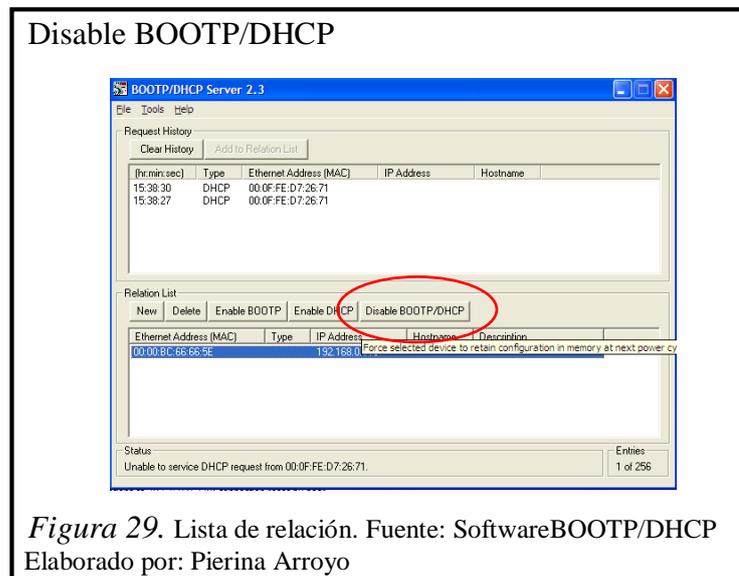
- Los campos Gateway address, Primary and/or Secondary DNS address y Domain Name son opcionales.
- Se hace clic en OK.
- Aparece el panel Request History con las direcciones de hardware de todos los dispositivos que están emitiendo peticiones BOOTP.
- Se selecciona el dispositivo apropiado, es decir el dispositivo con la MAC ID que coincida con su variador PowerFlex 4.
- Se hace clic en Add to Relation List como se muestra en la Figura 27.
- Aparece el cuadro de diálogo New Entry.



- Escriba la dirección IP que desee asignar y que se encuentre en el rango 192.168.0.100 hasta 192.168.0.120, como se muestra en la Figura 28.



- Se hace clic en OK.
- se hace clic en Disable BOOTP/DHCP como se muestra en la Figura 29.

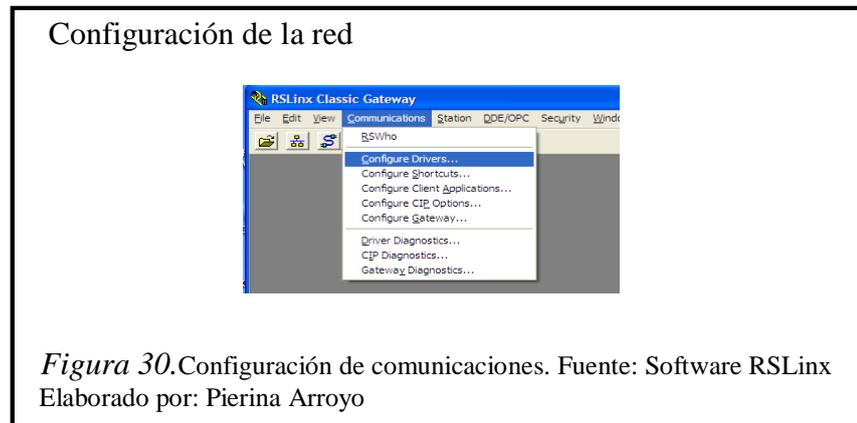


- Cuando se desconecta y se vuelve a conectar la alimentación eléctrica, el adaptador usa la configuración asignada y no emite una petición BOOTP.

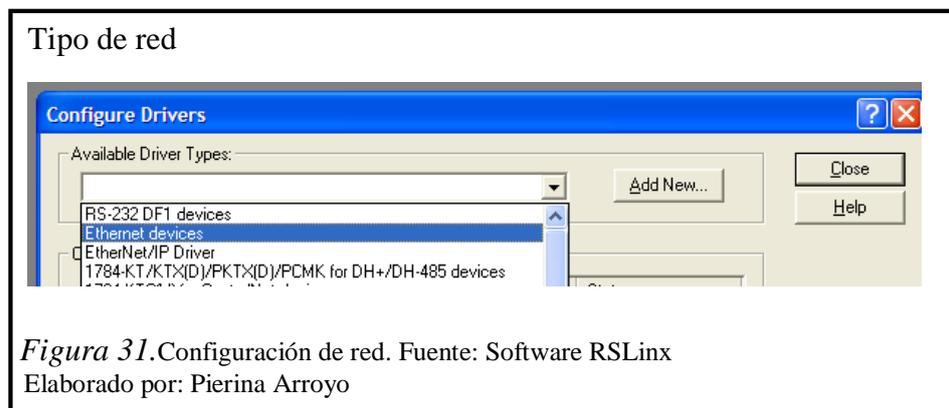
3.5.4 Creación del drive de comunicación

Se debe crear un drive de comunicación en el software RSLinx para administrar la red entre en los dispositivos que forman parte de ella y los softwares RSLogix5000 y Factory Talk View, para esto se deben seguir los siguientes pasos:

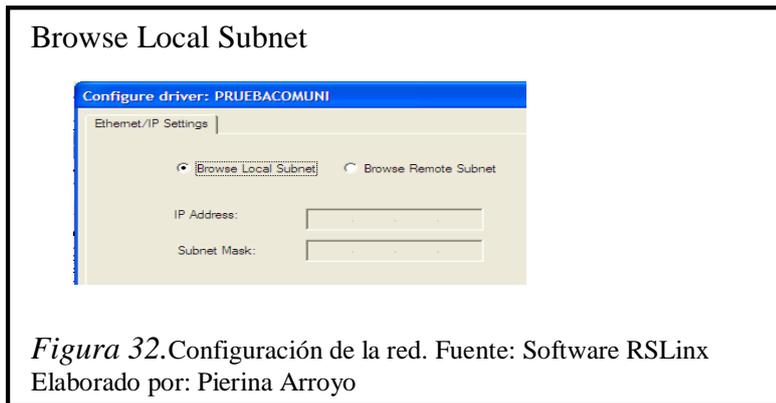
- En el software RSLINX en la pestaña communications se da clic en la opción Configure Drivers como se muestra en la Figura 30.



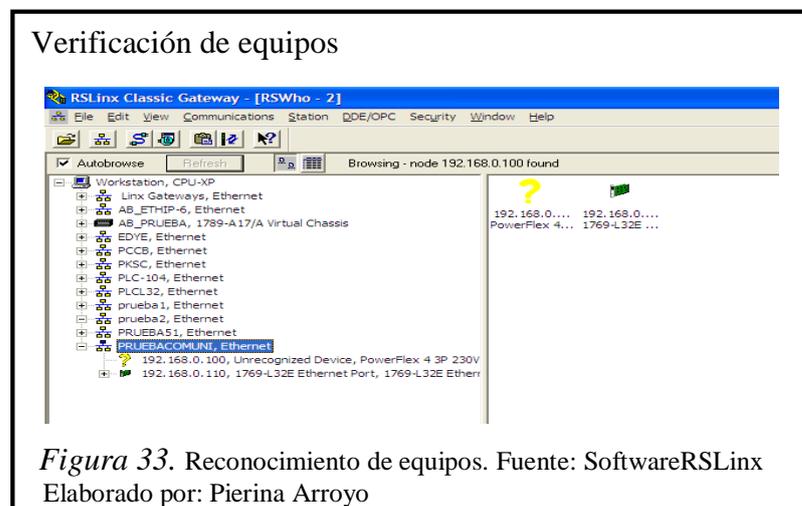
- En la ventana Configure Drivers se elige el tipo de driver que se utilizará en la red, en el caso de este proyecto es Ethernet Devices como se observa en la Figura 31.



- Se hace clic en Add New y se escoge la opción Browse Local Subnet y OK como se muestra en la Figura 32.



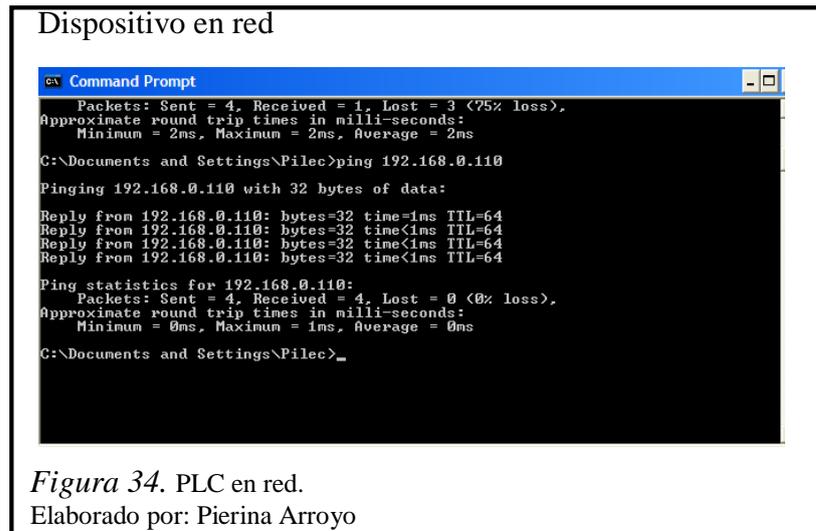
- Se verifica el reconocimiento de los equipos con las direcciones IP asignadas en el explorador del Software RSLinx como se muestra en la Figura 33.



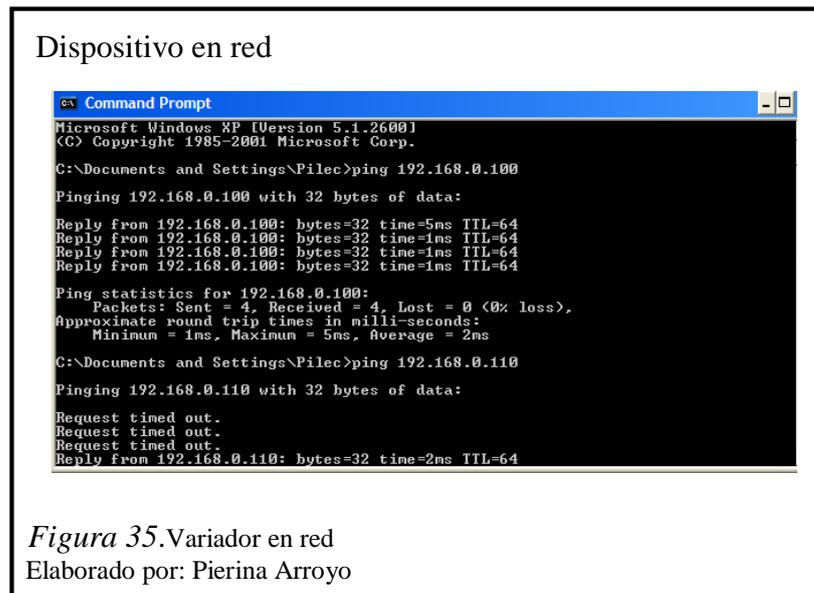
3.5.5 Compruebe la comunicación haciendo ping

Como siguiente paso se comprueba que haya comunicación entre la PC, el variador y el PLC a través de la ventana command prompt haciendo ping a las direcciones IP de los equipos en red como se muestra en la Figura 34 y la Figura 35.

- Comunicación con el PLC



- Comunicación con el variador

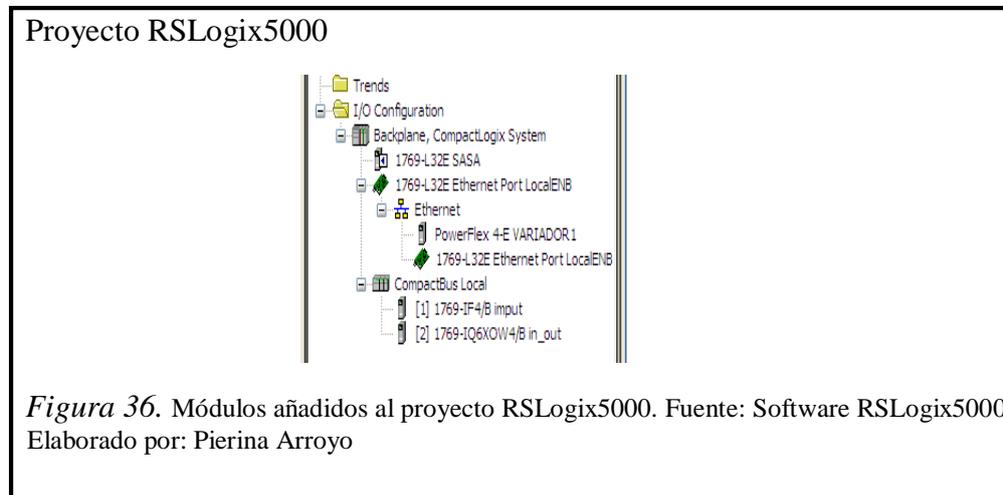


3.5.6 Creación de un nuevo proyecto RSLogix5000

Se debe crear un nuevo proyecto en el software RSLogix5000, aquí se deben añadir los módulos que se van a utilizar tanto en la red como los módulos que forman parte del PLC para utilizarlos en la programación y control de los equipos, en este caso, se agregaron los módulos de entradas y salidas 1769-IF4, 1769IQ6XOW4, el

controlador 1769-L32E y el variador de frecuencia a través de la tarjeta de comunicación Ethernet 22-COMM-E como se puede observar en la Figura 36.

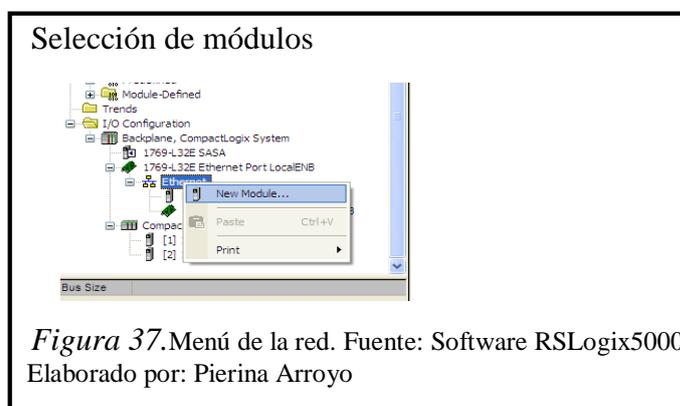
Los pasos que se deben seguir son los detallados a continuación:



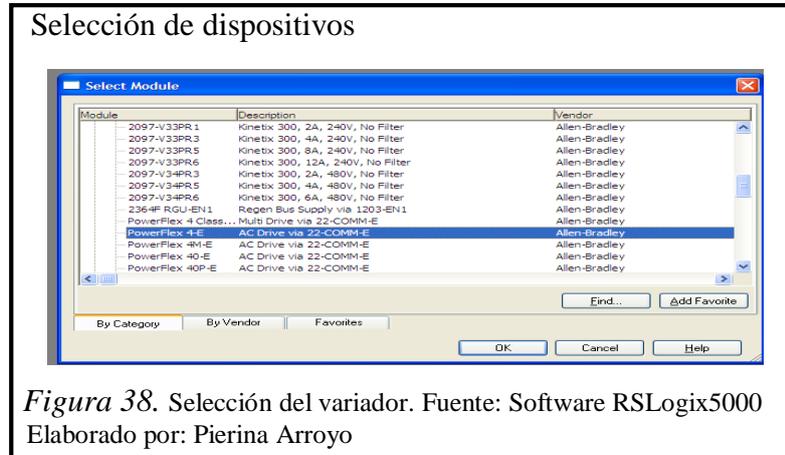
3.5.6.1 Añadir el variador PowerFlex4 a través de la tarjeta 22-COMM-E al proyecto RSLogix 5000

A continuación se detallan los pasos para añadir el variador PowerFlex4 mediante la tarjeta 22-COMM-E al proyecto RSLogix5000:

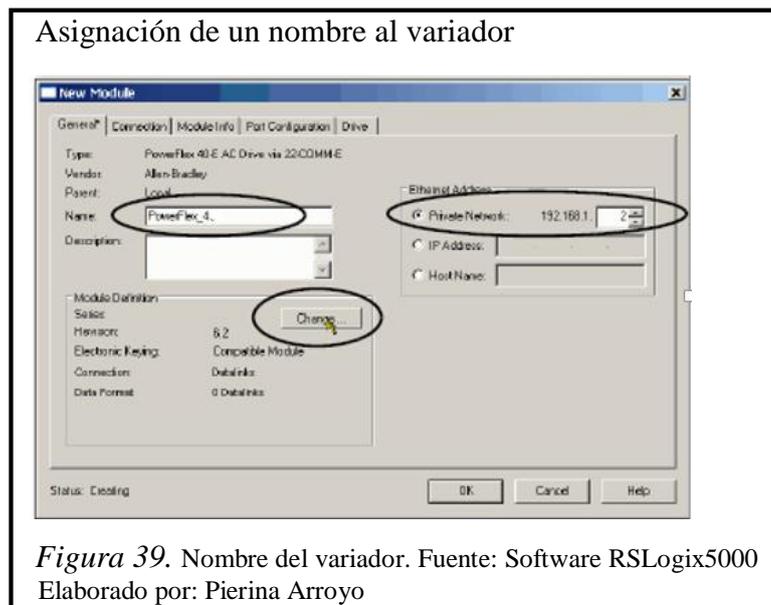
- Se verifica que el proyecto RSLogix 5000 esté fuera de línea y que el interruptor de modo del controlador Logix5000 esté en la posición de programación PROG.
- Se hace clic con el botón derecho del mouse en el puerto de la red y seleccione New Module como se muestra en la Figura 37.



- Se selecciona el variador PowerFlex4-E y se hace clic en OK como se observa en la Figura 38.



- Se asigna un nombre para el variador como se muestra en la Figura 39.



- Se asigna la misma dirección IP que haya asignada anteriormente para el variador en el proyecto.
- Se hace clic en Change.
- En el cuadro de diálogo Module Definition, se inhabilita la codificación y se hace clic en Match Drive como se muestra en la Figura 40.

Configuraciones del dispositivo

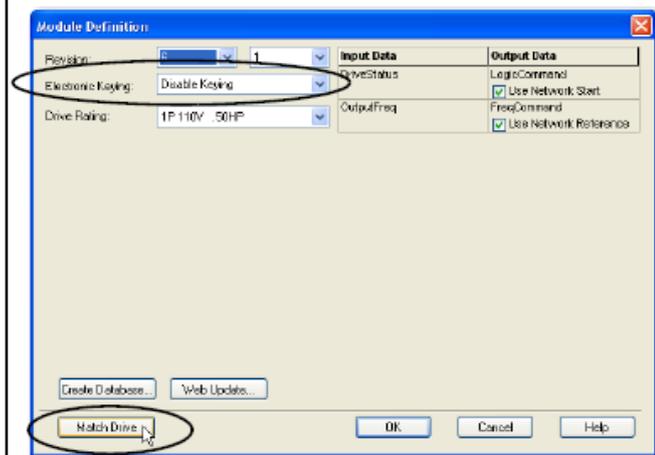


Figura 40. Definición del módulo. Fuente: Software RSLogix5000
Elaborado por: Pierina Arroyo

- En el cuadro de diálogo Full or Partial Match, se hace clic en Partial como se observa en la Figura 41.

Configuración del dispositivo

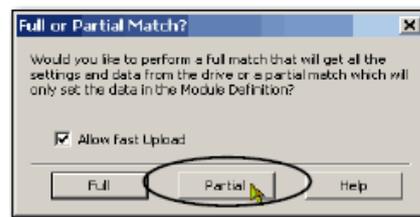


Figura 41. Marca total o parcial. Fuente: Software RSLogix5000
Elaborado por: Pierina Arroyo

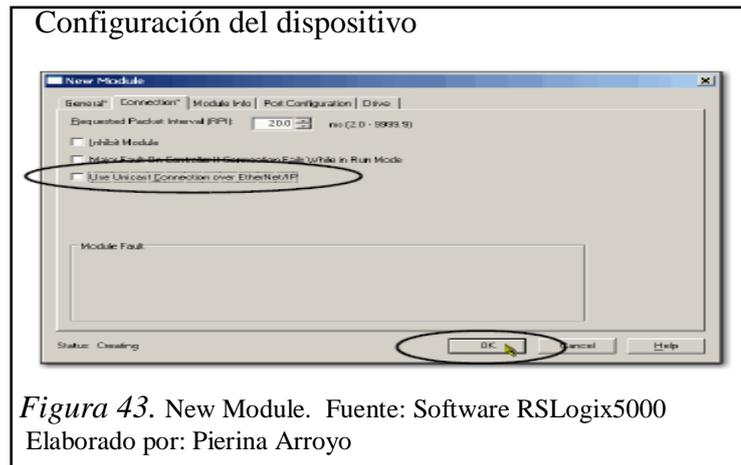
- En el cuadro de diálogo Connect to Drive, se selecciona el variador y se hace clic en OK.
- Se hace clic en OK cuando aparezca el cuadro de diálogo indicando que la coincidencia al variador en línea fue exitosa como se muestra en la Figura 42.

Confirmación del dispositivo en línea

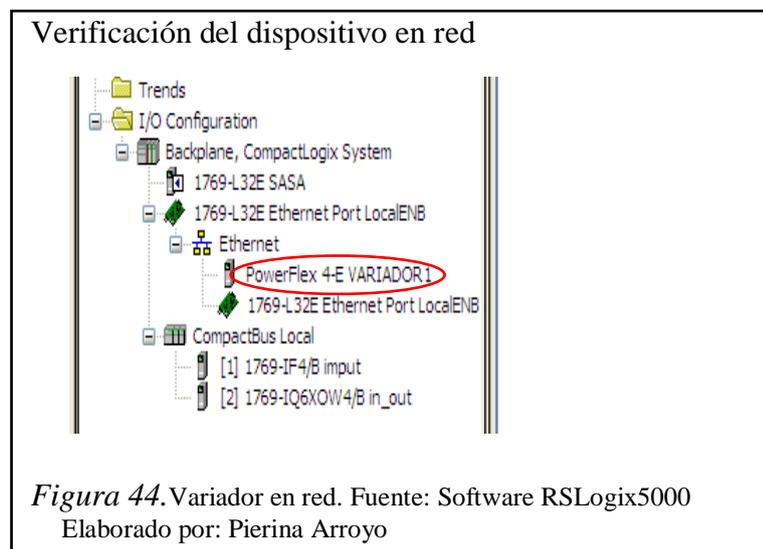


Figura 42. Cuadro de diálogo. Fuente: Software RSLogix5000
Elaborado por: Pierina Arroyo

- Se hace clic en OK en el cuadro de diálogo Module Definition para regresar al cuadro de diálogo New Module.
- Se hace clic en la ficha Connection.
- Se deselecciona Use Unicast Connection over EtherNet/IP y se hace clic en OK como se muestra en la Figura 43.
- Se hace clic en Close, en el cuadro de diálogo Select Module Type.



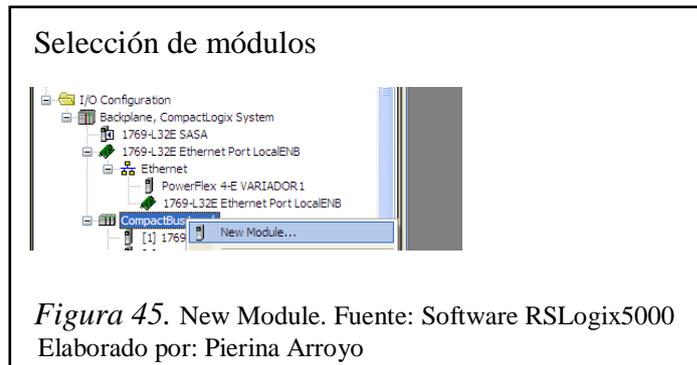
- El variador 22A-B8P0N104 se añade al Controller Organizer como se observa en la Figura 44.



