

**IMPLEMENTACIÓN DE ESQUEMAS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA
BASADOS EN LA VARIACIÓN DE APERTURA DE LA SERVO-VÁLVULA
Y LA VELOCIDAD DE GIRO DE LA BOMBA, PARA EL BANCO DE
CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LIQUIDOS
DEL LABORATORIO DE STAF UIS**

**CARLOS ANDRÉS TÉLLEZ FLÓREZ
GABRIEL AUGUSTO VÁSQUEZ HENAO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2016**

**IMPLEMENTACIÓN DE ESQUEMAS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA
BASADOS EN LA VARIACIÓN DE APERTURA DE LA SERVO-VÁLVULA Y LA
VELOCIDAD DE GIRO DE LA BOMBA, PARA EL BANCO DE
CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LIQUIDOS DEL
LABORATORIO DE STAF UIS**

**CARLOS ANDRÉS TÉLLEZ FLÓREZ
GABRIEL AUGUSTO VÁSQUEZ HENAO**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director:
JAVIER RUGELES PEREZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

*A mi madre, mi padre, mis herma's, y toda mi familia
pues su confianza incondicional me tiene hoy aquí.*

*A mis amigos que siempre han estado en los momentos duros,
en especial a mi compañero y ahora colega
Carlos Andrés Téllez Flórez, por seguir esta pasión por la
ingeniería hasta el final.*

Gabriel Augusto Vásquez Henao

DEDICATORIA

*A Dios por llenarme de sabiduría y entendimiento
durante mi carrera.*

A mis padres por su apoyo y confianza día tras día.

A mi abuela Ana Gilma por su cariño y ternura incondicional.

*A mi compañera de vida Diana Katherynne Sierra Herrera por
su amor, tolerancia y apoyo en las buenas y
malas situaciones.*

*A mi amigo, compañero y colega Gabriel Vásquez Henao por
su colaboración, comprensión y entusiasmo para
culminar éste proyecto.*

Carlos Andrés Téllez Flórez

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER por permitirnos ser parte de su familia universitaria y ayudar a forjar nuestro conocimiento y carácter.

Al Ingeniero Javier Rugeles Pérez por su guía y apoyo en la realización de éste proyecto.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica por su formación académica y profesional; de igual manera a la señora María René por su colaboración hacia nosotros.

A la Señora Martha Isabel Pérez Estupiñán por su atención, apoyo y colaboración, lo cual agradecemos enormemente.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1. OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.1.1 Objetivos Específicos	20
2. BANCO DE CARACTERIZACION DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS	21
2.1 GENERALIDADES	21
2.2 PRACTICAS EXISTENTES	23
2.2.1 Evaluación de pérdidas de energía en tuberías válvulas y accesorios	23
2.2.2 Comportamiento hidráulico de línea de tubería en serie y en paralelo	23
2.2.3 Determinación de curva característica DP vs Q en bombas centrifugas	24
3. MARCO TEORICO	25
3.1 METODOS DE REGULACIÓN	25

3.1.1	Estrangulación por válvula	25
3.1.2	Regulación por variación de velocidad	26
4.	DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FALLAS DEL BANCO	29
5.	IMPLEMENTACIÓN E INTEGRACIÓN DE COMPONENTES	32
5.1	VARIADOR DE VELOCIDAD	32
5.2	SERVO-VÁLVULA	34
5.2.1	Cálculo de características de válvula	34
5.2.2	Selección de válvula	36
5.2.3	Características del fabricante	37
5.3	SENSOR DE CONSUMO DE ENERGIA	38
5.3.1	Sensor de corriente YHDC SCT – 013-010	39
5.3.2	Circuito de conexión e instalación	39
5.3.3	Traducción a potencia eléctrica	40
5.4	PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)	41
6.	INTERFAZ DE OPERACIÓN	43

6.1	TIA PORTAL DE SIEMENS	43
6.2	OPC SERVER	49
6.3	LABVIEW	57
7.	PRACTICAS	69
7.1	CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE BOMBA USANDO REGULACIÓN POR ESTRANGULACIÓN CON ELECTROVÁLVULA	69
7.2	DETERMINACIÓN DE CURVAS EN BOMBAS SEMEJANTES USANDO EL VARIADOR DE VELOCIDAD Y LA SERVO-VÁLVULA	69
7.3	CONTROL DE REGULACIÓN DUAL EN PUNTO DE MAXIMA EFICIENCIA (BEP)	69
8.	CONCLUSIONES	71
	BIBLIOGRAFIA	72
	ANEXOS	73