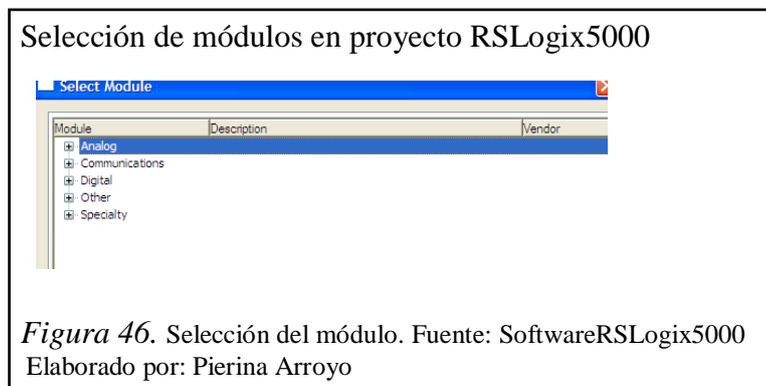
3.5.6.2 Añadir los módulos del PLC

A continuación se presentan los pasos para añadir los módulos del PLC en el Software RSLogix5000:

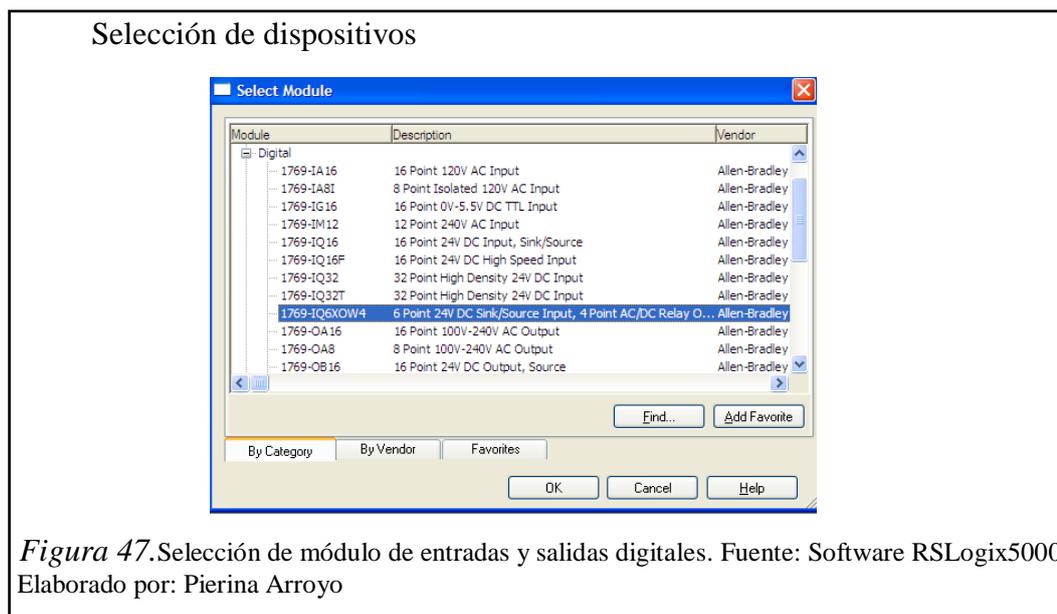
- Se hace clic derecho sobre Compact Bus Local y se da clic en New Module como se muestra en la Figura 45.



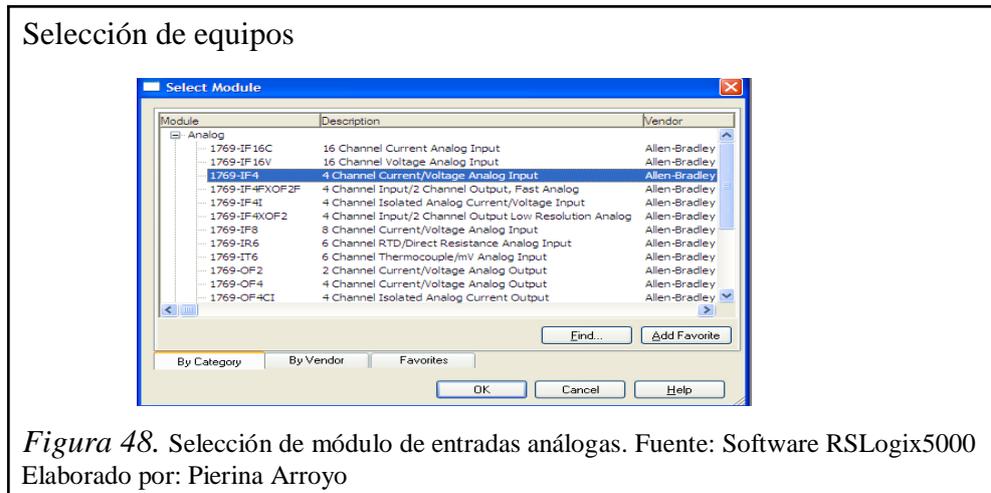
- En la ventana Select Module se escoge los módulos que conforman el PLC físicamente como se observa en la Figura 46.



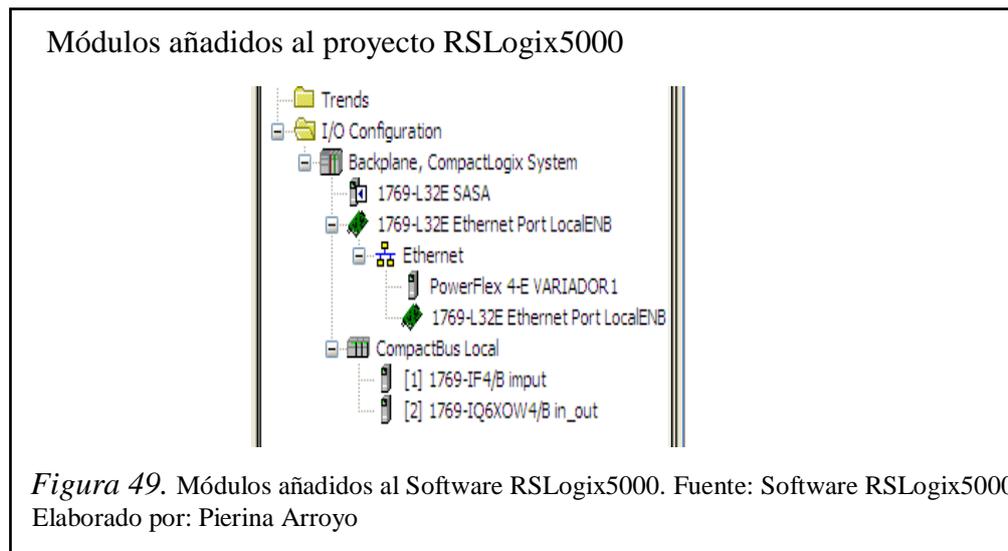
- Se escoge el módulo de entradas y salidas digitales y se selecciona OK, como se muestra en la Figura 47



- Se escoge el módulo de entradas analógicas y se selecciona OK como se muestra en la Figura 48.



- Se verifica que los módulos hayan sido añadidos al proyecto RSLogix5000 como se observa en la Figura 49.



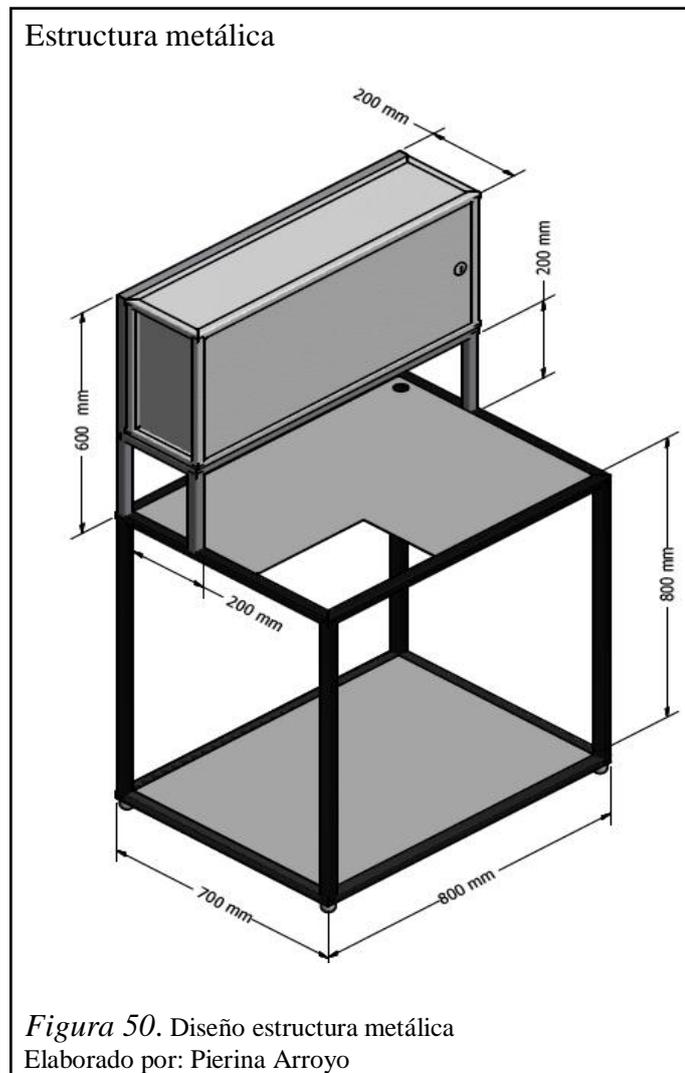
3.6 Procedimiento de construcción del módulo

3.6.1 Estructura del módulo

El módulo cuenta con una estructura metálica. La parte inferior está constituida de dos láminas de hierro de 1.9mm de espesor y tubos cuadrados de 18mm de diámetro del mismo material que conforman un cubo cuyas dimensiones son 800x700x800mm.

La parte superior está constituida de un tablero en donde se ubican los equipos de control, éste tablero es de hierro y sus dimensiones son 400x600x200mm.

El diseño de la estructura del módulo se puede observar en la Figura 50 y la estructura construida en la Figura 51.



Estructura metálica



Figura 51. Estructura metálica construida
Elaborado por: Pierina Arroyo

3.6.2 Diseño de la planta

Se decidió montar el tanque PVC en la parte inferior delantera del cubo de tubos cuadrados y detrás de él la bomba centrífuga para tener mayor espacio para la trayectoria de la tubería debido a que para el cálculo de la potencia de la bomba se dimensionó con una longitud de tubería de mínimo 2m.

Se trazó la trayectoria de la tubería como se muestra en la Fig.52, con tubo que va desde el tanque hacia la bomba y de la bomba hacia la lámina superior del cubo, en donde la trayectoria se divide en dos tuberías paralelas, la primera representa la perturbación del sistema, que fue incluida para verificar que el sistema realmente compensa la PV(Variable del proceso) para llegar al SP(Set Point) ante eventualidades como fugas de agua. Esta línea de perturbación cuenta con una electroválvula ON/OFF controlada por el PLC y una válvula manual para tener porcentajes de apertura y por consiguiente porcentajes de perturbación. En la tubería dos se ubica el sensor de flujo para medir el caudal que genera la bomba y comparar éste valor con el SP, también tiene una válvula manual para tener una obstrucción y poder modificar la planta.

3.6.2.1 Montaje de los equipos en la parte inferior

Según las necesidades del proyecto se diseñó e implementó la trayectoria de la tubería en conjunto con las válvulas, sensores, bomba y tanque PVC como se muestra en la Figura 52 y la Figura 53.

Diseño de Tubería en el Software

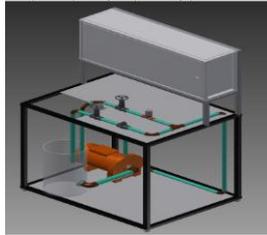


Figura 52. Implementación de tubería diseñada
Elaborado por: Pierina Arroyo

Implementación de tubería en la estructura metálica



Figura 53. Implementación de tubería construida
Elaborado por: Pierina Arroyo

3.6.3 Distribución de los equipos en el área superior

El tablero de control fue proporcionado por la empresa auspiciante, debido a esto se tuvo que asignar los elementos según el espacio disponible para las conexiones de elementos de protección, control y maniobra.

Según los estándares de instalación de tableros de control, las protecciones siempre se deben ubicar en la parte superior del mismo, los equipos de control en el centro y los equipos de maniobra debajo por lo tanto se decidieron ubicar el breaker y los fusibles en la parte superior. El PLC está ubicado debajo de las protecciones y debido a que el variador de frecuencia tiene una dimensión en altura mayor al espacio que hay entre rieles, se decidió ubicarlo a la derecha junto a la tarjeta de comunicación Ethernet, por último se decidió ubicar los elementos de maniobra en la parte superior del tablero por falta de espacio y la distribución quedó de la siguiente manera:

- Parte Superior izquierda: protecciones (breakers, fusibles) y contactores
- Parte inferior izquierda: PLC y acondicionamiento electrónico del sensor
- Parte inferior derecha: Variador de frecuencia y tarjeta Ethernet

Se decidió dividir el exterior del tablero a la mitad y distribuir las luces, pulsadores y paro de emergencia al lado izquierdo y ocupar el espacio del lado derecho para ubicar allí el diagrama del proceso, ya que éste módulo es didáctico y la diagramación ayuda en el proceso de enseñanza.

3.6.3.1 Montaje de los equipos en el área superior

Según las necesidades del proyecto se diseñó e implementó las conexiones de los equipos de protección como breaker, fusibles y de control como el PLC, el variador, tarjeta de comunicación Ethernet 22-COMM-E como se muestra en la Figura 54 y la Figura 55.

Conexiones del tablero



Figura 54. Implementación de conexiones
Elaborado por: Pierina Arroyo

Implementación de conexiones externas del tablero



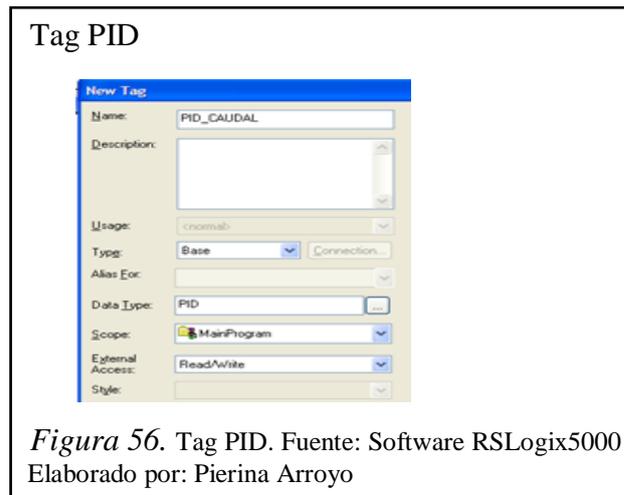
Figura 55. Implementación de conexiones
Elaborado por: Pierina Arroyo

3.7 Programación del módulo

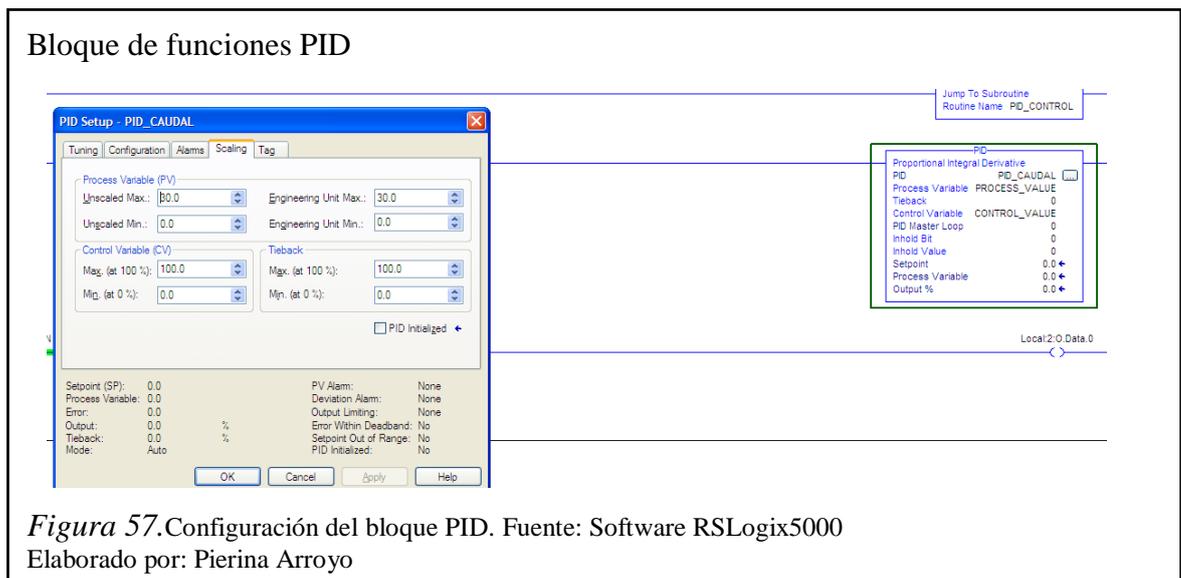
El módulo de entrenamiento fue implementado para capacitar al personal de la empresa PIL Automation en programación del PLC CompactLogix y establecimiento de una red Ethernet, para esto se plantearon varias prácticas de nivel básico, como encendido y apagado de luces, intermedio como la creación de un aplicación HMI para encendido y apagado de la bomba y avanzado como controlar el flujo de agua que circula por la tubería mediante un PID con un HMI para monitorización.

3.7.1 Bloque de función PID

El software RSLogix5000 cuenta con un bloque de función llamado PID como el que se muestra en la Figura 56, para la configuración de este bloque de función se crea un Tag con el nombre que se desee y asocia al bloque de control PID, así se observa que automáticamente se crean todas las variables correspondientes para que el algoritmo PID funcione.



En la ventana de Configuración del PID que se muestra en la Figura 57, en la pestaña escala se colocan los valores máximos y mínimos tanto para las variables del proceso (PV), variables de control (CV), unidades de ingeniería y valor retenido (escalamiento de salida).



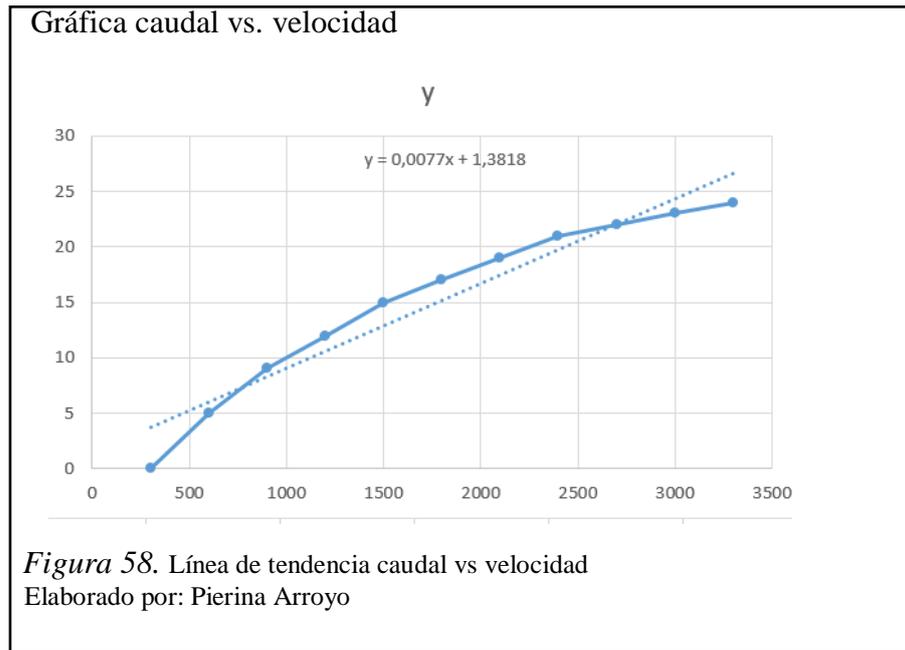
3.7.2 Función de transferencia de la planta

La función de transferencia del sistema fue adquirida de forma experimental y se obtuvieron los datos de la planta que se muestran en la Tabla 10, tanto la velocidad del motor como el caudal que genera y se obtuvo como resultado una gráfica que se asemeja a una parábola de tipo ax^2+bx+c , al obtener la ecuación de la gráfica da como resultado un valor muy pequeño para “a” de 2×10^{-6} , por lo tanto se puede concluir que este valor tiende a cero y puede ser despreciado quedando la expresión únicamente $bx+c$ como se muestra en la Figura 58 y de ésta obtener la Función de Transferencia.

Tabla 10.
Datos experimentales de la planta

X(RPM)	Y(Lt/min)
300	0
600	5
900	9
1200	12
1500	15
1800	17
2100	19
2400	21
2700	22
3000	23
3300	24

Nota.
Elaborado por: Pierina Arroyo



De la planta se puede concluir que el caudal de salida es igual al caudal de entrada que depende de la velocidad del motor, por lo tanto:

$$Q_o = Q_i(x) \quad (3-12)$$

$$Q_o = 0.0077x + 1.3818 \quad (3-13)$$

Se sabe que $\{f\} = \int e^{-sx} f(x) dx$, entonces: (3-14)

$$\frac{Q_o}{Q_i} = \int e^{-sx} f(x) dx \quad (3-15)$$

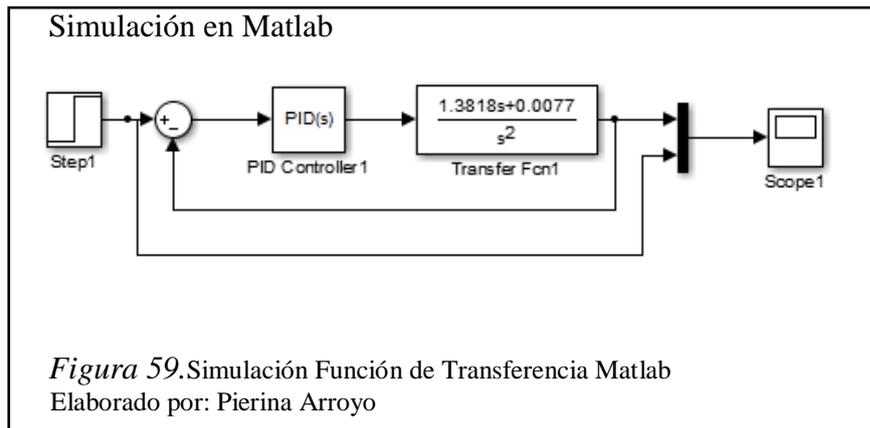
$$\frac{Q_o}{Q_i} = \int e^{-sx} 0.0077x + 1.3818 dx \quad (3-16)$$

Entonces al resolver la integral se obtiene la función de transferencia de la planta:

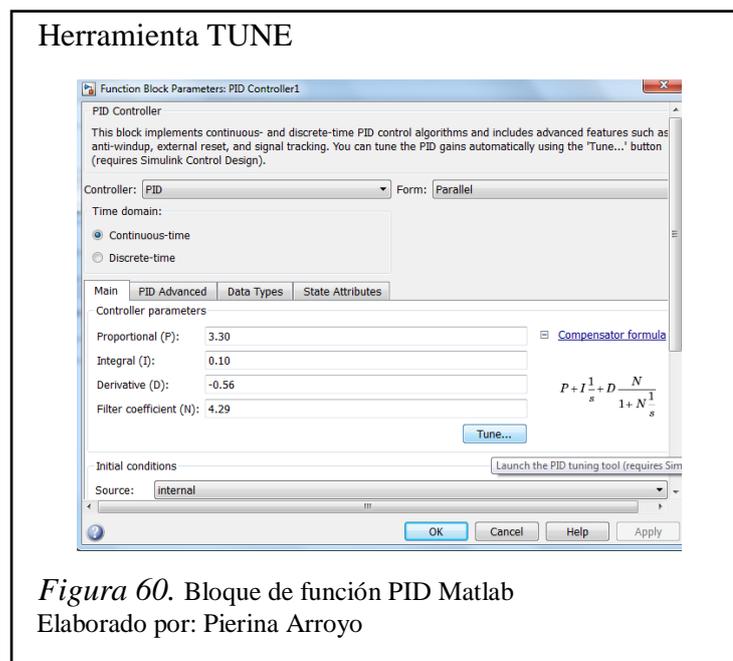
$$\frac{Q_o}{Q_i} = \frac{0.077 + 1.3818s}{s^2} \quad (3-17)$$

3.7.3 Sintonización del PID

La sintonización del controlador PID se efectúa a través de la simulación de la función transferencia de la planta en Simulink como se muestra en la Figura 59.



Se usa la herramienta TUNE que se puede observar en la Figura 60, la misma que automáticamente define los valores de k_p , k_d , k_i que más se ajustan a la sintonización.



Para el sistema conviene que el sobreimpulso sea menor al 10% y que el tiempo de establecimiento sea menor o igual a 3s, como se muestra en la Figura 61, este criterio hace referencia al análisis de respuesta transitoria. (Ogata, 1998, pág.155).

Configuración de la herramienta Tune en Matlab

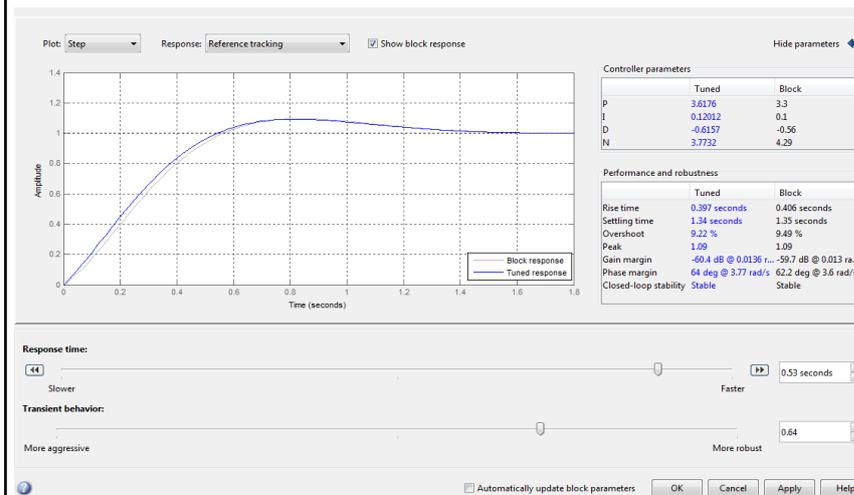


Figura 61. Valores de sobreimpulso y tiempo de establecimiento
Elaborado por: Pierina Arroyo

Se hace clic en aplicar y ok, de inmediato se obtiene los valores de sintonización del PID como se muestra en la Figura 62.

Valores de sintonización

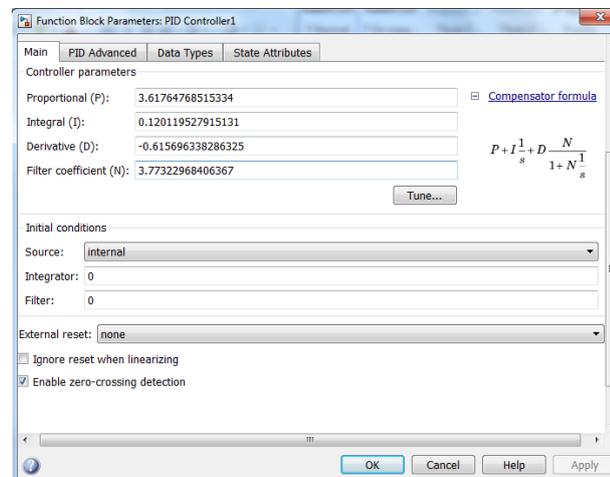


Figura 62. Valores de sintonización del PID
Elaborado por: Pierina Arroyo

Los valores que se obtuvieron de MatLab son referenciales, al aplicarlos en la planta se determinó que faltaba ajustarlos un poco más, en el caso de k_p el valor referencial fue de 3.6 pero el definitivo fue 3.5 ya que con este valor el sobreimpulso fue menor y la PV se ajustaba mucho mejor al SP, el valor de k_i referencial fue de 0.120 y el definitivo fue el mismo debido a que con este valor se obtuvo el menor tiempo de

estabilización posible en la planta, es decir 4s y el valor de kd referencial fue -0.61 pero el definitivo fue de 0.0001 debido a que éste valor tiende a cero.

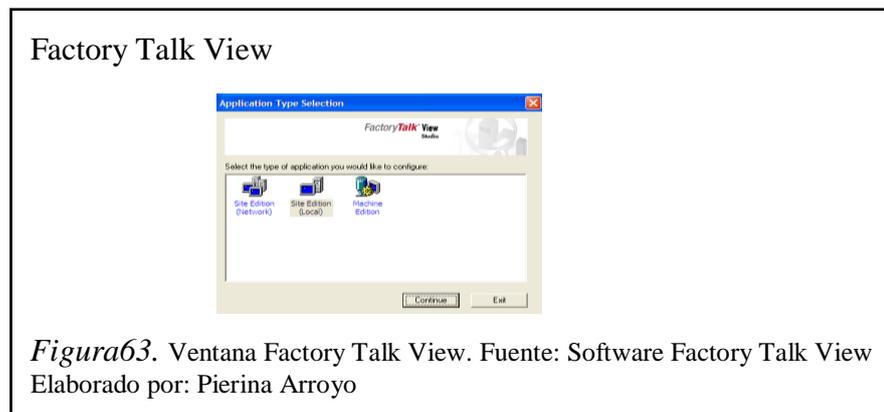
3.8 Diseño de un HMI

Para el diseño de un HMI en el software Factory Talk View se debe tener muy claro el funcionamiento de cada tag en el software RSLogix5000 debido a que desde la aplicación creada como HMI se realizará un llamado a cada uno de ellos según la necesidad del diseño a través del servidor de red que brinda el software RSLinx.

3.8.1 Creación de una nueva aplicación y establecimiento de la red con el PLC

A continuación se presentan los pasos para la creación de una aplicación y establecimiento de la red con el PLC:

- Se hace doble clic en el ícono del programa Factory Talk View (Site Edition)
- Se da clic en continuar como se muestra en la Figura 63.



- Se crea una nueva aplicación Factory Talk View
- En application name se escribe el nombre del proyecto y clic en créate como se muestra en la Figura 64.

Nombre del proyecto



Figura 64. Nombre de la aplicación. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

- Para la ejecución de este proyecto se deshabilita todos los displays para crear nuevos y se da clic en OK como se muestra en la Figura 65.

Configuración del nuevo proyecto

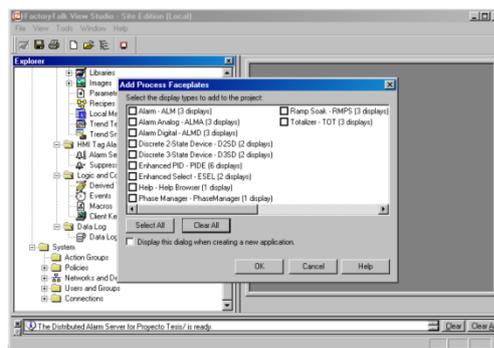


Figura 65. Displays. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

- En el explorador se encuentra una gama de herramientas para hacer el HMI como se muestra en la Figura 66.

Explorador del Software Factory Talk View

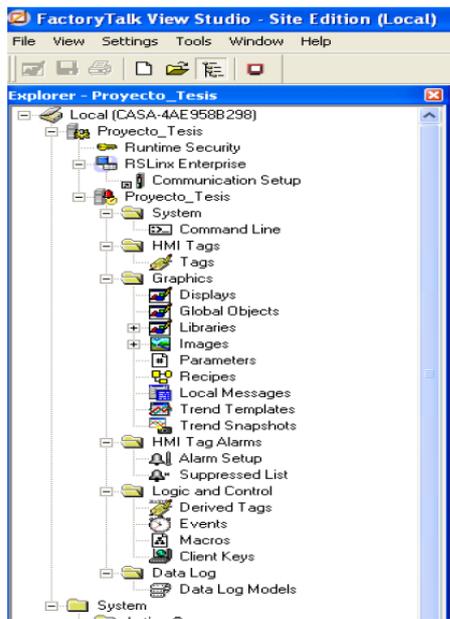


Figura 66. Menú de herramientas. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

- Se da clic derecho en el nuevo proyecto Add New Server>>Rockwell Automation como se muestra en la Figura 67.

Gestión de red

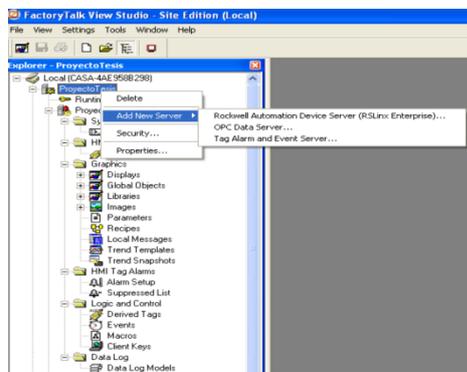


Figura 67. Nuevo servidor Rockwell. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

- En la pantalla RSLinx Server Properties clic en Aceptar como se muestra en la Figura 68.

Servidor de red

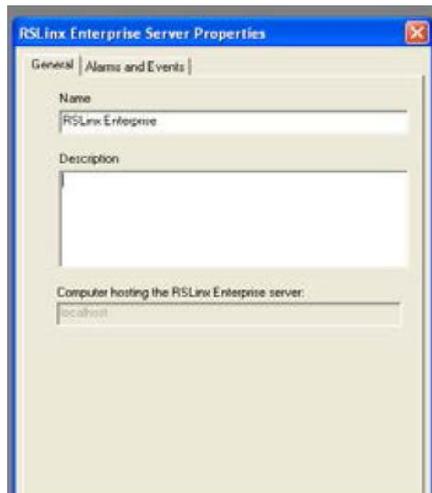


Figura 68. Ventana RSLinx Enterprise. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

3.8.2 Creación de HMI Tags

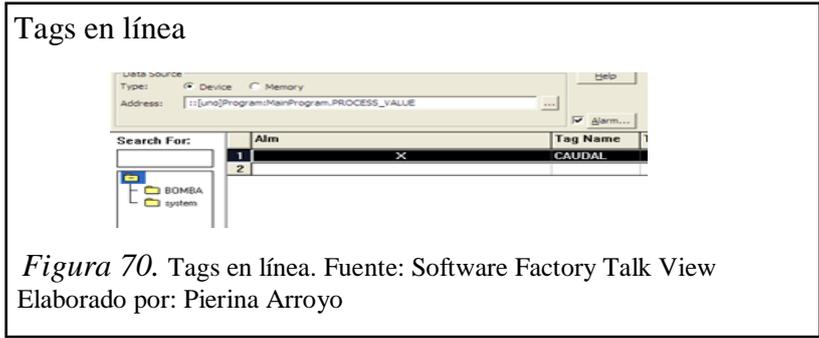
A continuación se presentan los pasos para la creación de tags:

Tags en línea



Figura 69. HMI Tags. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

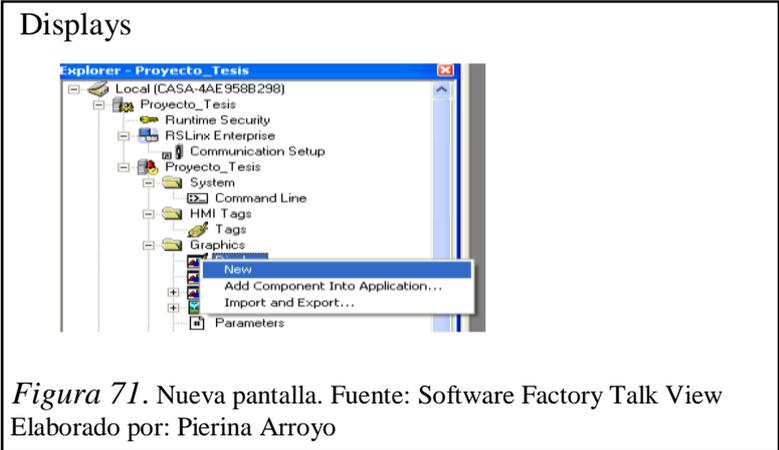
- Se hace doble clic en la opción HMI Tags
- Se hace clic en Tags>>Open como se puede observar en la Figura 69.
- Se agrega una carpeta denominada Bomba a la base de datos tags como se muestra en la Figura 70.



3.8.3 Creación de pantalla con objeto vinculado a tag del controlador

Una vez configuradas todas las comunicaciones se puede crear un objeto en la pantalla y buscar tags en el HMI, por tanto se siguen los siguientes pasos:

- Crear una nueva pantalla como se muestra en la Figura 71.



- Seleccione circle de la barra de objetos
- Se dibuja un circulo>>clic derecho>>Animation>>color>>asignar un tag como se muestra en la Figura 72 y la Figura 73.

Configuración de animaciones



Figura 72. Animation. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

Configuración de animaciones

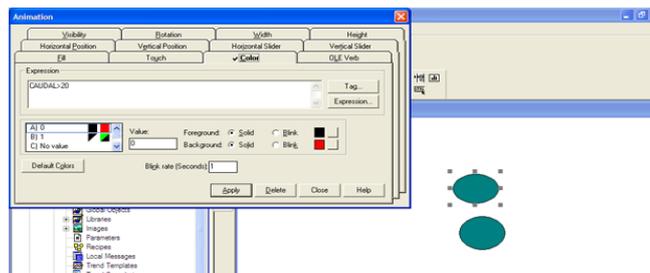


Figura 73. Objeto en la pantalla. Fuente: Software Factory Talk View
Elaborado por: Pierina Arroyo

CAPITULO 4

4. MANUAL TÉCNICO DE PRÁCTICAS

4.1 Generalidades

En este capítulo se pretende dar una guía para la capacitación del personal de la empresa mediante un manual técnico en el que se proponen seis prácticas, iniciando con nivel básico, luego aumentando a intermedio y por último nivel avanzado, también se detalla el desarrollo de cada uno de ellas, incluido los pasos previos para su ejecución.

4.2 Práctica 1

Tema: Caracterización del módulo de control de flujo

4.2.1 Descripción:

En la práctica uno se pretende familiarizar al operador con el módulo de control de flujo ya que mediante ella se realiza un análisis de las características técnicas de cada dispositivo que lo constituye.

4.2.2 Objetivos:

- Identificar los componentes del módulo de control de flujo a través de la investigación de sus características técnicas para familiarizarse y manipularlos.
- Ubicar cada elemento del módulo de acuerdo a su funcionalidad en base de tablas y diagramas para comprender la forma de operación del módulo.

4.3 Práctica 2

Tema: Introducción a RSLogix5000

4.3.1 Descripción:

En la práctica dos se pretende dar una introducción al operador en el uso del Software RSLogix5000 para familiarizarse con el mismo, conocer sus herramientas y formas de trabajo.

4.3.2 Objetivos:

- Proponer ejercicios a realizarse con software RSLogix5000 para familiarizarse con el mismo.
- Verificar que al descargar el programa en el PLC el módulo obedezca al controlador a través de pruebas y así comprobar que las conexiones eléctricas están funcionando correctamente.

4.4 Práctica 3

Tema: Enlace (red Ethernet)

4.4.1 Descripción:

En la práctica tres se desarrolla el procedimiento que se debe realizar para establecer la Red Ethernet entre los dispositivos del Módulo de entrenamiento y su comprobación mediante comandos de consola.

4.4.2 Objetivos:

- Establecer una red Ethernet entre el PLC, PC y Variador para enviar y recibir datos entre los tres dispositivos.
- Comprobar la comunicación entre los equipos que conforman la red Ethernet a través de la consola CMD.

4.5 Práctica 4

Tema: Introducción a Factory Talk View

4.5.1 Descripción:

En la práctica cuatro se permite al operador familiarizarse con el software Factory Talk View mediante el desarrollo de las configuraciones para establecer la comunicación entre el HMI y el Módulo de entrenamiento.

4.5.2 Objetivos:

- Realizar el diseño de un HMI en el software Factory Talk View y programar en el RSLogix5000 un sistema ON/OFF de luces para monitorearlas.
- Determinar las configuraciones que se deben realizar en el software RSLinx y Factory Talk View a través de la lectura de tutoriales Allen Bradley para establecer la comunicación entre el HMI y el PLC.

4.6 Práctica 5

Tema: Diseño de un HMI para prueba de señales de un sensor y un variador

4.6.1 Descripción:

En la práctica cinco se diseña una aplicación HMI para monitorizar las señales del sensor y el variador del módulo de entrenamiento.

4.6.2 Objetivos:

- Determinar las configuraciones que se deben realizar en el software RSLinx y Factory Talk View a través de la lectura de tutoriales Allen Bradley para comunicar el HMI con el PLC.
- Diseñar un HMI en el software Factory Talk View para probar las señales de los actuadores y sensores del módulo de control de flujo.

4.7 Práctica 6

Tema: Diseño de un sistema PID de control de flujo de agua con un HMI para monitorización

4.7.1 Descripción:

En la práctica seis se desarrolla un controlador PID para control de flujo de agua con un PLC CompactLogix y comunicación Ethernet/IP entre los dispositivos que lo conforman.

4.7.2 Objetivos:

- Se comprobó que el sistema PID controla la variable Flujo ante eventualidades como fuga de agua, ya que el sistema cuenta con una tubería que representa la perturbación y al ser activada en la planta el PID compensa la variable.
- El sensor de flujo implementado en la planta tiene poca precisión, por lo que al realizar la práctica en ella, se debe trabajar con un rango de 0-20lt/min ya que fuera de este rango el sensor empieza a mandar datos inestables.

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 Generalidades

En este capítulo se pretende comprobar el funcionamiento del módulo de control de flujo, realizando un análisis a las pruebas, ejecutando las prácticas del manual técnico del capítulo cuatro y también se detalla el costo total del módulo incluido el diseño, construcción, montaje de los equipos y la relación Costo/Beneficio del proyecto.

5.2 Comprobación del funcionamiento del módulo de control de flujo

El módulo de control fue sometido a varias pruebas en las instalaciones de la empresa y de la universidad, después de varias correcciones y pulir detalles técnicos se dió paso a su entrega oficial a los auspiciantes, en la actualidad funciona sin inconvenientes y la operatividad del módulo es la esperada, la empresa auspiciante está satisfecha con el trabajo realizado.

5.3 Análisis del sistema de capacitación del módulo

Anteriormente no se podía capacitar al nuevo personal técnico de PIL S.A. antes de enviarlo a campo, por lo que se decidió construir este módulo de entrenamiento, en la actualidad todo el personal que ingrese a la empresa tendrá acceso a capacitación en el módulo.

Según datos de la empresa en 1 año ingresan alrededor de 8 nuevos trabajadores de los cuales era capacitado el 12.5%, se proyecta con la utilización del módulo una capacitación del 100%.

5.4 Análisis de costos

- **Costos directos**

Se derivan de la materia prima y fabricación

Tabla 11.

Costos directos

Material	Cantidad	Precio unitario(\$)	Precio total(\$)
tanque PVC	1	15	15
Bomba trifásica 2HP	1	140	140
Tubería 1/2" CED80PVC	1	4	4
Válvula de bola 1/2"	2	4,5	9
Electroválvula 1/4"	1	30	30
Sensor de caudal	1	80	80
Rollo de cable flexible #16	1	1	40
Breaker	1	10	10
Cajas de fusible 6A	4	8	32
Contactador	3	6	18
Pulsadores	6	4	24
Canaleta ranurada	4	7	28
Luces indicadoras	6	3	18
Riel DIN estándar	2	5	10
Pulsador tipo hongo	1	20	20
Tablero 40X60X20 cm	1	160	160
PLC CompactLogix	1	4000	4000
Tarjeta Ethernet	1	700	700
Variador PowerFlex4	1	350	350
subtotal			5688
IVA 12%			308
Total			5996

Nota.

Elaborado por: Pierina Arroyo

- **Costos indirectos**

Se derivan de la mano de obra, insumos, diseño e ingeniería

Tabla 12.
Costos directos

Operación	Tiempo(h)	Costo(\$)
Estructura metálica	80	400
Pintura	24	80
Plomería	24	60
Transporte	3	75
Diseño e ingeniería	80	1500
Total		2115

Nota.
Elaborado por: Pierina Arroyo

- **Costo total**

Es la suma de los costos directos y los costos indirectos

Tabla 13.
Costo total

Componente	Costo(\$)
Costos directos	5996
Costos indirectos	2115
Total	8111

Nota.
Elaborado por: Pierina Arroyo

- **Flujo de caja**

El flujo de caja representa los ingresos y egresos de dinero que presenta la empresa durante un período determinado de tiempo, como se muestra en la Tabla 14, en este caso es de cinco años, el valor del ingreso anual de 3000\$ se debe a que el valor estimado de un seminario de capacitación del PLC CompactLogix para cinco personas es de 1500\$ y se realizarían dos al año lo que da un total de 3000\$ anuales.

El valor de egresos se debe a costos de transporte, instalación y mantenimiento del módulo de entrenamiento.

Tabla 14.
Flujo de caja

Concepto	Inversión inicial	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión total	8111	5261	2436	-364	-3164	-5964
total ingresos		3000	3000	3000	3000	3000
Total egresos		150	175	200	200	200
Flujo de efectivo neto		2850	2825	2800	2800	2800

Nota.
Elaborado por: Pierina Arroyo

- **Tasa de descuento**

“Tasa de descuento llamada así porque descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente, y a los flujos traídos al tiempo cero se los llama flujos descontados.” (Baca Urbina, 2004, pág. 181).

Para sacar la tasa de descuento se utiliza la siguiente ecuación:

$$Td = I + \frac{(Tp+Ta)}{2} \quad (5-1)$$

$$Td = 3.2 + \frac{(4.53+11.2)}{2} = 11\% \quad (5-2)$$

Dónde:

I: Inflación

Tp: Tasa pasiva

Ta: Tasa activa

Según los datos actualizados al 2014 del instituto de estadísticas y censos señalan que la tasa de inflación es de 3,2%.

De acuerdo al Banco Central del Ecuador la tasa activa y la tasa pasiva al 2014 es de 11,2% y 4,53% respectivamente, obteniéndose una tasa de descuento de 11% anual.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

“Es el valor actual neto, este valor se obtiene de medir los flujos de caja futuros del proyecto que se quiere poner en marcha o en el que se quiere invertir, descontando la inversión inicial que necesitamos.”(Toledo, 2013, pág.5).

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} \quad (5-3)$$

$$VAN = -8111 + \sum_{j=1}^5 \frac{14075}{(1+0.11)^j} = 18524.85\$ \quad (5-4)$$

Dónde:

F_j : Flujo neto de caja en el período j

I_0 : Inversión inicial

i : Tasa de descuento de la inversión

n : Horizonte de evaluación (número de años de la inversión)

- **Tasa Interna de Rendimiento (TIR)**

“La tasa interna de rendimiento o retorno, es la tasa de descuento por el cual el valor presente neto es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial”. (Baca, 2004, pág. 216).

$$0 = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+TIR)^j} = VAN \quad (5-5)$$

$$0 = -8111 + \sum_{j=1}^5 \frac{14075}{(1+0.22)^j} = VAN \quad (5-6)$$

∴ TIR=0.22, entonces 22%

Dónde:

F_j : Flujo neto en el Período j

I_0 : Inversión inicial en el Período 0

n : Horizonte de evaluación

- **Razón Costo-Beneficio**

La razón costo-beneficio es la relación entre los beneficios actualizados respecto a los costos actualizados del proyecto.

$$\text{Costo} - \text{Beneficio} = \frac{\sum \text{flujodecajaactualizados}}{\text{Inversióninicial}} - 1 \quad (5-7)$$

$$\text{Costo} - \text{Beneficio} = \frac{14075}{8111} - 1 = 0.735 \quad (5-8)$$

- **Indicadores del proyecto**

Una vez obtenidos los valores del Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Costo/Beneficio mostrados en la tabla 14, se puede asegurar que el proyecto es rentable y viable ya que el valor de la Tasa Interna de Retorno es superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento que es del 13% anual, el valor del Valor Actual Neto es mayor a 1 lo que garantiza ganancias en el proyecto y de la razón de costo-beneficio se puede concluir que por cada dólar invertido se obtendrá una ganancia de 0.73ctvs.

Tabla 15.
Indicadores del proyecto

VAN	\$ 18.524,85
TIR	22%
C/B	0,73529774

Nota.
Elaborado por: Pierina Arroyo

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó el módulo didáctico de entrenamiento para el control de procesos de flujo en la Industria Petrolera en la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL Automation, este módulo mejoró el método de capacitación del nuevo personal puesto que ahora se lo puede realizar en el taller de la empresa antes de ingresar a campo y de esta manera el trabajador se familiariza rápido con el hardware y software que utiliza para desarrollo la empresa.
- Al realizar un análisis de los indicadores Costo-Beneficio del proyecto se puede asegurar que es viable y rentable ya que se obtuvo un valor de la Tasa Interna de Retorno superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento que es el 11% anual, el valor del Valor Actual Neto es superior a 1, lo que garantiza que habrá ganancias en el proyecto y por último con la razón de costo-beneficio se obtuvo que por cada dólar de inversión hay una ganancia de 0.73ctvs.
- Para la comunicación entre el PLC y el variador se decidió establecer una red Ethernet/IPa través de la tarjeta 22-COMM-E para controlar al variador de frecuencia desde el PLC, ya que no se cuenta con un módulo de salidas analógicas y resulta muy caro comunicarlo de otra manera.
- Al analizar el costo total del módulo se determinó que es muy elevado y no se optimizaron recursos ya que para ésta aplicación era suficiente un PLC MicroLogix, pero como la empresa facilitó el PLC, el software y el variador, los equipos de costos más elevados se optó por construir el módulo con los materiales provistos.
- Para la sintonización del PID se usó la herramienta TUNE de Matlab para obtener los valores de k_p , k_i y k_d , estos resultados fueron tomados como referencia ya que con las pruebas de ensayo y error se afinó la sintonización y se obtuvo los valores definitivos.

- Para establecer el enlace entre la aplicación HMI y el módulo de entrenamiento se debe añadir el servidor RSLinx enterprises en el software Factory Talk View previamente al diseño de la aplicación ya que si se omite este paso, los tags nunca se encontrarán a disposición de las animaciones y por ende la aplicación no funcionaría.
- Para efectuar el reconocimiento de los módulos del PLC en el software RSLogix5000, se debe especificar correctamente el número de slot en el que se encuentra debido a que si éste es incorrecto el software no asigna los tags correspondientes al módulo.
- Existen muchos parámetros de configuración para el variador PowerFlex4, pero para el proyecto sólo fueron necesarios cuatro, P031, P032 Y P033 para ingresar los datos de voltaje, corriente y frecuencia del motor y P038 para definir que el tipo de comunicación que se utilizará es el “Puerto Com”.
- Se decidió usar una bomba centrífuga debido a que este tipo de bomba evita en menor proporción la pérdida de fluido debido a la forma cóncava de sus aspas, las mismas que a través del rodete permiten el paso del fluido hacia la tubería.