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Subsistema de impulsión del banco de caracterización.	21
Figura 2	Sistema de transporte con su estructura de soporte	22
Figura 3	Método de regulación de caudal por estrangulamiento.	25
Figura 4	Modificación de la curva del sistema usando estrangulación	26
Figura 5	Modificación de la curva de la bomba usando método de regulación de caudal por variación de velocidad.	27
Figura 6	Configuración de parámetro P0700 de variador de frecuencia	30
Figura 7	Configuración de parámetro P0700 de variador de frecuencia	32
Figura 8	Configuración de parámetro P1000 de variador de frecuencia	33
Figura 9	Conexión de bornes de variador de frecuencia.	34
Figura 10.	Esquema Electroválvula Danfoss EB260B	38
Figura 11	Sensor YHDC SCT-013-010.	39
Figura 12	Circuito de sensor	40
Figura 13	PLC S7-1200 con módulo SM1223.	42
Figura 14	Creación de nuevo proyecto TIA PORTAL.	43
Figura 15	Selección de dispositivo virtual, TIA PORTAL.	44
Figura 16	Cuadro de selección de CPU, TIA PORTAL.	44
Figura 17	Selección de tipo de interfaz, TIA PORTAL	45

Figura 18	PLC virtual con variables especificadas, TIA PORTAL	46
Figura 19	Segmento para el encendido del variador de frecuencia	46
Figura 20	Segmento para el procesamiento de la señal de las RPM del variador de frecuencia.	47
Figura 21	Segmento para el procesamiento de la señal del porcentaje de apertura de la válvula.	47
Figura 22	Segmento para el procesamiento de la señal de la presión a la salida de la bomba.	47
Figura 23	Segmento para el procesamiento de la señal de la presión a la entrada de la bomba.	48
Figura 24	Segmento para el procesamiento de la señal de la presión diferencial de la línea del banco.	48
Figura 25	Segmento para el procesamiento de la señal de caudal total que es suministrado.	48
Figura 26	Segmento para el procesamiento de la señal del sensor de corriente instalado en la línea del motor trifásico para el cálculo de potencia.	49
Figura 27	Creación de nuevo canal, NI OPC	50
Figura 28	Selección de driver de dispositivo, NI OPC.	51
Figura 29	Creación de nuevo dispositivo, NI OPC.	52
Figura 30	Selección de modelo de dispositivo, NI OPC.	53
Figura 31	Revisión de IP, TIA PORTAL	54
Figura 32	Introducción de IP, NI OPC.	54
Figura 33	Propiedades de etiqueta (Tag), NI OPC.	55
Figura 34	Propiedades de etiqueta (Tag), NI OPC.	56
Figura 35	Variables creadas, NI OPC Server	57
Figura 36	Nuevo proyecto, LABVIEW.	58

Figura 37	Nuevo I/O Server, LABVIEW.	59
Figura 38	Selección de tipo de server, LABVIEW.	59
Figura 39	Configuración de server, LABVIEW.	60
Figura 40	Crear conjunto de variables, LABVIEW.	61
Figura 41	Importar variables de OPC, LABVIEW.	61
Figura 42	Variables, LABVIEW.	62
Figura 43	Presentación de interfaz SCADA.	63
Figura 44	Interfaz de regulación por electroválvula.	64
Figura 45	Interfaz de regulación por variador de frecuencia	64
Figura 46	Interfaz de regulación dual en BEP y menor costo.	65
Figura 47	Diagrama de bloques escalado y conversión de variables.	65
Figura 48	Diagrama de bloques de cálculo de perdidas en línea.	66
Figura 49	Diagrama de bloques regulación por válvula.	67
Figura 50	Diagrama de bloques regulación por variador.	68
Figura 51	Diagrama de bloques regulación automática.	68

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Límite superior e inferior de rango de manómetros.	31
Tabla 2	Propiedades del agua en el rango de operación.	35
Tabla 3	Comparativa de válvulas disponibles en el mercado.	37
Tabla 4	Voltaje del sensor vs. Consumo de corriente	40

LISTA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo A	Guía de prácticas para estudiantes	73
Anexo B	Manual de mantenimiento	79
Anexo C	Manual de reubicación	83

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACION DE ESQUEMAS DE REGULACION AUTOMATICA BASADOS EN LA VARIACION DE APERTURA DE LA SERVO-VALVULA Y LA VELOCIDAD DE GIRO DE LA BOMBA, PARA EL BANCO DE CARACTERIZACION DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LIQUIDOS DEL LABORATORIO DE STAF UIS*

AUTORES: CARLOS ANDRÉS TELLEZ FLOREZ
GABRIEL AUGUSTO VÁSQUEZ HENAO**

PALABRAS CLAVE: Práctica, Laboratorio, Regulación, Electroválvula, Variador, Frecuencia, Regulación Combinada, BEP, Punto de máxima Eficiencia, SCADA, Interfaz, PLC, Bomba, Centrifuga, Sensor, Corriente, Presión, Caudal.