RECOMENDACIONES

- Para evitar errores en las prácticas por manipulación de los equipos se debe realizar un estudio del uso de todos los elementos que conforman la red.
- Para tener un óptimo uso del módulo de entrenamiento se recomienda seguir las instrucciones del manual técnico de prácticas del anexo B.
- Verificar que el software y hardware utilizados en el proyecto sean compatibles en sus versiones para evitar problemas de comunicación entre los mismos.
- Verificar que las conexiones eléctricas del PLC, variador, tarjeta Ethernet, etc. sean correctas para evitar daños a los equipos.
- Antes de poner el módulo en funcionamiento se debe verificar que el tanque se encuentre lleno.
- Verificar que las configuraciones de los módulos de datos de entradas y salidas en el software RSLogix5000 sean las correctas ya que de haber algún error los módulos pueden dañarse.
- Se debe hacer mantenimiento al módulo periódicamente, se recomienda que sea cada 6 meses, antes de dictar cada seminario de capacitación.
- No se debe usar los valores de sintonización que vienen por default en el bloque de funciones PID del software RSLogix5000.
- Al realizar las prácticas del manual técnico, se recomienda verificar que el CPU del PLC se encuentre en PROG para cargar el programa y en RUN para ejecutarlo.

LISTA DE REFERENCIAS

Ogata, (2010). *Ingeniería de Control Moderno*. España, Madrid, Pearson.

Mott, (1996). *Mecánica de Fluidos*. México, Pearson.

Virginia Mazzone (2002) *Controladores PID*, Recuperado el 26 de Febrero de 2015, de: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>

García, A. (2008). *Sistemas de automatización, mando y control de máquinas*. Ingeniería Industrial. Recuperado el 18 de Noviembre de 2014 de <http://es.scribd.com/doc/201623852/Sistemas-de-Automatizacion-Mando-y-Control>

Baca Urbina, G. (2004). *Evaluación de Proyectos*. Recuperado el 17 de Febrero de 2015, de: <http://www.eumed.net/jirr/pdf/19.pdf>

Bolton, W. (2008). *Mecatrónica sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. México d.f: alfaomega.

Publicación Allen Bradley IASIMP-QS029A-ES-P (2012), *Sistemas de control Logix5000: Conexión de variadores PowerFlex 40 mediante una red EtherNet/IP*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2014 de, <http://literature.rockwellautomation.com>

Publicación Allen Bradley 22A-QS001H-ES-P (2009), *Variadores de CA PowerFlex4*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2014 de, <http://ab.rockwellautomation.com>

Publicación Allen Bradley 1769-UM011I-ES-P (2013), *Manual del usuario de los controladores CompactLogix 1769*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014 de, <http://literature.rockwellautomation.com>

Publicación Allen Bradley 1769-IN028B-ES-P (2008), *Fuentes de alimentación de expansión Compact I/O*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014 de, <http://literature.rockwellautomation.com>

Publicación Allen Bradley 1769-IN048A-ES-P (2000), *Módulo de entrada analógica Compact™ 1769-IF4 (Serie B o posterior)* Recuperado el 15 de Diciembre de 2014 de, [http : //literature.rockwellautomation.com](http://literature.rockwellautomation.com)

Publication Allen Bradley 1769-TD006E-EN-P (2015), *1769 Compact I/O Modules Specifications* Recuperado el 29 de Enero de 2015 de, <http://literature.rockwellautomation.com>

ANEXOS

Anexo 1

Datos técnicos de los equipos.

Todas las imágenes del Anexo 1 fueron tomadas de los manuales de Allen Bradley citados en las referencias bibliográficas

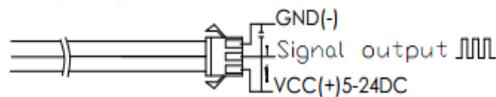
- **Sensor de caudal**

1.Modle:YF-21

2.Product Name:Hall sensor

3.Flow Range: 1-30L/MIN

4.(1)Connection Method



(2)Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: $F=7Q(L/MIN)$

(3)Extent of error: $\pm 5\%$.

(4)Flow-Pulse

2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ

8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

- **Características técnicas del controlador 1769-L32E**

Controlador	Memoria disponible	Opciones de comunicación	Número de tareas admitidas	Número de módulos de E/S locales admitidos
1769-L35CR	1.5 MB	1 puerto ControlNet - admite medios redundantes 1 puerto serial RS-232 (protocolos de sistema o del usuario)	8	30
1769-L35E		1 puerto EtherNet/IP 1 puerto serial RS-232 (protocolos de sistema o del usuario)		
1769-L32C	750 KB	1 puerto ControlNet 1 puerto serial RS-232 (protocolos de sistema o del usuario)	6	16
1769-L32E		1 puerto EtherNet/IP 1 puerto serial RS-232 (protocolos de sistema o del usuario)		
1769-L31	512 KB	1 puerto serial RS-232 (protocolos de sistema o del usuario) 1 puerto serial RS-232 (solo protocolo del sistema)	4	

- Fuente 1769-PA4

Nº de cat.	Descripción	Categoría de voltaje	Rango de voltajes de funcionamiento
1769-PA2	Fuente de alimentación eléctrica de expansión 1769 Compact I/O	120 V/220 VCA	85...265 VCA
1769-PB2		24 VCC	19.2...31.2 VCC
1769-PA4		120 V/220 VCA	85...265 VCA o 170...265 VCA (seleccionable mediante conmutador), 47...63 Hz
1769-PB4		24 VCC	19.2...31.2 VCC
1768-PA3	Fuente de alimentación eléctrica 1768 CompactLogix	120 V/220 VCA	85...265 VCA o 108...132 VCC
1768-PB3		24 VCC	16.8...31.2 VCC

- Módulo de entradas analógicas 1769-IF4

Especificación	1769-IF4 (serie B o posterior)
Rangos de operación analógica normal ⁽¹⁾	Voltaje: ± 10 VCC, de 0 a 10 VCC, de 0 a 5 VCC, de 1 a 5 VCC Corriente: de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA
Escala completa de rangos analógicos ⁽¹⁾	Voltaje: ± 10.5 VCC, de -0.5 a 10.5 VCC, de -0.5 a 5.25 VCC, de 0.5 a 5.25 VCC Corriente: de 0 a 21 mA, de 3.2 a 21 mA
Número de entradas	4 diferenciales o unipolares
Consumo de corriente del bus (máx.)	120 mA a 5 VCC 60 mA a 24 VCC ⁽⁶⁾
Disipación del calor	2.52 watts totales (watts por punto, más los vatios mínimos, con todos los puntos activados)
Tipo de convertidor	Delta Sigma
Velocidad de respuesta por canal	Dependiente del filtro de entrada y de la configuración. Consulte el manual del usuario.
Resolución (máx.) ⁽²⁾	14 bits (unipolar) 14 bits con signo (bipolar)
Voltaje nominal operativo ⁽³⁾	30 VCA/30 VCC
Rango de voltajes en el modo común ⁽⁴⁾	Máximo de ± 10 V por canal
Rechazo del modo común	más de 60 dB a 50 y 60 Hz con los filtros de 50 o 60 Hz seleccionados, respectivamente.
Proporción de rechazo en el modo normal	-50 dB a 50 y 60 Hz con los filtros de 50 o 60 Hz seleccionados, respectivamente.
Impedancia de entrada	Terminal de voltaje: 220 K Ω (típico) Terminal de corriente: 250 Ω
Precisión general ⁽⁵⁾	Terminal de voltaje: $\pm 0.2\%$ de la escala completa a 25 °C Terminal de corriente: $\pm 0.35\%$ de la escala completa a 25 °C

- **Módulo de in/out digital**

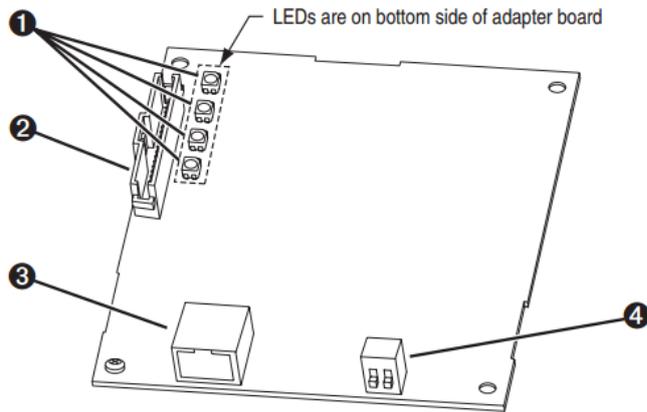
Table 39 - 1769-IQ6X0W4 Input Specifications

Attribute	1769-IQ6X0W4
Inputs	6
Voltage category	24V DC sink/source
Operating voltage range	10...30V DC @ 30 °C (86 °F) 10...26.4V DC @ 60 °C (140 °F)
Delay, on	8 ms
Delay, off	8 ms
Off-state voltage, max	5V DC
Off-state current, max	1.5 mA
On-state voltage, mi	10V DC
On-state current, min	2.0 mA
Inrush current, max	250 mA
Input impedance, nom	3 k Ω
IEC input compatibility	Type 3

Table 40 - 1769-IQ6X0W4 Output Specifications

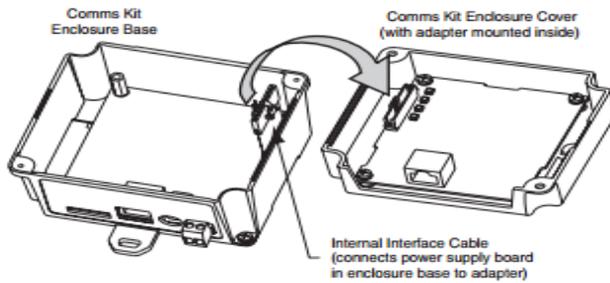
Attribute	1769-IQ6X0W4
Outputs	4
Voltage category	AC/DC normally open relay contacts
Operating voltage range	5...265V AC 5...125V DC
Delay, on	10 ms
Delay, off	10 ms
Off-state leakage, max	0 mA
On-state current, min	10 mA @ 5V DC
Current per point, max	2.5 A
Current per module, max	8 A

- **Módulo de comunicación Ethernet 22-COMM-E**



Item	Part	Description
❶	Status Indicators	Four LEDs that indicate the status of the Ethernet connection, DSI, and the adapter. Refer to Chapter 8, Troubleshooting .
❷	DSI Connector	A 20-pin, single-row shrouded male header. An Internal Interface cable is connected to this connector and a connector on the drive.
❸	Ethernet Connector	An RJ-45 connector for the Ethernet cable. The connector is CAT-5 compliant to ensure reliable data transfer on 100Base-TX Ethernet connections.
❹	Operating Mode Switch and Web Pages Switch	Selects Single or Multi-Drive mode of operation, and enables or disables the adapter web pages. Refer to Chapter 2, Setting Operating Mode and Web Pages Switches .

- **Kit de comunicación 22XCOMMDCBASE**



Anexo 2

Banco de ejercicios propuestos

Práctica 2

- Al presionar P1 se encienden las luces 0, 1, 2, 3 secuencialmente cada 3 segundos, al encenderse la luz 3, espera 3 segundos y se apaga todo el sistema.
- Al presionar P1 se encienden las luces 0 y 2, espera 5 segundos y se apagan, luego se encienden las luces 1 y 3, espera 5 segundos y se apaga todo el sistema.

Práctica 4

- Diseñar una aplicación HMI para el siguiente ejercicio:
Al presionar P1 se encienden las luces 0, 1, 2, 3 secuencialmente cada 3 segundos, al encenderse la luz 3, espera 3 segundos y se apaga todo el sistema.
- Diseñar una aplicación HMI para el siguiente ejercicio:
Al presionar P1 se encienden las luces 0 y 2, espera 5 segundos y se apagan, luego se encienden las luces 1 y 3, espera 5 segundos y se apaga todo el sistema.

Práctica 5

- Diseñar un HMI en el que se pueda visualizar la señal de la bomba en unidades de RPM.
- Diseñar un HMI en el que se pueda visualizar la señal del variador en porcentajes de trabajo.

Anexo 3

Manual técnico de prácticas



PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR

PIL S.A

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

4.1 Práctica 1

Caracterización del módulo de control de flujo

4.1.1 Objetivos

- Identificar los componentes del módulo de control de flujo a través de la investigación de sus características técnicas para familiarizarse y manipularlos.
- Ubicar cada elemento del módulo de acuerdo a su funcionalidad en base de tablas y diagramas para comprender la forma de operación del módulo.

4.1.2 Caracterización del módulo de control de flujo

4.1.2.1 Introducción

Este módulo de control automático de flujo de agua está constituido de tres áreas, equipos de protección, equipos de control y sensores y actuadores.

- Equipos de protección

Un tablero industrial debe contar con todos los dispositivos de protección que se requieran para evitar daños en los equipos de control, sensores, actuadores y así en el momento que se produce una falla (corto circuito, sobrecarga o falla de aislamiento) los fusibles, breaker, etc, actúan de inmediato previniendo problemas más graves.

- Equipos de control

El módulo de control de flujo está manejado por un PLC CompactLogix de tipo modular que está constituido de una fuente, módulo de entrada analógica, módulo de entradas y salidas digitales, un controlador y dos tapas, una a la izquierda y otra a la derecha para cerrar el bus de comunicación entre los módulos, todos son de montaje sobre riel DIN y todo el conjunto se programa a través del software propio de la marca Allen Bradley.

- Sensores y actuadores

Un sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra la variable a la que se sensa. La señal puede representar el valor en tensión, intensidad o frecuencia.

Un actuador, modifica al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc) obedeciendo las órdenes del controlador.

4.1.3 Desarrollo

4.1.3.1 Llene la tabla con los requerimientos solicitados y de un check de revisión al ubicar el equipo en el módulo y en el diagrama.

Sensores y actuadores

Elemento.	Marca	Código	Detalles.	Físico	Diagrama
Sensor de Caudal	Hall sensor	FT-101	Señal de salida: pulso Rango de voltaje: 3.5-24VDC	✓	✓
Electroválvula	CN-YUXI	FV-101	Orificio: 2.5mm Temperatura: -5°C~80°C Diámetro: ¼" Presión: 0-10kg/cm ²	✓	✓
Bomba Hidráulica	VEMA	BOMBA	Hm:45/20 CV:0.75 A:3.5/2 Hz:60 Q:15/42 RPM:3350 V:220/380	✓	✓
VARIADOR	ALLEN BRADLEY	V-101	Voltaje de entrada trifásica: 200-240V CA (+10% / -10%) Voltaje de salida trifásica: 0-230V Corriente: 8A Potencia: 2HP	✓	✓

Elaborado por: Pierina Arroyo

Equipos de control del módulo

Elemento de PLC	Marca	Código.	Detalles.	Físico	Diagrama
CPU	ALLEN BRADLEY	PLC-101- 1	Memoria: 750Kb Puertos: 1 Puerto Ethernet 1 Puerto serial RS-232 Número de módulos admitidos: 16	✓	✓
Entrada Análoga	ALLEN BRADLEY	PLC-101- 2	Voltaje: 0-10Vcc, 1- 10Vcc, 0-5Vcc, 1- 5Vcc. Corriente: 0-20mA, 4-20Ma Número de entradas:4	✓	✓
Entrada/Salida Digitales	ALLEN BRADLEY	PLC-101- 3	Número de entradas: 6 Voltaje de funcionamiento: 10...30VDC Número de salidas:4 Voltaje de funcionamiento: 5...265VAC Voltaje de funcionamiento: 5...125VDC	✓	✓
Fuente	ALLEN BRADLEY	PLC-101- 4	Rango de Voltaje de funcionamiento: 85...265VCA o 170...265VCA	✓	✓

			47...63 HZ		
Tarjeta Ethernet	ALLEN BRADLEY	PLC-101-5	CONECTORES: DSI 20 PINES RJ45	✓	✓
Tarjeta Base	ALLEN BRADLEY	PLC-101-6	Conector: RJ45 Voltaje: 24V DC	✓	✓

Elaborado por: Pierina Arroyo

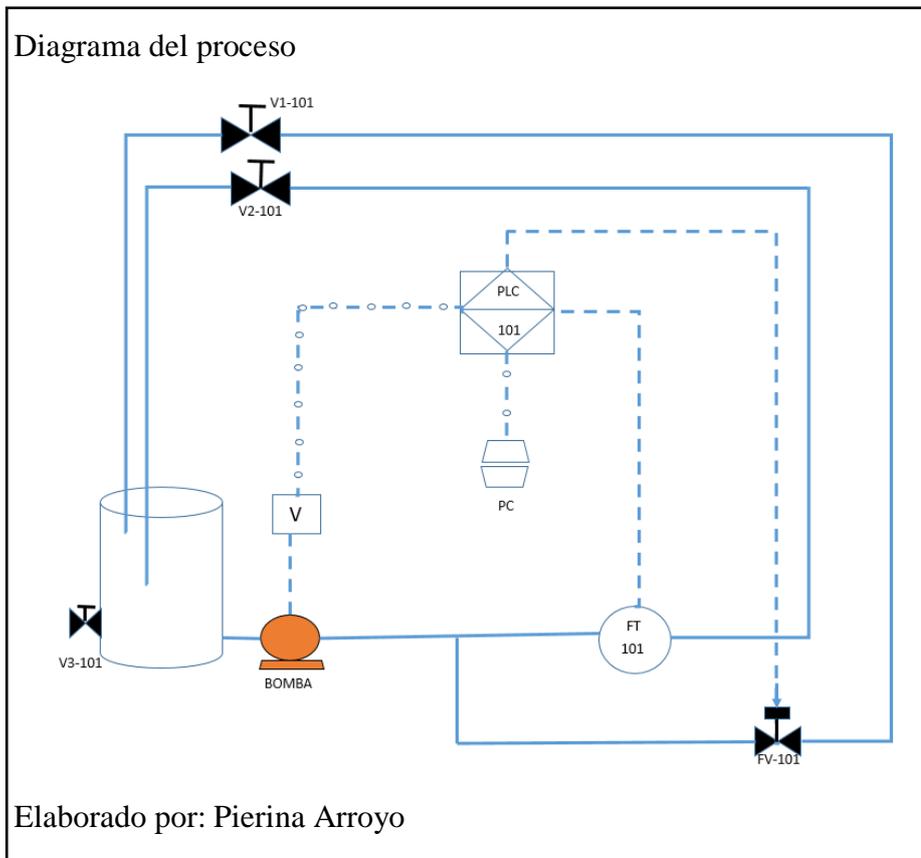
Equipos de Protección

Elemento de Tablero	Marca	Código.	Detalles.	Físico	Diagrama
BREAKER	CHINT	B1	Corriente:16 A Rango de Voltaje: 230V/400V AC	✓	✓
FUSIBLE	CHINT	F	Corriente: 6 ^a	✓	✓
CONTACTOR	CHINT	C	Corriente: 32 A Polos: 3 Polos Potencia: 7.50kW Voltaje: (230V, 415V)	✓	✓

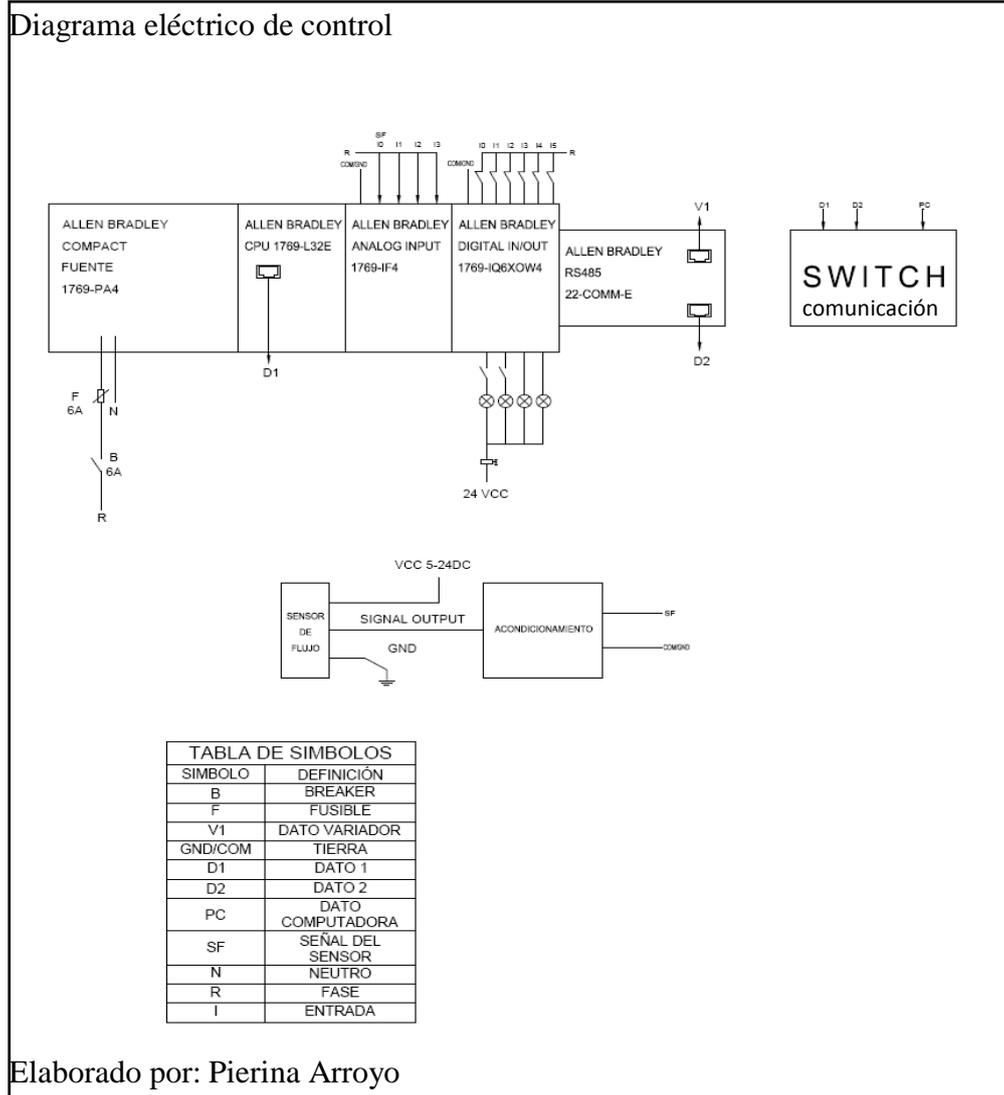
Elaborado por: Pierina Arroyo

4.1.4 Diagramas

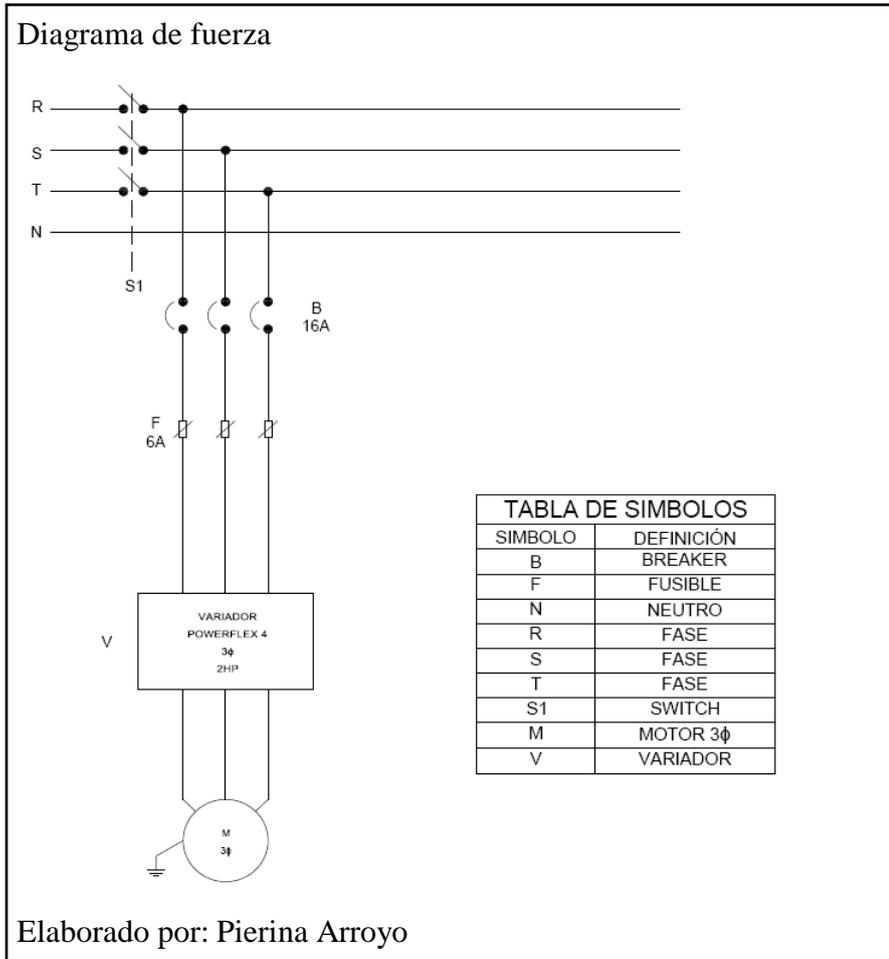
4.1.4.1 Diagrama del proceso



4.1.4.2 Diagrama eléctrico de control



4.1.4.3 Diagrama de fuerza



4.1.5 Conclusiones

- Se identificaron las características técnicas de los equipos del módulo de control de flujo y se pudo observar que cada dispositivo cuenta con un código de comercialización, el cual es importante debido a que sin él es muy difícil adquirirlo.
- A través de la investigación de las características técnicas de los dispositivos se pudo conocer a qué área pertenece cada uno de los equipos, ubicándolos físicamente en el módulo y en los diferentes diagramas.