DESCRIPCION: El banco de pruebas para la caracterización de transporte de fluidos del laboratorio de sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos de la Universidad Industrial de Santander, permite a los estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica realizar prácticas que incluyan equipos de bombeo y análisis de pérdidas en distintas líneas de transporte.

En este proyecto se desarrolla el proceso de implementación de sistemas de regulación de caudal a partir de válvula de estrangulamiento con actuador remoto, ó electroválvula; por variador de frecuencia, que se traduce en el cambio de velocidad de giro de la bomba, y mediante la combinación de éstas dos, que llamamos regulación dual, para lograr mantener la bomba en el punto de operación correspondiente al punto de máxima eficiencia ó BEP. Todo esto mediante una interfaz, hecha en LabVIEW, de tipo SCADA.

Para la implementación e integración de los sistemas de regulación se seleccionó e instaló una electroválvula proporcional en la línea principal del sistema, se reconfiguro el variador de frecuencia para su accionamiento remoto, se incorporó un sensor de corriente para el cálculo de potencia y eficiencia; y finalmente todos los componentes se conectaron a los puertos de entrada y salida de un PLC Siemens S7-1200 según correspondiera, para usarlo como un sistema de alimentación, adquisición de datos y de envío de señal de control a los actuadores.

La interfaz diseñada para la práctica consta de cuatro pestañas, una de presentación del banco, y las siguientes repartidas para regulación por electroválvula, por variador y regulación dual, respectivamente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Javier Rugeles Pérez

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS BASED ON CHANGING SERVOVALVE APERTURE AND ROTATIONAL PUMP SPEED FOR THE INSTALLATION FOR TESTS OF CHARACTERIZATION OF FLUID TRANSPORT OF THE FLUID TRANSPORT SYSTEM LABORATORY, UIS *

AUTHORS: CARLOS ANDRÉS TELLEZ FLOREZ
GABRIEL AUGUSTO VÁSQUEZ HENAO**

KEY WORDS: Test, Laboratory, Regulation, electrovalve, Variable-frequency Drive, Dual Regulation, BEP, Best Efficient Point, SCADA, Interface, PLC, Centrifugal Pump, Sensor, Current, Pressure, Flow.

DESCRIPTION: The installation for tests of characterization of fluid transport of the fluid transport system laboratory, of the Industrial University of Santander, let the students of the mechanic engineering school do experiments that include pumping equipment and losses analysis in different transport tube lines.

This project will develop the implementation process of the flow regulation system based on valve constriction remotely activated, or electrovalve; variable-frequency drive, which result into a change of the pump rotational speed; and through the combination of both, that it will be called dual regulation, to achieve operate the pump in the best efficient point or BEP. All of this through an interface, built with LabVIEW, SCADA type.

For implementation and integration of regulation systems it had been selected and installed a proportional electrovalve at the system mean tube line, it had been reconfigured the variable-frequency drive for its remotely control, it had been included a current sensor to calculate power and efficiency; and finally every single component was connected to the in/out ports of a S7-1200 Siemens PLC as it correspond, to use it as a supply, acquisition and actuator control signal management system.

The interface designed for the experiment consist in four tabs, the presentation one, and the others distributed for electrovalve regulation, variable-frequency drive regulation, and dual regulation.

* Degree Work

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Javier Rugeles Pérez

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los laboratorios para ingeniería corresponden a acercamientos a la realidad mediante experiencias prácticas; siendo el principal objetivo evidenciar los modelos y fórmulas que gobiernan un fenómeno en situaciones reales.

Ante la importancia de tener los bancos disponibles en el laboratorio en un óptimo punto de operación para brindar al estudiante una experiencia de calidad en sus prácticas de aprendizaje, un grupo de estudiantes de ingeniería mecánica de la UIS, dirigidos por un docente de la misma escuela se han dado a la tarea de seleccionar e instalar una servo-válvula, re cablear y configurar el variador de velocidad e incluir un sensor de corriente en el banco de caracterización de sistemas de transporte de líquidos del laboratorio de STAF UIS, con el fin de implementar sistemas de regulación basados en estos, y así mismo llevarlos a una interfaz de computador de manera que sea automatizado.