4.1.6 Recomendaciones

Verificar que el módulo no se encuentre energizado como precaución al momento de manipularlo para evitar accidentes.



PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR

PIL S.A

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

4.2 Práctica 2

Introducción al Software RSLogix5000

4.4.1 Objetivos

- Proponer ejercicios a realizarse con software RSLogix5000 para familiarizarse con el mismo.
- Verificar que al descargar el programa en el PLC el módulo obedezca al controlador a través de pruebas y así comprobar que las conexiones eléctricas están funcionando correctamente.

4.4.2 Introducción

El software RSLogix 5000 está diseñado para programar controladores de la familia Logix 5000 y para la plataforma logix de Rockwell Automation. Utiliza varios tipos de lenguaje de programación como Escalera (Ladder), Bloques de funciones (Functions blocks), texto estructurado (structuredtext) y esquemas de funciones secuenciales (SequentialFunction Chart), tiene un entorno muy amigable con el usuario sencillo de manejar.

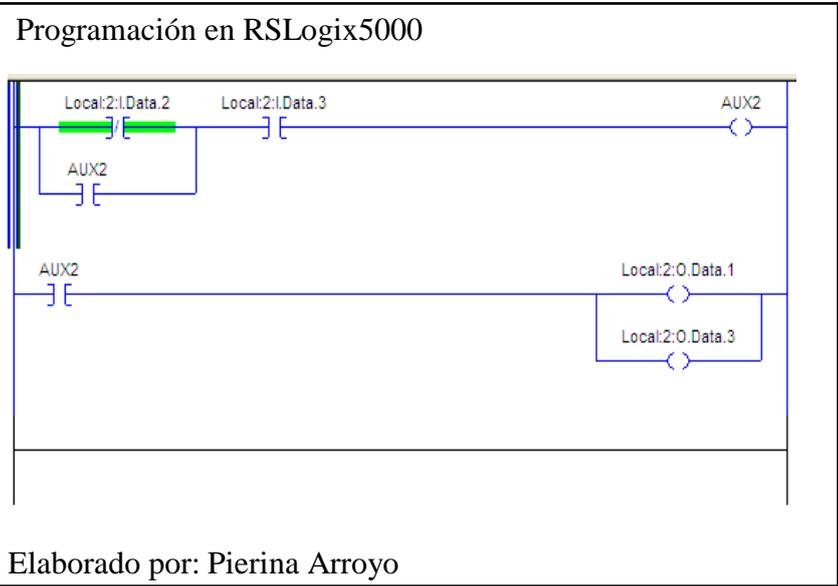
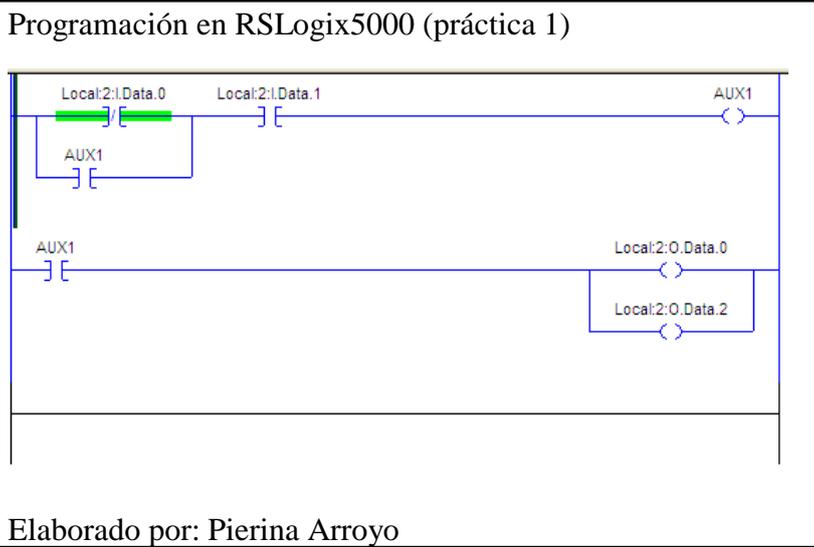
Los programas creados por el software utilizan direccionamiento de datos simbólicos. Crea un tag al asignar un nombre y define el tipo de datos. Esto proporciona una lógica autodocumentada y elimina la necesidad de memorizar el esquema de la memoria del controlador. Cada tag se almacena individualmente en el controlador, de modo que usted puede crear nuevos tags mientras está en línea con un controlador en el modo de marcha. Allen Bradley (2009). Software RSLogix5000. Recuperado el 25-Feb-2015, de <http://rockwellautomation.com>

4.2.3 Desarrollo

4.2.3.1 Desarrolle un programa que encienda y apague luces en base a las siguientes órdenes:

- Si presiona P1 (pulsador 1), se enciende luz 0 y luz 2 y se apaga con P2 (pulsador 2)
- Si presiona P3 (pulsador 3), se enciende luz 1 y luz 3 y se apaga con P4 (pulsador 4)

Solución:



El pulsador 1 se enciende las luces 0 y 2



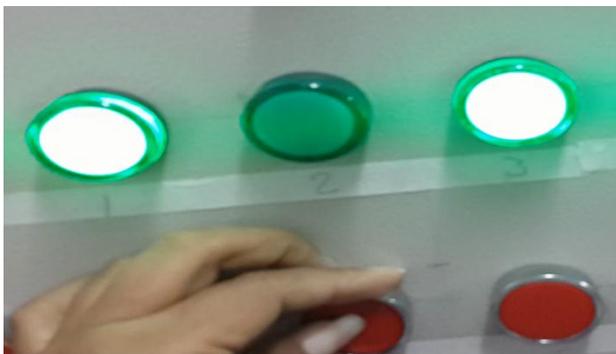
Elaborado por: Pierina Arroyo

El pulsador 2 se apaga las luces 0 y 2



Elaborado por: Pierina Arroyo

El pulsador 3 se enciende las luces 1 y 3



Elaborado por: Pierina Arroyo

El pulsador 4 se apaga las luces 1 y 3

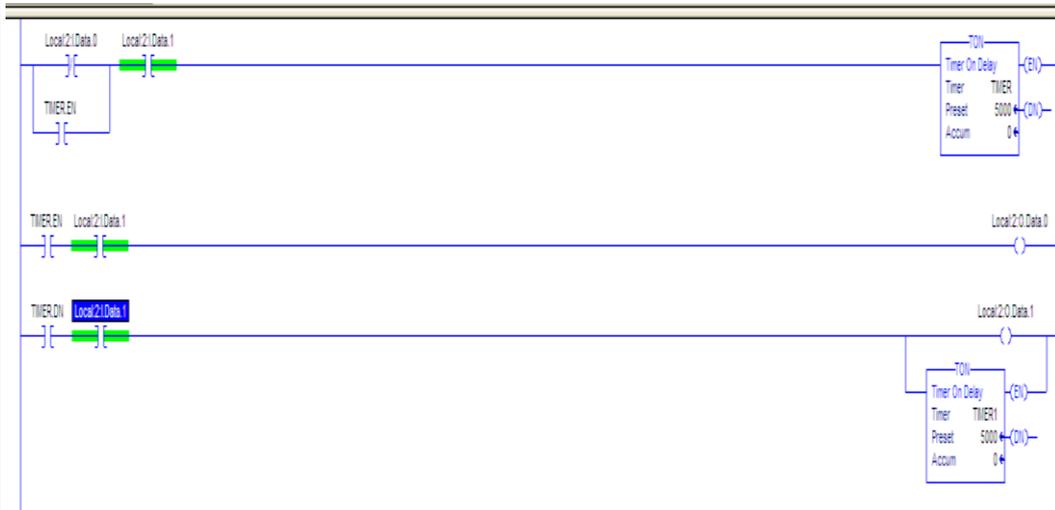


Elaborado por: Pierina Arroyo

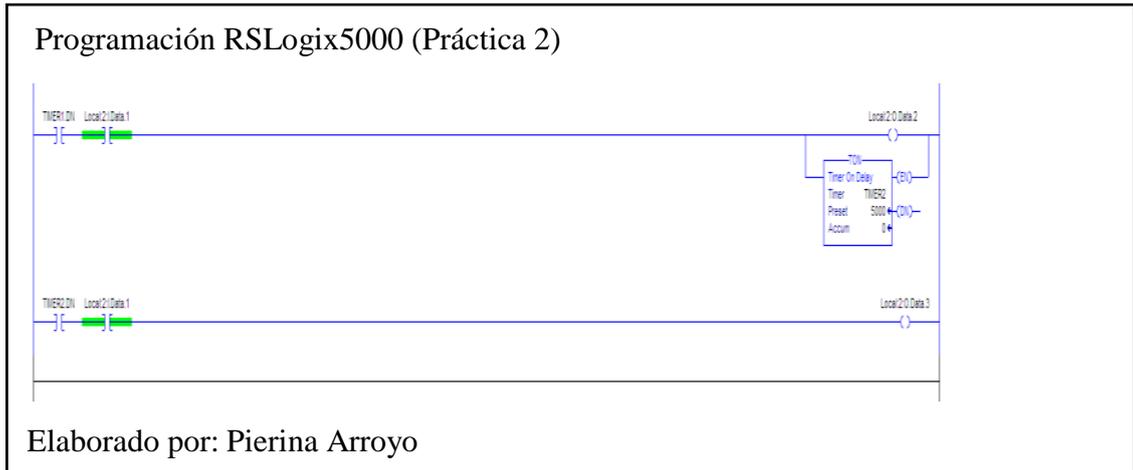
4.2.3.2 Desarrolle un programa que al presionar P1 (pulsador 1) se encienda la luz 1, 5 segundos después se enciendan las luces 1 y 2, después de 5 segundos las luces 1, 2, 3, y así sucesivamente hasta que se hayan encendido todas. Al presionar P2 (pulsador 2) se apaga el sistema.

Solución:

Programación RSLogix5000 (Práctica 2)



Elaborado por: Pierina Arroyo



4.2.3.3 Verificar que el módulo obedece al controlador



Nota: Un banco de ejercicios propuestos se encuentra en el anexo 2

4.2.4 Conclusiones

- Para efectuar el reconocimiento de los módulos del PLC en el software RSLogix5000 se debe especificar correctamente el número de slot en el que se encuentra debido a que si éste es incorrecto el software no asigna los tags correspondientes al módulo.
- Se verificó que la conexiones eléctricas funcionan ya que al descargar el programa en el PLC y hacer las pruebas, el módulo obedeció las órdenes del controlador.

4.2.5 Recomendaciones

Al realizar las pruebas se debe tener precaución en la manipulación de los equipos para evitar inconvenientes



PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR

PIL S.A

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

4.3 Práctica 3

Enlace (red Ethernet)

4.3.1 Objetivos

- Establecer una red Ethernet entre el PLC, PC y Variador para enviar y recibir datos entre los tres dispositivos.
- Comprobar la comunicación entre los equipos que conforman la red Ethernet a través de la consola CMD.

4.3.2 Introducción

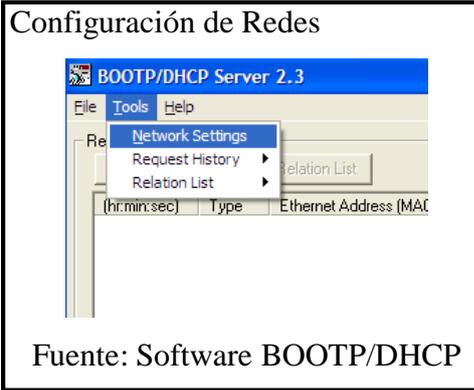
La red EtherNet/IP™ proporciona sistemas de red a nivel de toda la planta con el uso de tecnologías de conexión en red abiertas y estándar del sector. Permite control e información en tiempo real en aplicaciones discretas y de proceso continuo, lotes, seguridad, variadores, movimiento y alta disponibilidad. La red EtherNet/IP conecta dispositivos tales como arrancadores de motor y sensores a controladores, dispositivos HMI, entre otros, en la empresa. Admite comunicaciones no industriales e industriales en una infraestructura de red común.

Allen Bradley (2009). Software RSLogix5000. Recuperado el 25-Feb-2015, de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Networks-and-Communications/Ethernet-IP-Network>

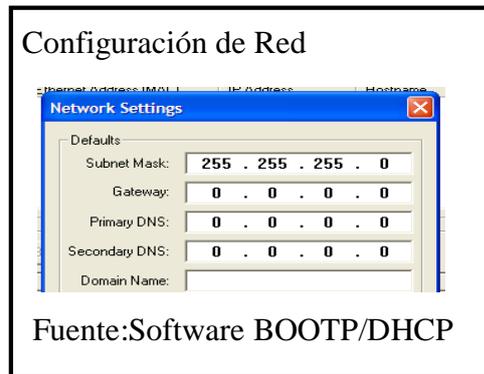
Los pasos para configurar la red son:

4.3.3 Asignación de una dirección IP al CPU del PLC

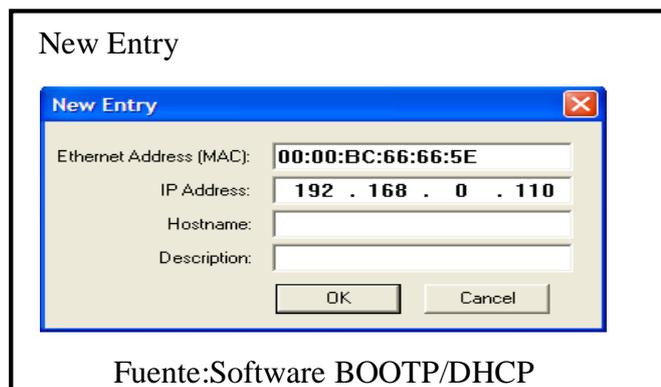
- Inicie el software BOOTP.
- Seleccione Tools>Network Settings.



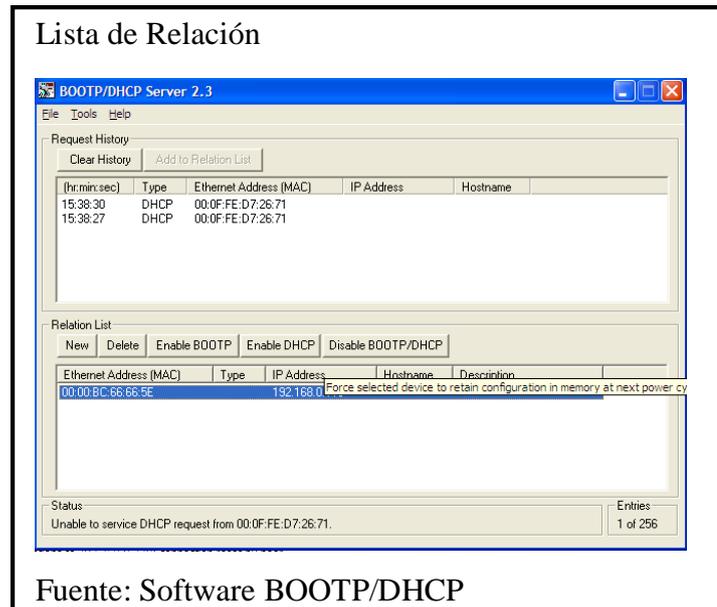
- Introduzca la máscara de Ethernet y gateway.
- Haga clic en OK.



- En el cuadro de diálogo BOOTP RequestHistory, puede ver las direcciones de hardware de los dispositivos que emiten solicitudes BOOTP.
- Haga doble clic en la dirección de hardware del dispositivo que desee configurar.
- El cuadro de diálogo New Entry muestra la dirección Ethernet (MAC) del dispositivo.
- Escriba la dirección IP que desee asignar y que se encuentre en el rango 192.168.0.100 hasta 192.168.0.120
- Haga clic en OK.



- Para asignar permanentemente esta configuración al dispositivo, resalte el dispositivo y haga clic en Disable BOOTP/DHCP.



Cuando se desconecte y vuelva a conectar la alimentación eléctrica, el dispositivo utiliza la configuración que ha asignado y no emitirá una solicitud BOOTP.

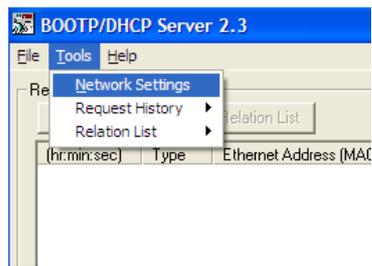
4.3.4 Conexión del adaptador EtherNet/IP al variador

- Antes de conectar el adaptador 22-COMM-E al variador 22A-B8P0N104, se debe escribir en una ficha nemotécnica la dirección Ethernet (MAC ID) que viene inscrita en la tarjeta ya que se la necesita para futuras configuraciones.
- Se conecta el bus al conector DSI tanto de la tarjeta 22-COMM-E como de la tarjeta 22-XCOMM-BASE.
- Se conecta el puerto RS-485 del variador a la tarjeta 22-XCOMM-BASE y la tarjeta 22-COMM-E al puerto Ethernet del PLC.

4.3.5 Asignación de una dirección IP al variador

- El adaptador de red 22-COMM-E, 22-XCOMM-BASE, variador PowerFlex4 forman un conjunto para la comunicación Ethernet en donde quien lleva la IP es la tarjeta 22-COMM-E, la misma que se asigna mediante el servidor BOOTP/DHCP, para esto:
- Inicie la utilidad BOOTP/DHCP.
- En el menú Tools, seleccione Network Settings.

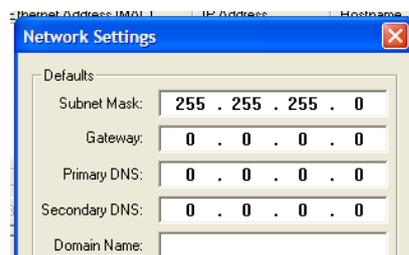
Configuración de Redes



Fuente: Software BOOTP/DHCP

- Escriba la SubnetMask de la red.

Configuración de Red

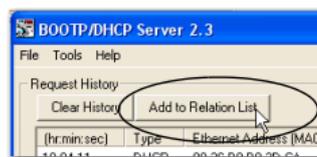


Fuente: Software BOOTP/DHCP

Los campos Gateway address, Primary and/or Secondary DNS address y Domain Name son opcionales.

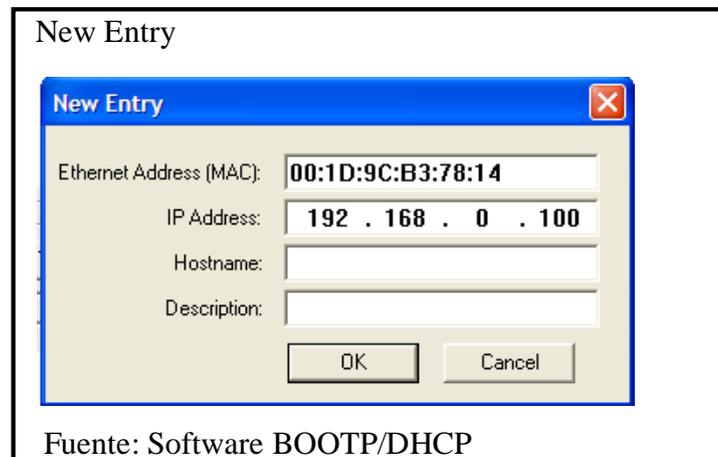
- Haga clic en OK.
Aparece el panel RequestHistory con las direcciones de hardware de todos los dispositivos que están emitiendo peticiones BOOTP.
- Seleccione el dispositivo apropiado, es decir el dispositivo con la MAC ID que coincida con su variador PowerFlex 4.
- Se hace clic en Add to Relation List.
Aparece el cuadro de diálogo New Entry.

Lista de relación

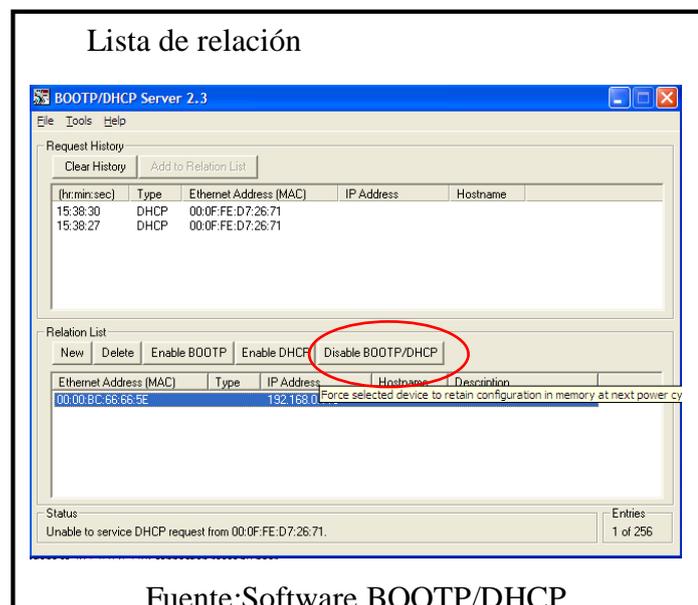


Fuente: Software BOOTP/DHCP

- Escriba la dirección IP que desee asignar y que se encuentre en el rango 192.168.0.100 hasta 192.168.0.120
Hostname y Description para el adaptador.



- Haga clic en OK.
- Para asignar de manera permanente esta configuración al adaptador, espere a que el adaptador aparezca en el panel RelationList, y selecciónelo.
- Haga clic en Disable BOOTP/DHCP.



- Cuando se desconecta y se vuelve a conectar la alimentación eléctrica, el adaptador usa la configuración asignada y no emite una petición BOOTP.

4.3.6 Creación del Drive de comunicación

Se debe crear un drive de comunicación en el software RSLinx para administrar la red entre en los dispositivos que forman parte de ella y los softwares RSLogix5000 y Factory Talk View, para esto se deben seguir los siguientes pasos:

- En el software RSLINX en la pestaña *communications* se da clic en la opción *Configure Drivers*

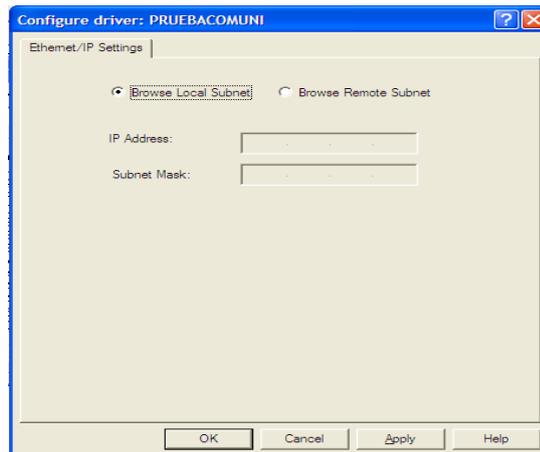


- En la ventana Configure Drivers se elige el tipo de driver que se utilizará en la red, en el caso de este proyecto es Ethernet Devices.



- Se hace clic en Add New y se escoge la opción Browse Local Subnet y OK.

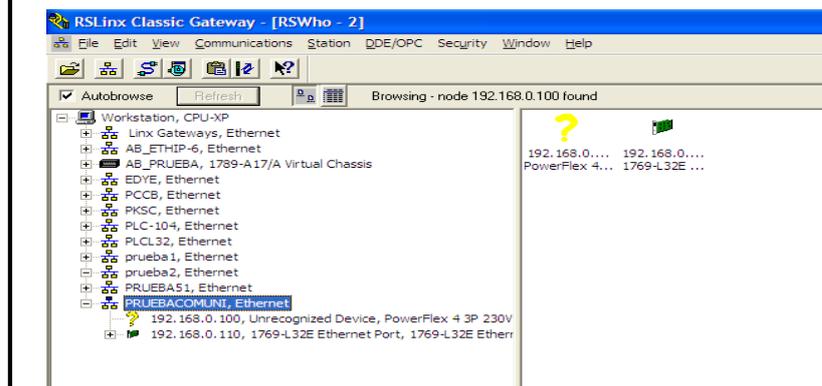
Configuración de la red



Fuente:Software RSLinx

- Se verifica el reconocimiento de los equipos con las direcciones IP asignadas en el explorador del Software RSLinx.

Reconocimiento de equipos



Fuente:SoftwareRSLinx

3.4.5 Compruebe la comunicación haciendo ping

Como siguiente paso se comprueba que haya comunicación entre la PC, el variador y el PLC a través de la ventana commandprompt haciendo ping a las direcciones IP de los equipos en red.

Comunicación con el PLC

Variador en Red

```
Command Prompt
Packets: Sent = 4, Received = 1, Lost = 3 (75% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
  Minimum = 2ms, Maximum = 2ms, Average = 2ms
C:\Documents and Settings\Pilec>ping 192.168.0.110
Pinging 192.168.0.110 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.0.110: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.0.110: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.0.110: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.0.110: bytes=32 time<1ms TTL=64
Ping statistics for 192.168.0.110:
  Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
  Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
C:\Documents and Settings\Pilec>_
```

Elaborado por: Pierina Arroyo

Comunicación con el variador

Variador en red

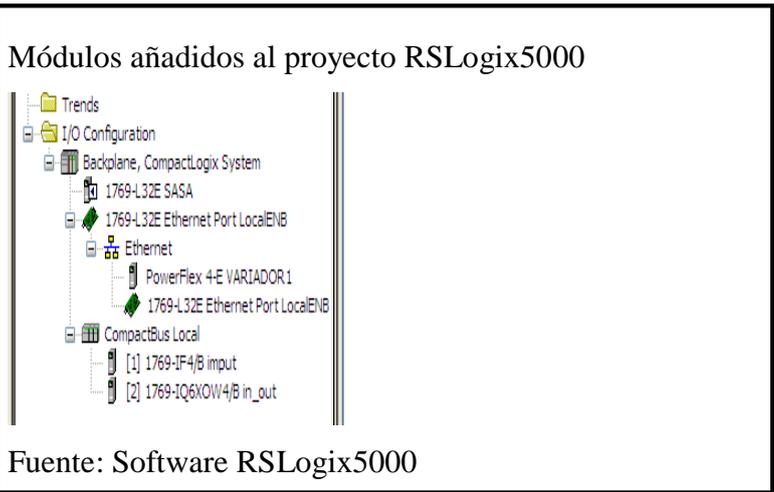
```
Command Prompt
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
C:\Documents and Settings\Pilec>ping 192.168.0.100
Pinging 192.168.0.100 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.0.100: bytes=32 time=5ms TTL=64
Reply from 192.168.0.100: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.0.100: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.0.100: bytes=32 time=1ms TTL=64
Ping statistics for 192.168.0.100:
  Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
  Minimum = 1ms, Maximum = 5ms, Average = 2ms
C:\Documents and Settings\Pilec>ping 192.168.0.110
Pinging 192.168.0.110 with 32 bytes of data:
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Reply from 192.168.0.110: bytes=32 time=2ms TTL=64
```

Elaborado por: Pierina Arroyo

4.3.7 Creación de un nuevo proyecto RSLogix5000

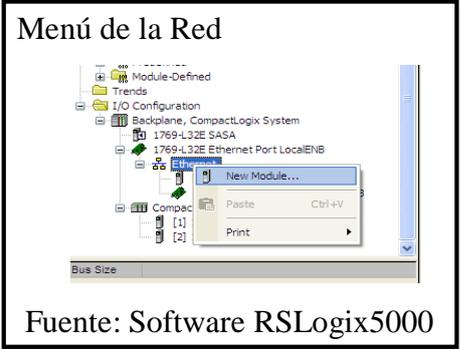
Se debe crear un nuevo proyecto en el software RSLogix5000, aquí se deben añadir los módulos que se van a utilizar tanto en la red como los módulos que forman parte del PLC para utilizarlos en la programación y control de los equipos, en este caso, se agregaron los módulos de entradas y salidas 1769-IF4, 1769IQ6XOW4, el controlador 1769-L32E y el variador de frecuencia a través de la tarjeta de comunicación Ethernet 22-COMM-E.

Los pasos que se deben seguir son los detallados a continuación:



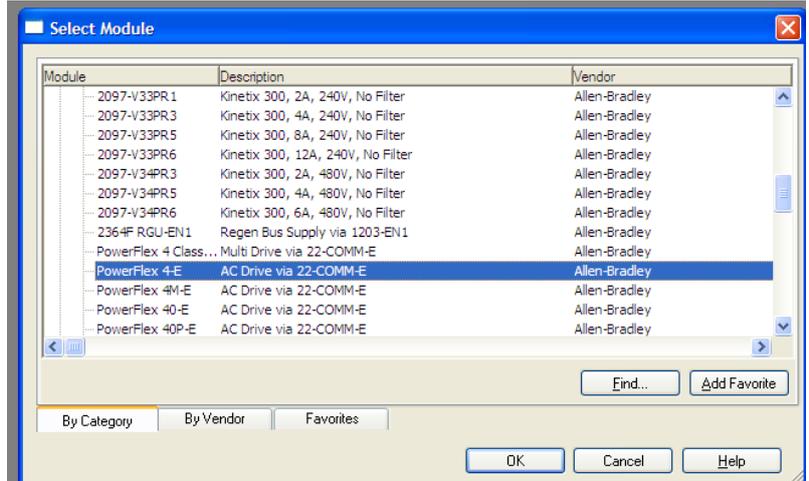
4.3.8 Añadir el variador PowerFlex 4 a través de la tarjeta 22-COMM-E al proyecto RSLogix 5000

- Se verifica que el proyecto RSLogix 5000 esté fuera de línea y que el interruptor de modo del controlador Logix5000 esté en la posición de programación PROG.
- Haga clic con el botón derecho del mouse en el puerto de la red y seleccione New Module.



- Seleccione el variador PowerFlex 4-E y haga clic en OK.

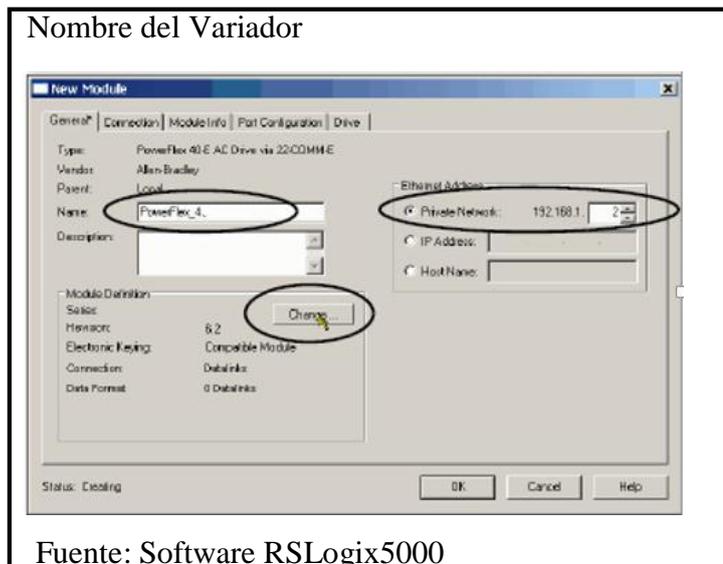
Selección del Variador



Fuente: Software RSLogix5000

- Asigne un nombre para el variador.

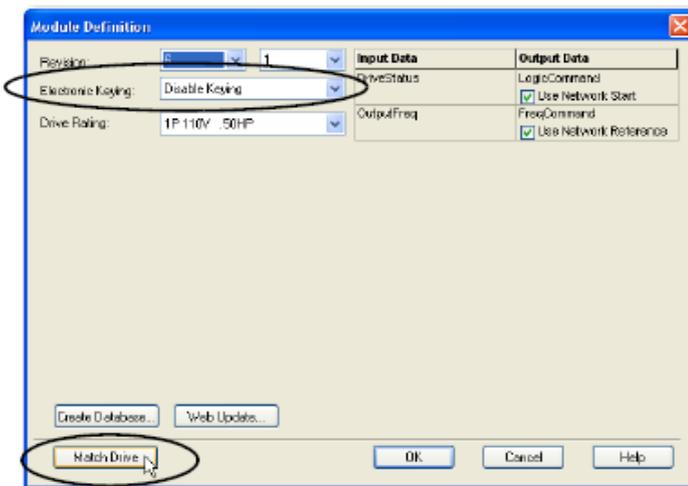
Nombre del Variador



Fuente: Software RSLogix5000

- Asigne la misma dirección IP que haya asignada anteriormente para el variador en el proyecto.
- Se hace clic en Change.
- En el cuadro de diálogo Module Definition, inhabilite la codificación y haga clic en Match Drive.

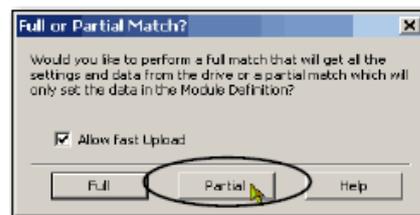
Definición del Módulo



Fuente: Software RSLogix5000

- En el cuadro de diálogo Full or Partial Match, haga clic en Partial.

Marca Total o Parcial



Fuente: Software RSLogix5000

- En el cuadro de diálogo Connectto Drive, seleccione el variador y haga clic en OK.
- Se hace clic en OK cuando aparezca el cuadro de diálogo indicando que la coincidencia al variador en línea fue exitosa.

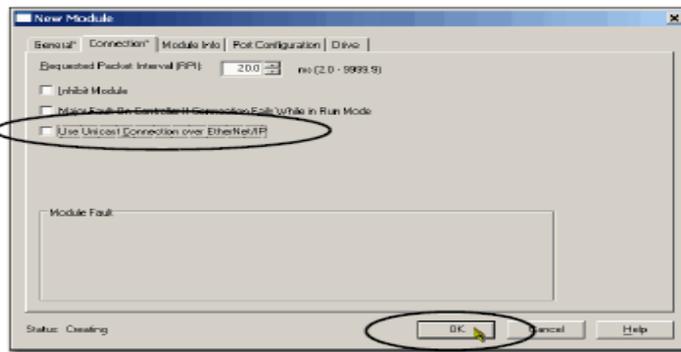
Cuadro de Diálogo



Fuente: Software RSLogix5000

- Se hace clic en OK en el cuadro de diálogo Module Definition para regresar al cuadro de diálogo New Module.
- Se hace clic en la ficha Connection.
- Se deselecciona Use Unicast Connection over EtherNet/IP y se hace clic en OK.
- Se hace clic en Close, en el cuadro de diálogo Select Module Type.

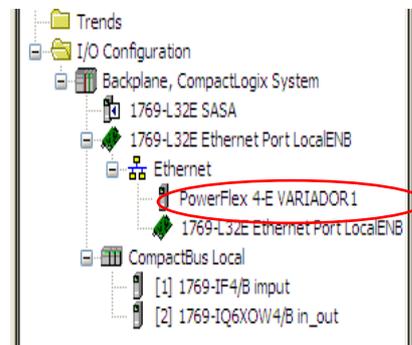
New Module



Fuente: Software RSLogix5000

- El variador 22A-B8P0N104 se añade al Controller Organizer.

Variador en Red

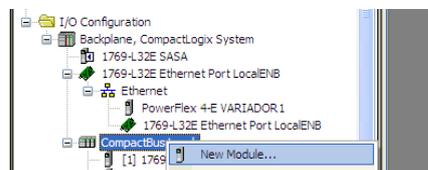


Fuente: Software RSLogix5000

Añadir los módulos del PLC

- Se hace clic derecho sobre CompactBusLocal y se da clic en New Module

New Module



Fuente: Software RSLogix5000

- En la ventana Select Module se escoge los módulos que conforman el PLC físicamente.

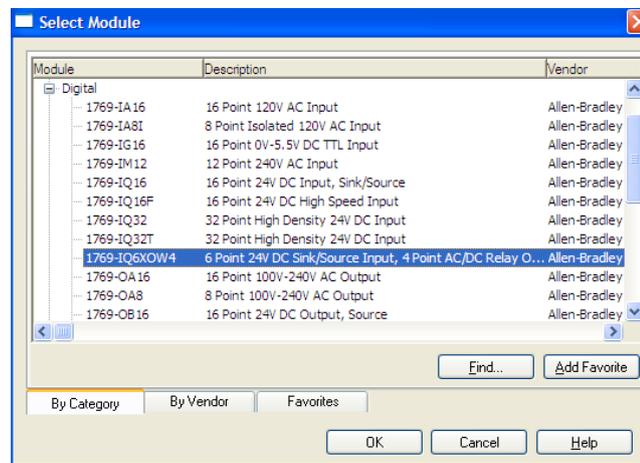
Selección del Módulo



Fuente: Software RSLogix5000

- Se escoge el módulo de entradas y salidas digitales y se selecciona OK

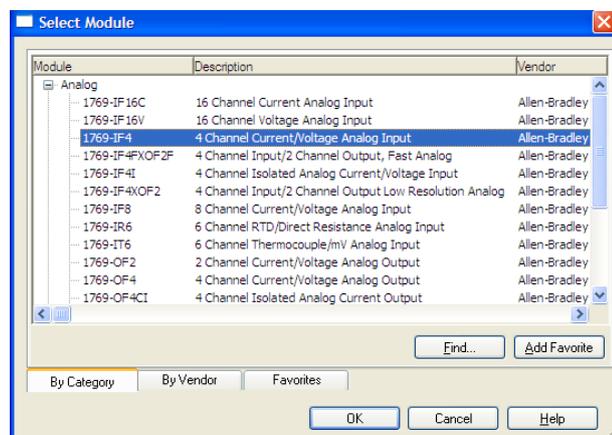
Selección de módulo de entradas y salidas digitales



Fuente: Software RSLogix5000

- Se escoge el módulo de entradas análogas y se selecciona OK

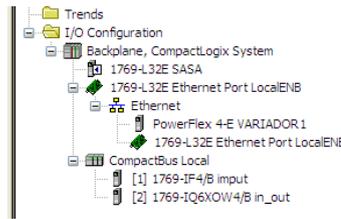
Selección de módulo de entradas análogas



Fuente: Software RSLogix5000

- Se verifica que los módulos hayan sido añadidos al proyecto RSLogix5000

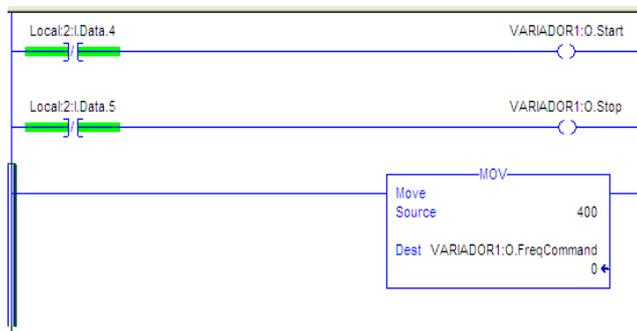
Módulos añadidos al software RSLogix5000



Fuente: Software RSLogix5000

4.3.9 Realice una prueba del funcionamiento del variador

Programación RSLogix5000 (Práctica 4)



Elaborado por: Pierina Arroyo

El pulsador 5 activa el variador en conjunto con la bomba y empieza a circular agua por la tubería 1



Elaborado por: Pierina Arroyo

El pulsador 6 desactiva la bomba y el variador



Elaborado por: Pierina Arroyo

4.3.10 Conclusiones

- Para establecer la red con el variador se dieron algunos inconvenientes debido a que la marca Allen Bradley no permite comunicación a través de dispositivos que no sean propios de ella, por lo tanto se procedió a comprar una tarjeta con comunicación Ethernet Allen Bradley para añadir el variador a la red lográndose obtener la comunicación.
- A través del análisis y lectura de varios manuales del PLC Allen Bradley para establecer una red Ethernet se pudo enviar y recibir datos entre la PC, PLC y variador dado que se ejecuta la instrucción ping de la consola de comando.

4.3.11 Recomendaciones

Se debe tomar especial atención a las direcciones IP que se asignen y guardarlas en una ficha nemotécnica ya que se utilizan en todo el proceso de configuración de la red.



PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR

PIL S.A

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

4.4 Practica 4

Introducción a Factory Talk View

4.4.1 Objetivos

- Realizar el diseño de un HMI en el software Factory Talk View y programar en el RSLogix5000 un sistema ON/OFF de luces para monitorearlas.
- Determinar las configuraciones que se deben realizar en el software RSLinx y Factory Talk View a través de la lectura de tutoriales Allen Bradley para establecer la comunicación entre el HMI y el PLC.

4.4.2 Introducción

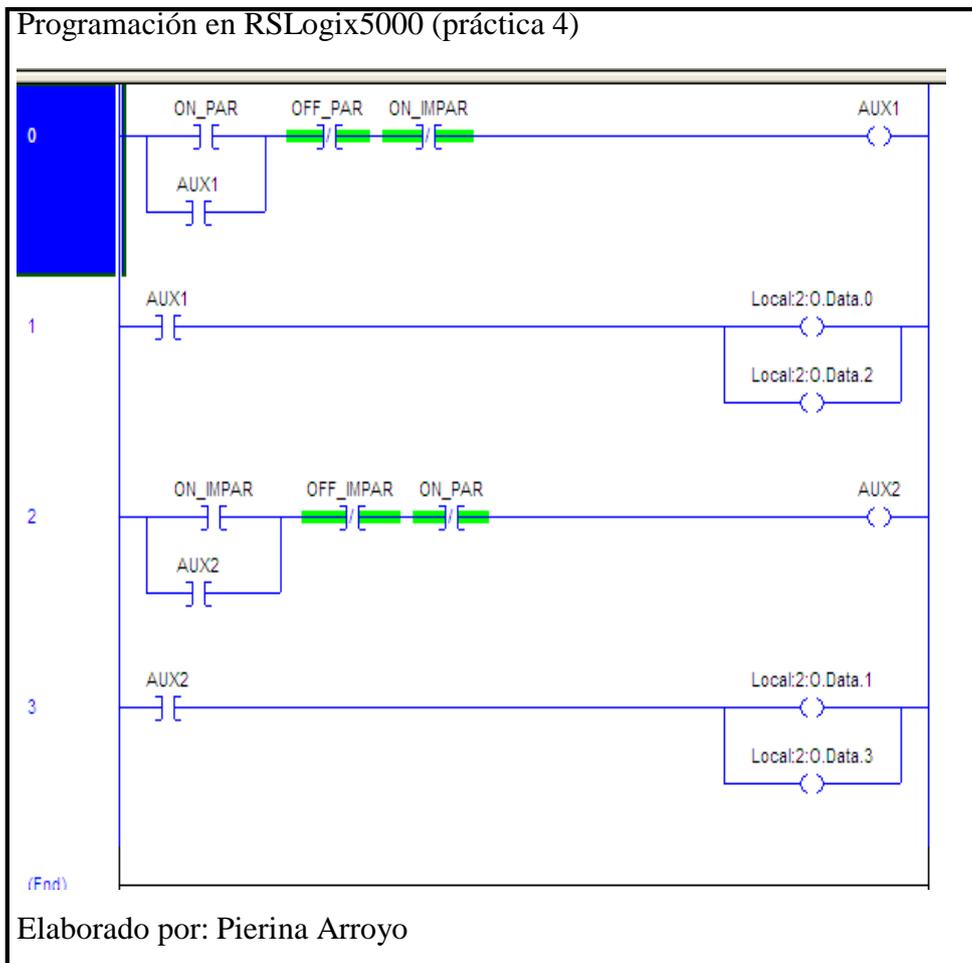
El significado de las siglas HMI es “HUMAN MACHINE INTERFACE”, este sistema permite el monitoreo de variables del proceso en una interfaz gráfica.

Antiguamente un HMI consistía en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces (pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores) que se interconectaban con la máquina o proceso, pero con la evolución de la tecnología y la implementación de controladores dieron paso a la comunicación por lo que en la actualidad es posible contar con HMI's mucho más sofisticados y eficaces.

El software de programación para el HMI que se utilizó es el Factory Talk View, propio de la marca Allen Bradley para la comunicación con el controlador CompactLogix.

Este software permite entre otras cosas las siguientes funciones: Interfaz gráfica, ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas.

Para facilidad de ésta práctica se cuenta con el siguiente código en diagrama escalera.



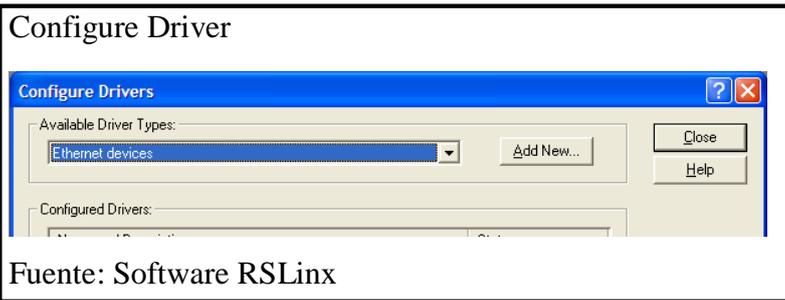
4.4.3 Desarrollo

4.4.3.1 Configure la comunicación en el software RSLinx para posteriormente desarrollar la aplicación HMI del programa de la fig89

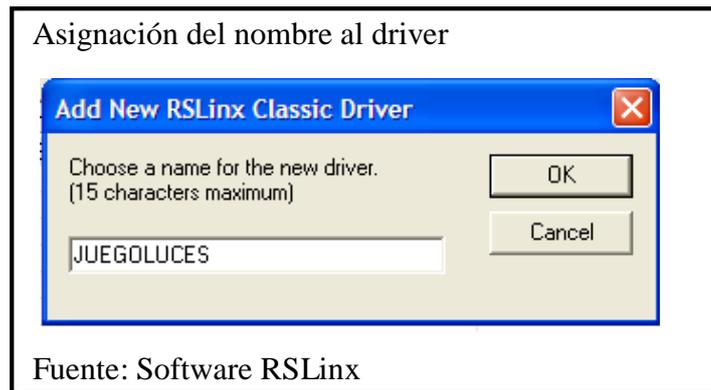
Se selecciona configure driver



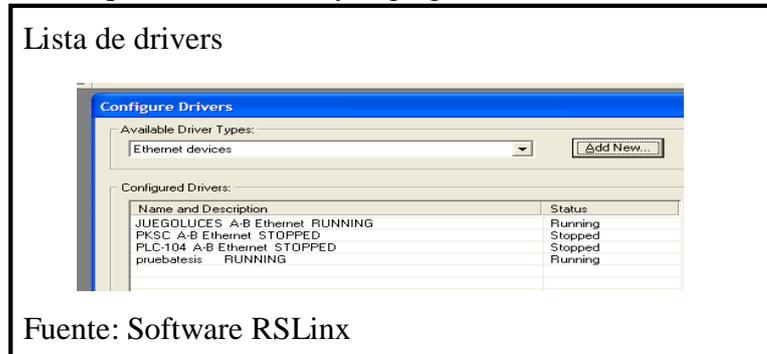
Se escoge Ethernet Devices



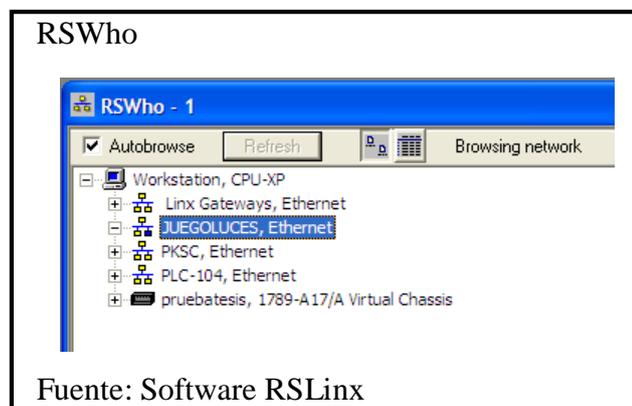
Se agrega un nombre al driver



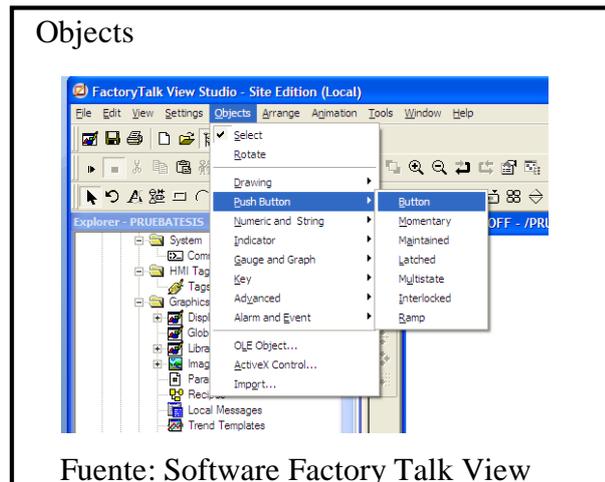
Se observa que el driver se haya agregado a la lista