Para tal cometido se necesitaría revisar la funcionalidad general del banco particularmente los equipos de bombeo, la integridad del montaje de tuberías y la exactitud y precisión de los equipos de medición. De esta manera se logrará una sinergia de los equipos existentes y nuevos para lograr poner el banco en su punto de máximo desempeño y habilitarlo al servicio de la comunidad estudiantil.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL.

Contribuir con la misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica en la formación práctica del estudiante con alta calidad profesional, ampliando el rango de experiencias académicas disponibles en el campo hidráulico, mediante la selección e instalación de una servo-válvula para el banco de caracterización de sistemas de transporte de líquidos del laboratorio de STAF UIS.

1.1.1 Objetivos Específicos.

- Inspeccionar el estado actual tanto físico como operativo del banco ubicado en el laboratorio de STAF, detectando fallas y corrigiéndolas.
- Seleccionar una servo-válvula de acuerdo a los rangos de caudal, presión y RPM dentro de los que funcionan los componentes del banco de caracterización de sistemas de transporte de líquidos.
- Instalar la servo-válvula seleccionada, acoplándola al sistema para que trabaje en conjunto con los demás subsistemas de control ya existentes en el banco.
- Programar la interfaz de control para analizar tres diferentes esquemas de regulación mediante la manipulación del porcentaje de apertura de la válvula, las RPM de la bomba o la combinación de las dos anteriores.
- Capacitar de forma documentada a los estudiantes encargados del laboratorio en el modo de operación, nuevas funciones y correcto uso del banco.
- Actualizar el manual de operación y las guías de metodología de la práctica del banco, para que éste pueda ser usado por los estudiantes que cursen la materia de laboratorio de sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos.

2. BANCO DE CARACTERIZACION DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

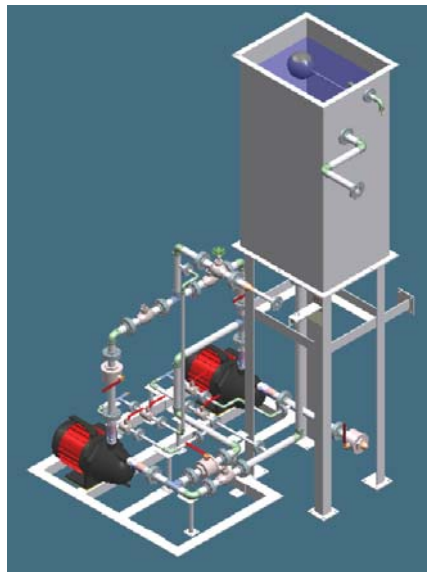
2.1 GENERALIDADES

El proyecto se desarrollará sobre el banco de caracterización de transporte de líquidos del laboratorio de sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos; El cual consta de los siguientes subsistemas:

Subsistema de impulsión: Comprendido por dos bombas rotodinámicas (centrifugas) de marca Ecojet, dispuestas de manera que mediante el cierre y apertura de algunas válvulas se pueden usar juntas, acopladas en serie o en paralelo.

La bomba numero uno funciona con un motor de fábrica, monofásico; mientras que la bomba numero dos funciona con un motor marca Siemens, trifásico, de 1hp, conectados entre sí mediante un acople mecánico tipo araña.

FIGURA 1. Subsistema de impulsión del banco de caracterización.

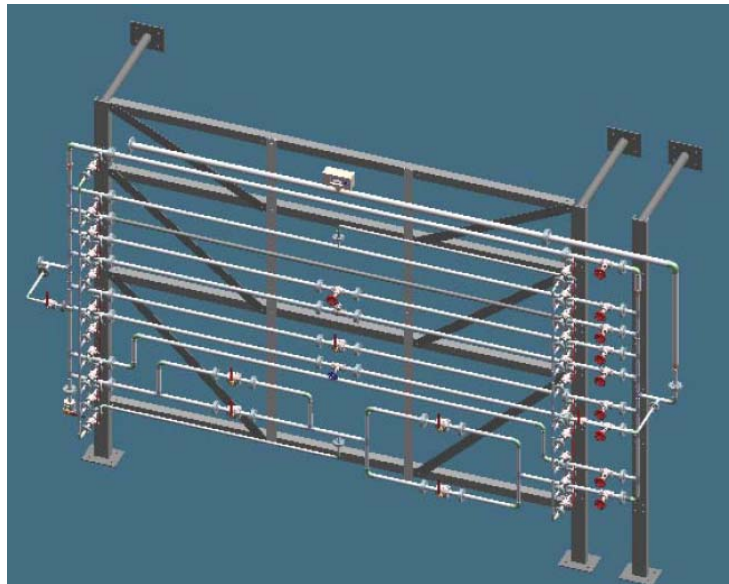


Fuente: Sanabria Guauque, Cesar; Sánchez, Ricardo. Diseño de un banco de pruebas para la evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos.