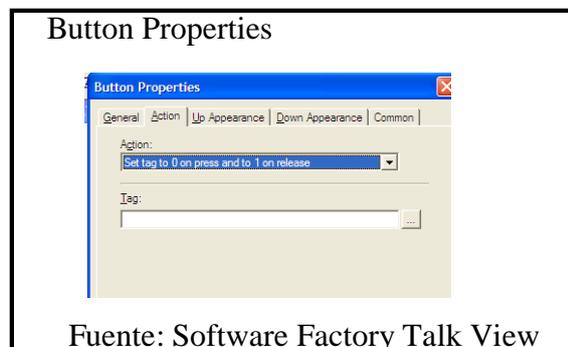
Se observa que el driver haya sido reconocido en la ventana RSWho



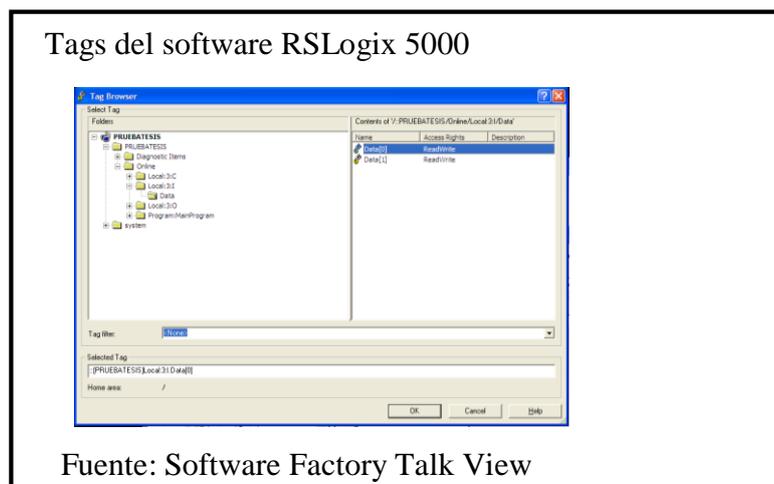
En Factory Talk View se selecciona objects>>push button>> button



Aparece la ventana de Diálogo y se esoge la opción 3

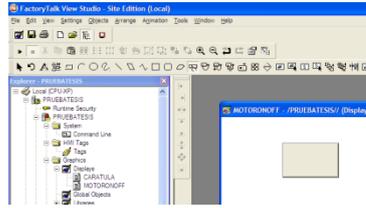


Se agrega el Tag del RSLogix5000 al que estará vinculado el botón



Se repite los mismos pasos para los demás botones

Botón



Fuente: Software Factory Talk View

HMI concluido

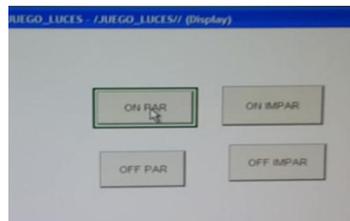


Fuente: Software Factory Talk View

PRUEBAS

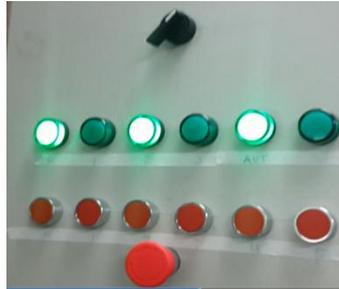
- a) Encendido de luces número par

HMI de luces pares ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

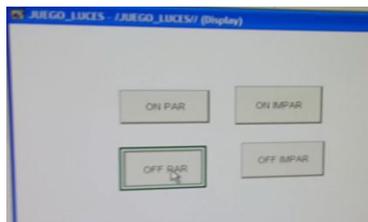
Luces ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

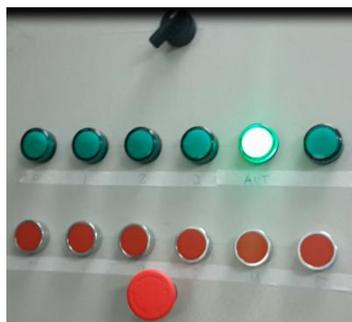
b) Apagado de luces número par

HMI de luces pares ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

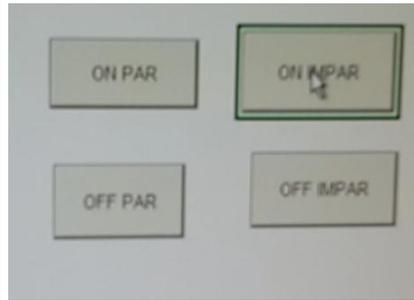
Luces ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

c) Encendido de luces número impar

HMI luces impar ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

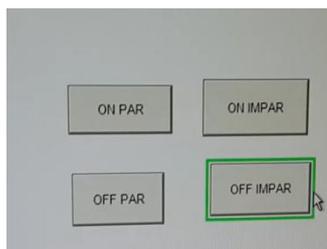
Luces ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

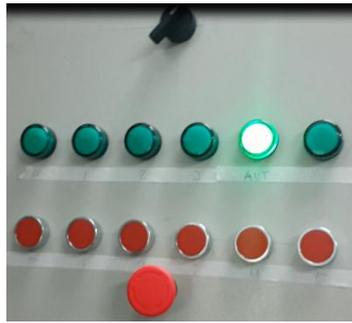
d) Apagado de luces número par

HMI luces impares ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

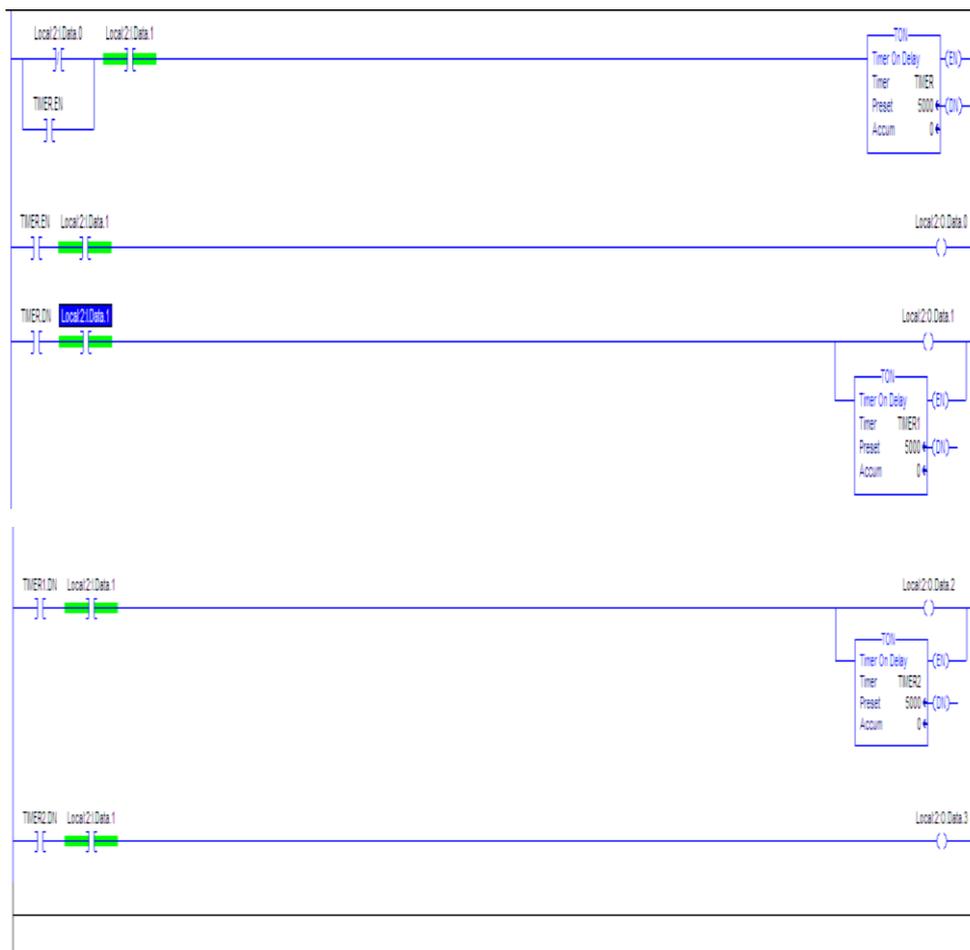
Luces ON/OFF



Elaborado por: Pierina Arroyo

Para facilidad de ésta práctica se cuenta con el siguiente código en diagrama escalera.

Programación RSLogix5000 (práctica 4)

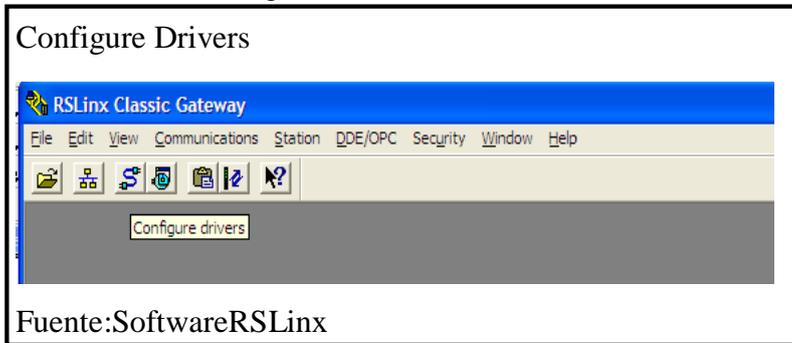


Elaborado por: Pierina Arroyo

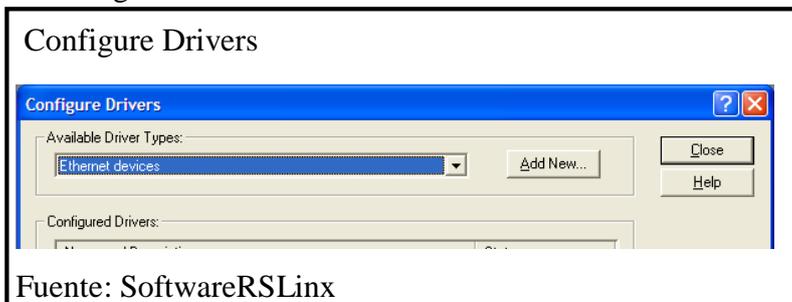
4.4.3.2 Configure la comunicación en el software RSLinx para posteriormente desarrollar la aplicación HMI del programa de la Fig. 108

Solución:

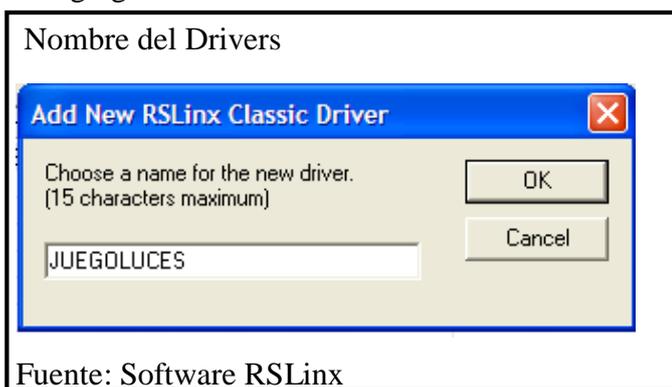
Se selecciona configure driver



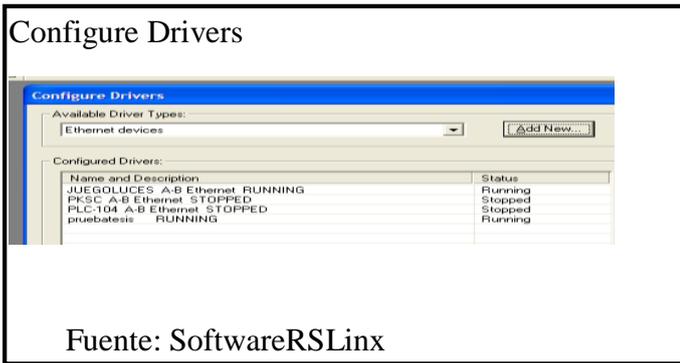
Se escoge Ethernet Devices



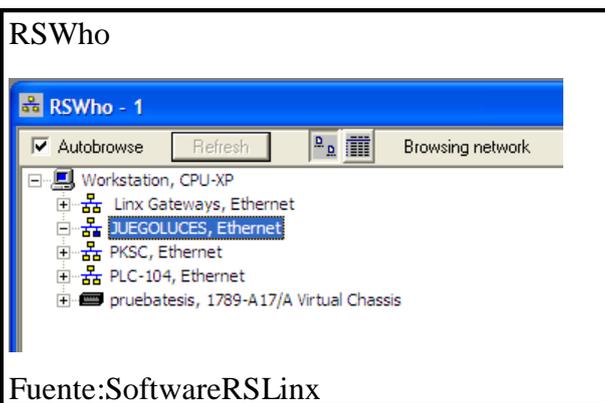
Se agrega un nombre al driver



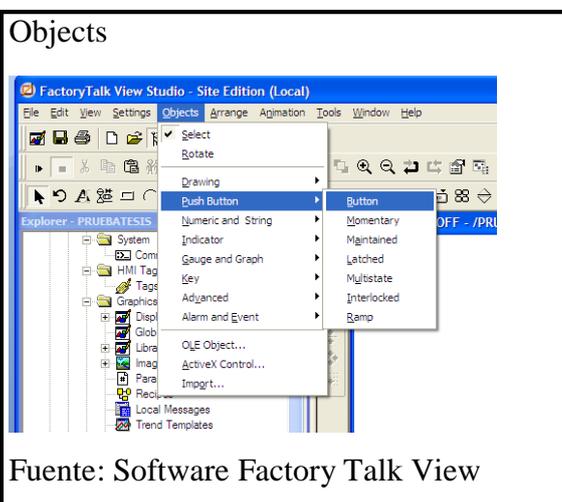
Se observa que el driver se haya agregado a la lista



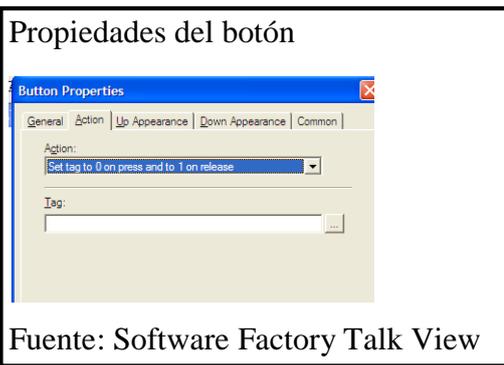
Se observa que el driver haya sido reconocido en la ventana RSWho



En Factory Talk View se selecciona objects>>push button>> button



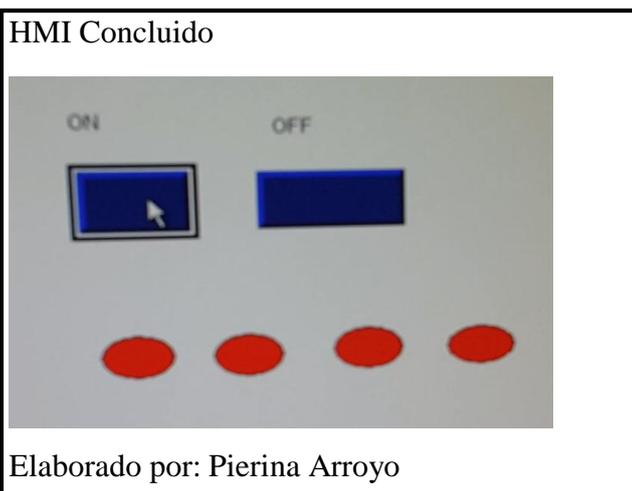
Aparece la ventana de Diálogo y se esoge la opción 3



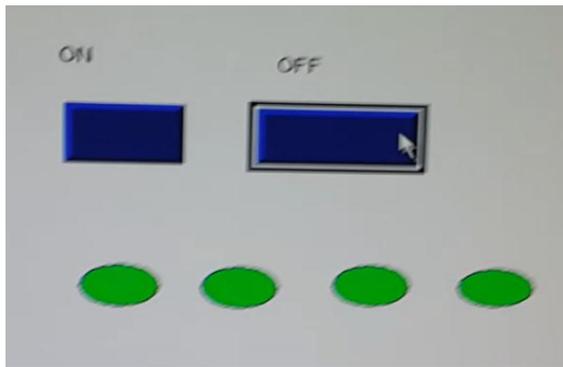
Se agrega el Tag del RSLogix5000 al que estará vinculado el botón



Se repite los mismos pasos para los demás botones

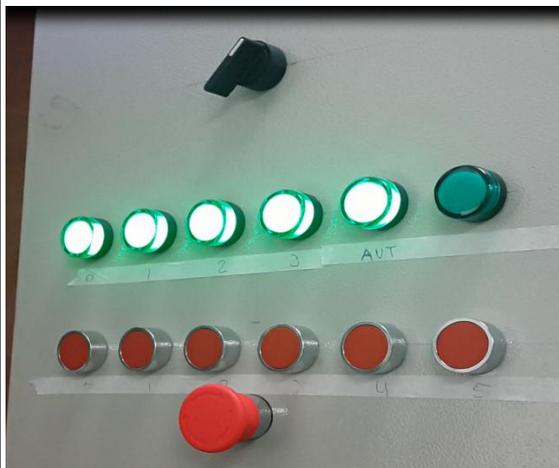


HMI Concluido



Elaborado por: Pierina Arroyo

Luces secuenciales



Elaborado por: Pierina Arroyo

Nota: Un banco de ejercicios propuestos se encuentra en el anexo C

4.4.4 Conclusiones

- Para realizar una aplicación HMI en el software Factory Talk View se debe tener previamente un programa en el software RSLogix5000 debido a que sin éste no se podrían asignar tags a las animaciones y la aplicación no se podría hacer efectiva.
- Para establecer el enlace entre la aplicación HMI y el módulo de entrenamiento se debe añadir el servidor RSLinxenterprises en el software Factory Talk View previamente al diseño de la aplicación ya que si se omite este paso, los tags nunca se encontrarán a disposición de las animaciones y por ende la aplicación no funcionaría.

4.4.5 Recomendaciones

Se debe tener precaución al momento de configurar la comunicación entre el RSLinx y el Factory Talk View debido a que si se produce un error en el procedimiento no se comunicarán los equipos.



PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR

PIL S.A

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

4.5 Práctica 5

Diseño de un HMI para prueba de Señales de un Sensor y un Variador

4.5.1 Objetivos

- Determinar las configuraciones que se deben realizar en el software RSLinx y Factory Talk View a través de la lectura de tutoriales Allen Bradley para comunicar el HMI con el PLC.
- Diseñar un HMI en el software Factory Talk View para probar las señales de los actuadores y sensores del módulo de control de flujo.

4.5.2 Introducción

El sistema de control de flujo tiene dos señales importantes, una analógica de entrada, la cual es proporcionada por el sensor de flujo ubicado en la tubería y la segunda constituye un dato enviado por Ethernet hacia el variador.

Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

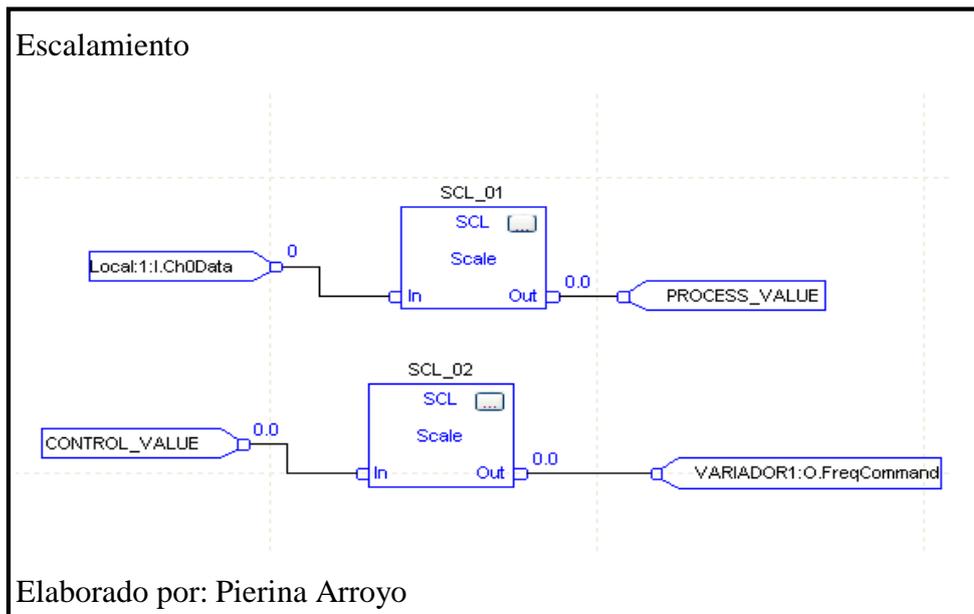
Esta señal es de tipo analógica e ingresa al PLC a través del módulo de entradas analógicas 1769-OF4C.

Variador

El variador de frecuencias que se utiliza en el proyecto es un POWERFLEX4 trifásico de la marca americana Allen Bradley. Este dispositivo recibe una señal

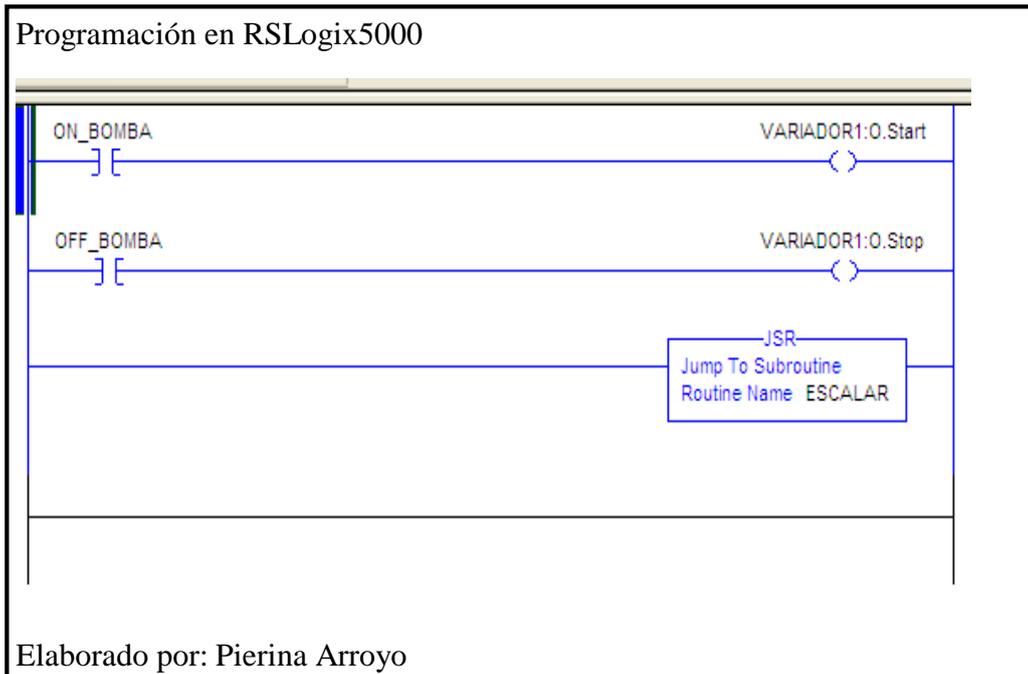
desde el PLC a través de la red de comunicación Ethernet Industrial, para de esta manera variar la velocidad del motor de inducción y por ende de la bomba de propulsión de líquidos.

Para facilidad de ésta práctica se cuenta con el siguiente código en diagrama escalera.



Se debe realizar un escalamiento en una subrutina, debido a que en el HMI se necesita visualizar el dato de la variable en unidades de ingeniería, mientras que el dato que muestrea el PLC se encuentra en unidades crudas, por lo tanto en la entrada al bloque de escalamiento SCL_01 se lee el resultado de la conversión análogo-digital del PLC que es un número Real, con las pruebas experimentales se determinó que 0v equivale a 0 en números reales y 3.3v equivale a 11000 en números reales por lo tanto en el bloque SCL_01 se debe especificar que 0 equivale a 0lt/min y que 11000 equivale a 30 lt/min.

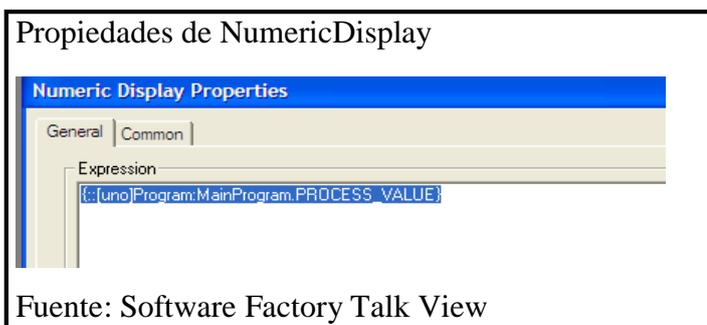
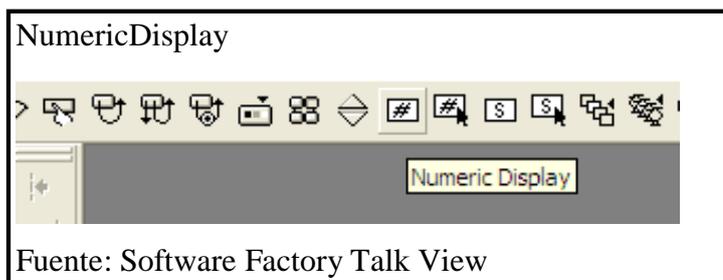
En el bloque de función SCL_02 la variable de entrada CONTROL_VALUE aloja una señal de 0 a 60 en números reales y se debe realizar el escalamiento para visualizar en el display del variador de tres cifras con un decimal, éste valor en Hz es decir 0 equivale a 0Hz y 60 equivale a 60.0 Hz.



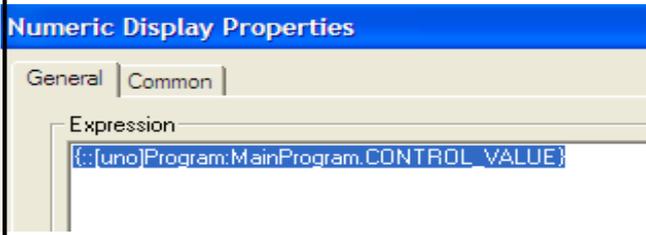
4.5.3 Desarrollo

4.5.3.1 Diseña una aplicación HMI del programa de la figxx para monitorizar las señales del sensor y el variador.

Para visualizar las señales del caudal y el variador se escoge la opción Numericdisplay y se asignan los tags, PROCESS_VALUE y CONTROL_VALUE

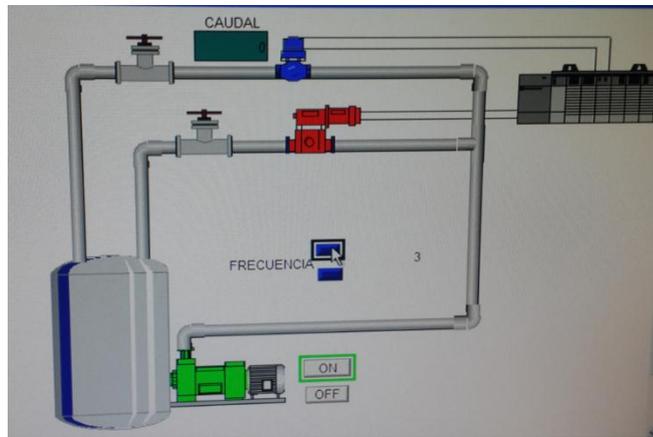


Asignación de tags



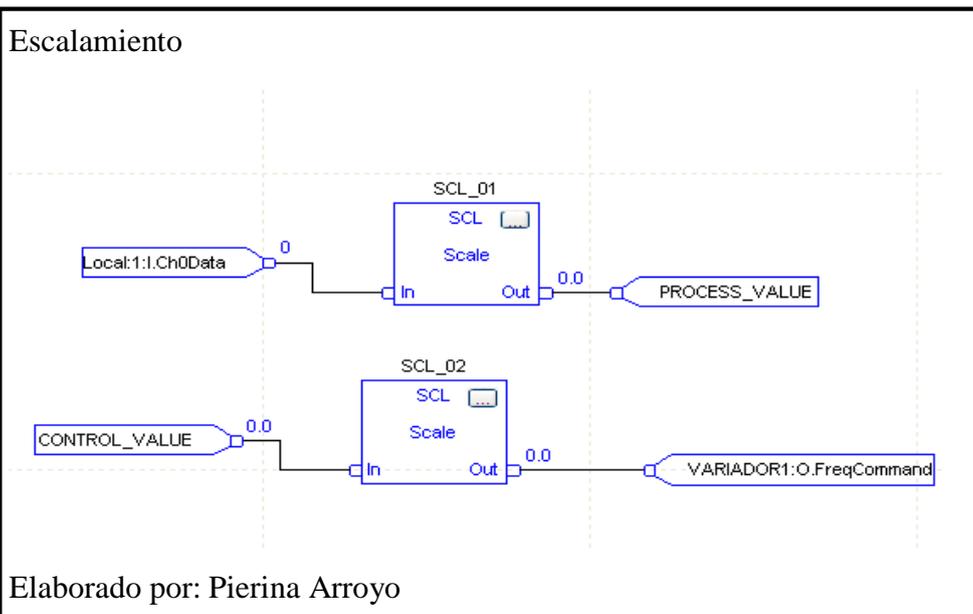
Fuente: Software Factory Talk View

HMI Concluido

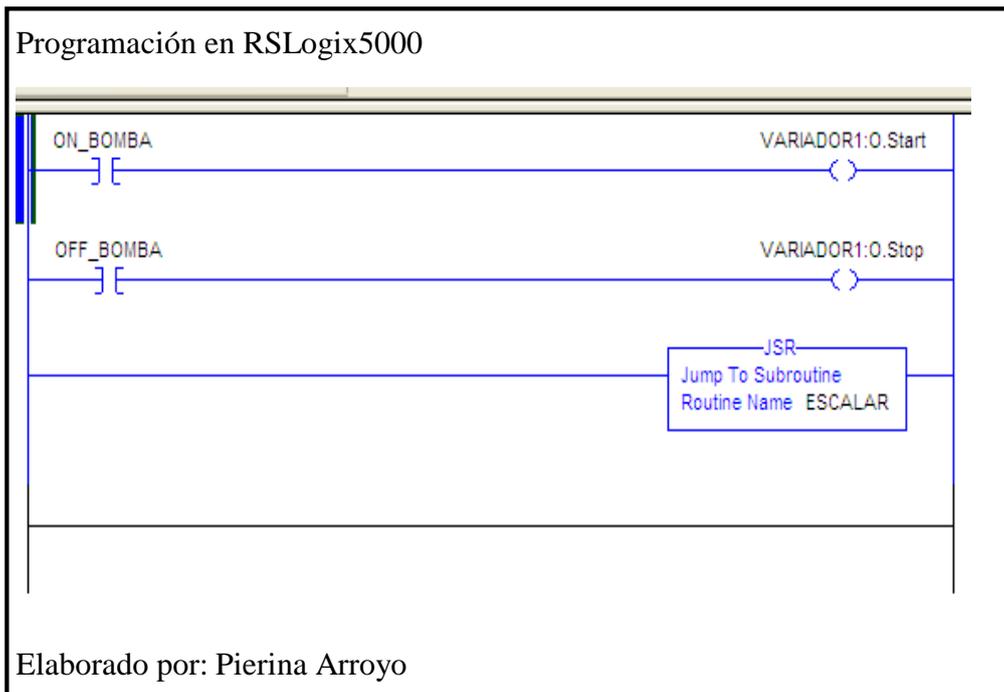


Fuente: Software Factory Talk View

Para facilidad de ésta práctica se cuenta con el siguiente código en diagrama escalera.

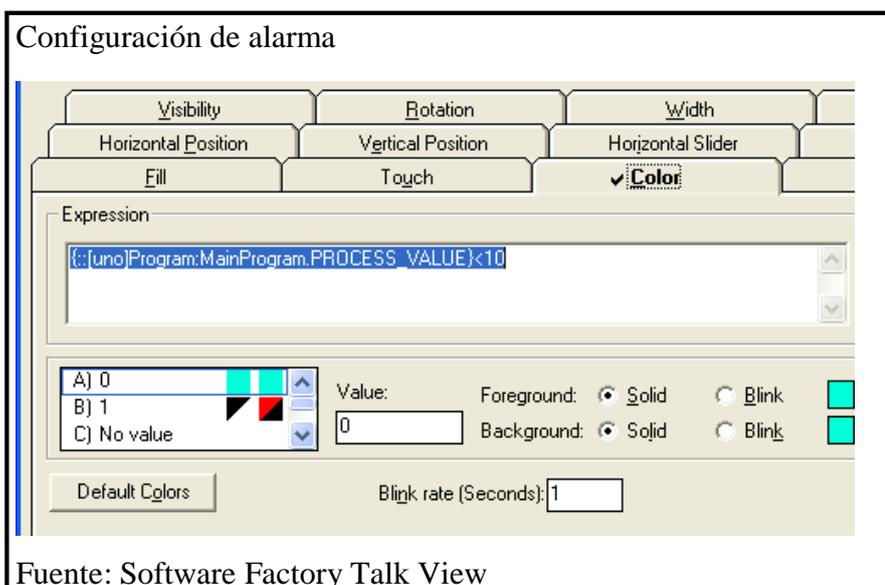


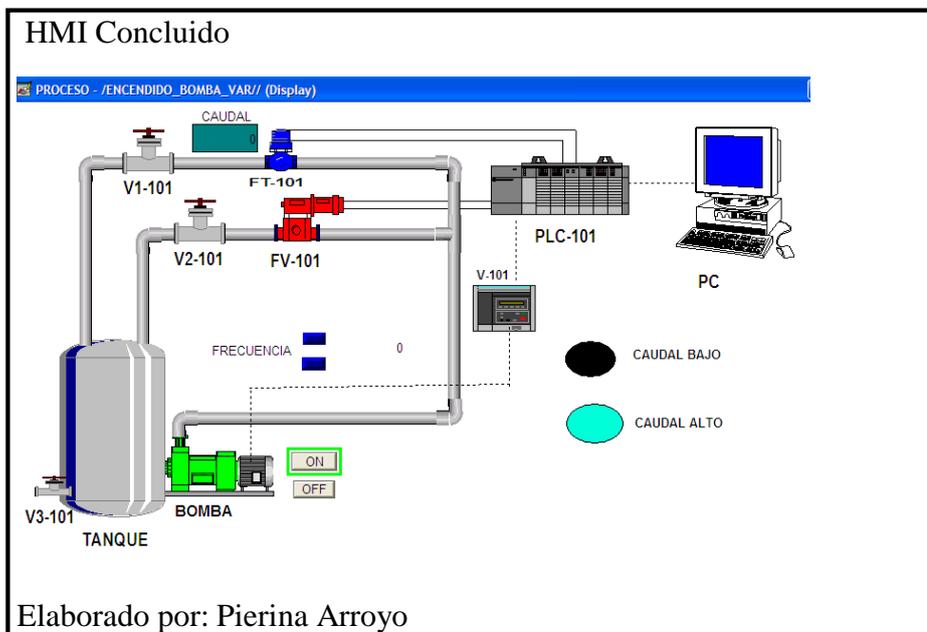
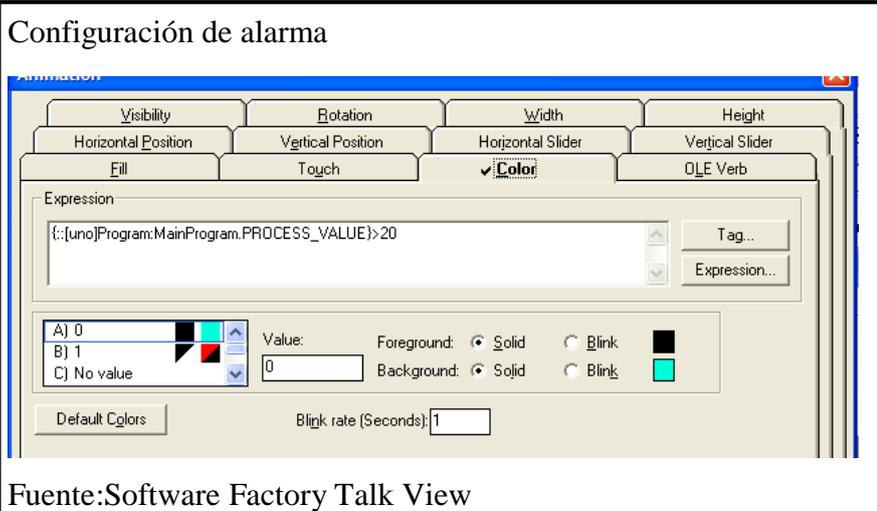
Elaborado por: Pierina Arroyo



4.5.3.2 Del diseño de la aplicación anterior, introducir las señales de alarma para caudal alto y caudal bajo.

Para visualizar las señales de caudal alto y caudal bajo se dibuja dos círculos, se escoge la opción animación y se escribe la expresión de condición, cuando el caudal sea bajo $PROCESS_VALUE < 10$ y cuando el caudal sea alto $PROCESS_VALUE > 20$





Nota: Un banco de ejercicios propuestos se encuentra en el anexo C

4.5.4 Conclusiones

- Se decidió hacer las alarmas de la práctica en el HMI mediante animaciones de cambio de colores debido a que el software Factory Talk View (SiteEdition) no tiene una ventana de alerta e indicación de alarmas.
- Se debe realizar un escalamiento de los valores de las señales en el software RSLogix5000 debido a que el valor que envía y recibe el PLC está en unidades

crudas mientras que lo que se necesita es que el valor que se lea en el HMI se encuentre en unidades de ingeniería.

4.5.5 Recomendaciones

Se debe tener precaución al momento de configurar la comunicación entre el RSLinx y el Factory Talk View debido a que si se produce un error en el procedimiento no se comunicarán los equipos.



PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR

PIL S.A

ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN

4.6 Practica 6

Diseño de un Sistema PID de control de Flujo de agua con un HMI para Monitorización

4.6.1 Objetivos

- Realizar el diseño de un controlador PID con el paquete de software de Allen Bradley con el PLC CompactLogix para el control de flujo de agua en la planta construida por el autor.
- Comprobar que el sistema PID compensa la variable del proceso al valor deseado a través del control de la bomba y la monitorización de las señales involucradas.

4.6.2 Introducción

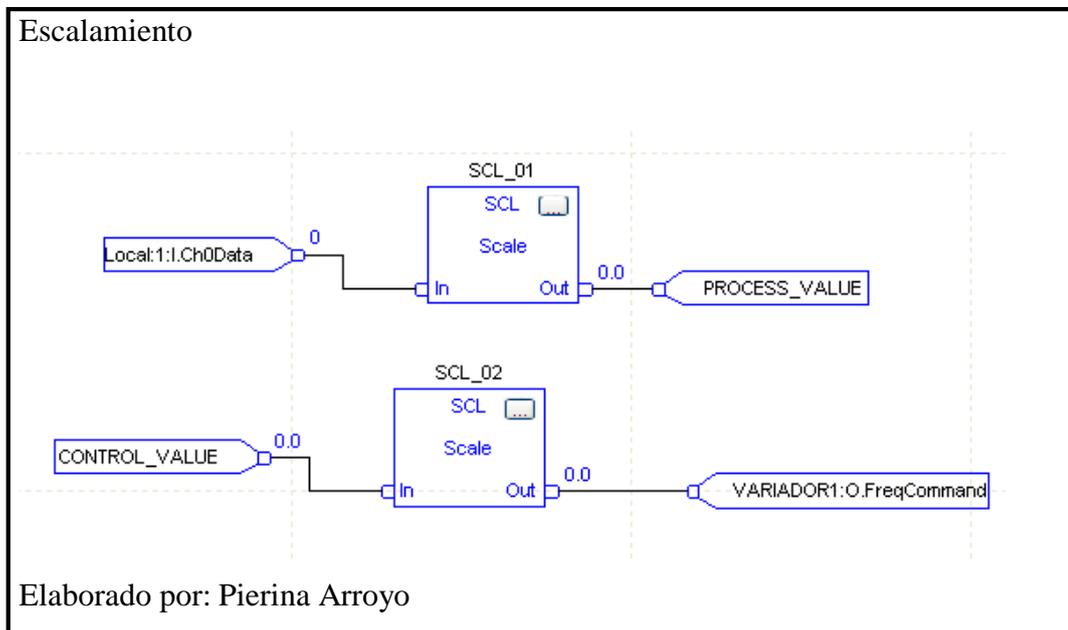
Es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se desea obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral y el derivativo. El valor proporcional determina la reacción del error actual.

El integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero.

El derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. Ajustando estas tres variables en el algoritmo del control PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso. (Visioli, 2011, pág. 98.)

4.6.3 Desarrollo

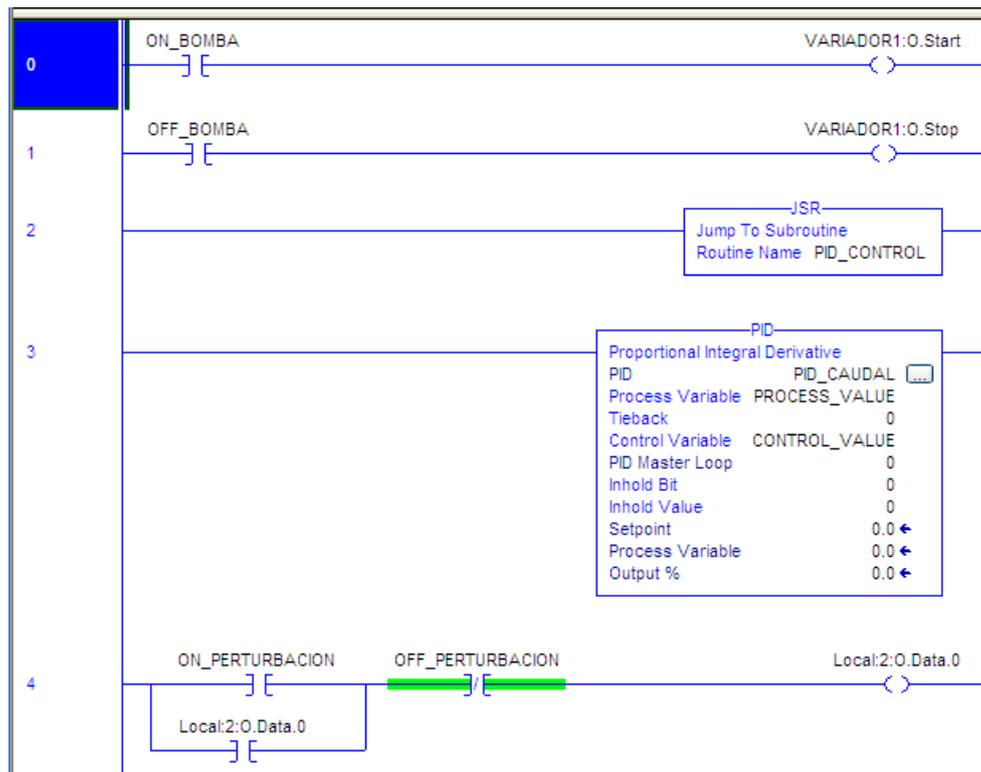
4.6.3.1 Programación en RSLogix5000



Se debe realizar un escalamiento en una subrutina, debido a que en el HMI se necesita visualizar el dato de la variable en unidades de ingeniería, mientras que el dato que muestrea el PLC se encuentra en unidades crudas, por lo tanto en la entrada al bloque de escalamiento SCL_01 se lee el resultado de la conversión análogo-digital del PLC que es un número Real, con las pruebas experimentales se determinó que 0v equivale a 0 en números reales y 3.3v equivale a 11000 en números reales por lo tanto en el bloque SCL_01 se debe especificar que 0 equivale a 0lt/min y que 11000 equivale a 30 lt/min.

En el bloque de función SCL_02 la variable de entrada CONTROL_VALUE aloja una señal de 0% a 100% debido al bloque de función PID que solicita el valor de esta variable en porcentaje y se debe realizar el escalamiento para visualizar en el display del variador de tres cifras con un decimal, éste valor en Hz es decir 0 equivale a 0Hz y 100% equivale a 60.0 Hz.

Programación PID en RSLogix5000



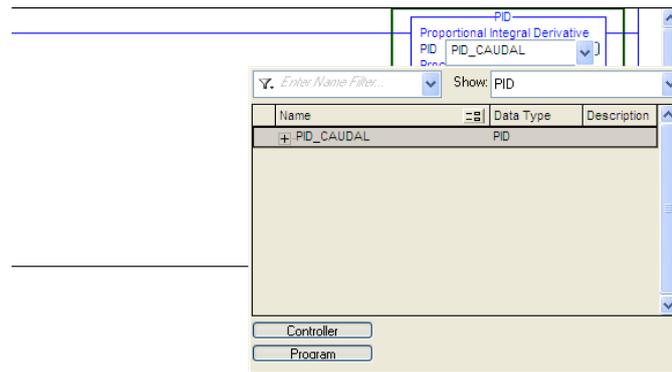
Elaborado por: Pierina Arroyo

Para el bloque de función PID se crea un tag



Una vez creado el tag, se originan automáticamente los tag propios del bloque de función PID

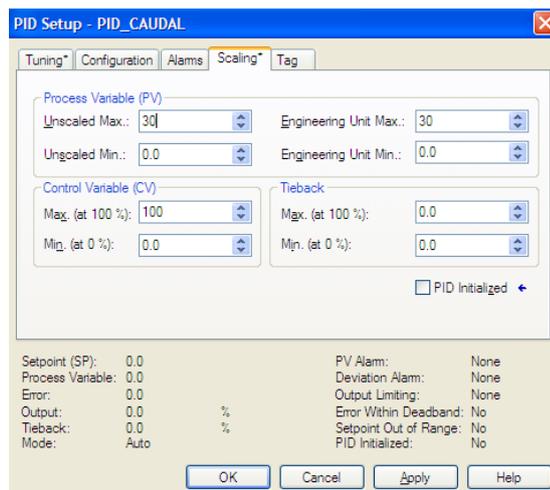
Configuración PID



Fuente: Software RSLogix5000

Se procede a configurar el bloque de funciones PID asignando el rango de valores a las variables.

Configuración PID



Fuente: Software RSLogix5000

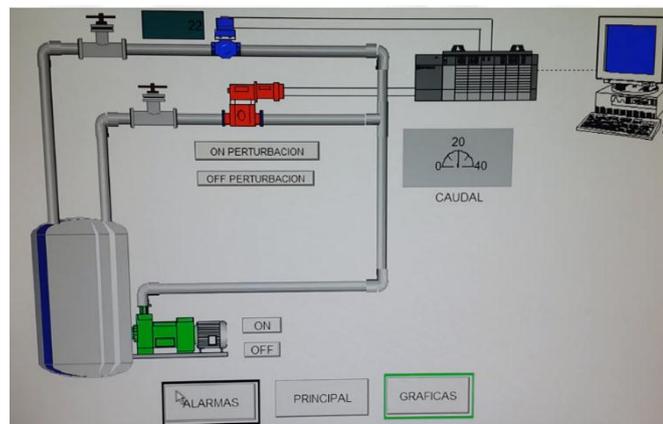
4.7 HMI Concluido

. HMI Concluido



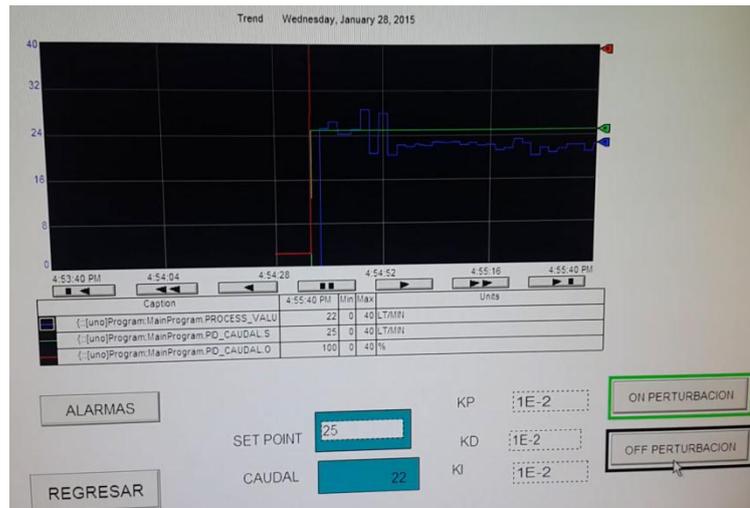
Elaborado por: Pierina Arroyo

HMI Concluido



Elaborado por: Pierina Arroyo

HMI Concluido



Elaborado por: Pierina Arroyo

4.6.4 Conclusiones

- Se comprobó que el sistema PID controla la variable Flujo ante eventualidades como fuga de agua, ya que el sistema cuenta con una tubería que representa la perturbación y al ser activada en la planta el PID compensa la variable.
- El sensor de flujo implementado en la planta tiene poca precisión, por lo que al realizar la práctica en ella, se debe trabajar con un rango de 0-20lt/min ya que fuera de este rango el sensor empieza a mandar datos inestables.

4.6.5 Recomendaciones

En el momento de asignar los tags estos deben ser bien direccionados y estar en conocimiento de la función de cada variable en el proceso al hacerlo.