Subsistema de transporte: Comprende una red de tuberías que en la primera etapa conectan el tanque de suministro con las bombas y permiten su acople en serie o paralelo. La siguiente etapa comprende 9 líneas de tubería cada una de diferente diámetro, material y accesorios. Finalmente, una tubería recoge todas las líneas y lleva el fluido de regreso al tanque.

Cada tramo está acompañado de sus respectivas válvulas para activar o desactivar el paso de flujo, así como tuberías de servicio para sensado de presión.

FIGURA 2. Sistema de transporte con su estructura de soporte.



Fuente: Sanabria Guaque, Cesar; Sánchez, Ricardo. Diseño de un banco de pruebas para la evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos.

Subsistema de sensado: Este comprende básicamente 3 transductores de presión (manómetros) ubicados para medir la presión del fluido en la succión, en la descarga, y el diferencial de la subdivisión de las 9 líneas.

También se cuenta con un sensor de caudal en la línea principal. Cada sensor se encuentra alimentado y envía dato a la caja de instalación electrónica.

Subsistema eléctrico y electrónico: Espacialmente ubicado a un costado sobre la pared en una caja segura, consta de un sistema de alimentación de corriente tanto alterna como continua para los equipos del banco; también debemos contar con un PLC Siemens que funciona como distribuidor de alimentación para la corriente continua y como adquiridor de datos de sensores.

Finalmente, en la caja también encontramos un variador de frecuencia que hasta este momento funciona manualmente y desligado del resto de sistemas.

2.2 PRACTICAS EXISTENTES

Estas están completamente estructuradas en la documentación del laboratorio y en los proyectos de grado que hasta ahora han dado forma al banco; Las siguientes son un resumen de cada una de ellas:

2.2.1 Evaluación de pérdidas de energía en tuberías, válvulas y accesorios.

Dividido a su vez en 3 categorías; el estudio de pérdidas de energía en tuberías, estudio de pérdida de energías en válvulas y estudio de pérdida de energía en accesorios. En cada ítem se caracteriza la pieza según su coeficiente de fricción o de flujo según el caso; y también se deben tener en cuenta el caudal o número de Reynolds del fluido, la presión, la longitud y el diámetro de tuberías.

2.2.2 Comportamiento hidráulico de línea de tubería en serie y en paralelo.

Este módulo consta de 2 pruebas, en las cuales se estudia cada tipo de configuración de tuberías (serie y paralelo). En la primera de estas, se tratan en una sola prueba los procedimientos experimentales para tuberías en serie de distintos diámetros y material. Para tuberías en paralelo se pueden estudiar hasta 25 opciones de líneas en paralelo, y se incluye el análisis de curvas D_p vs. Q .

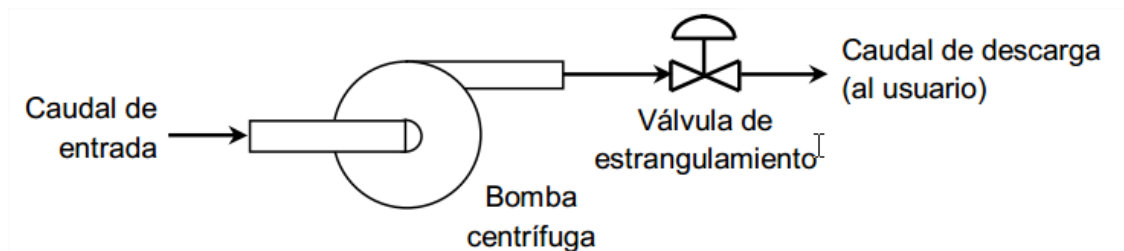
2.2.3 Determinación de curva característica DP vs Q en bombas centrifugas. Se pueden hacer 3 tipos de pruebas de determinación de curvas de bomba; individual, en serie y en paralelo. Tan solo ajustando algunas válvulas para la configuración deseada y mediante la estrangulación manual de una válvula de paso se va variando el caudal que pasa por el sistema.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 METODOS DE REGULACIÓN

3.1.1 Estrangulación por válvula. En presencia de máquinas sobredimensionadas o durante la operación de equipos de bombeo que operan a flujo variable, el ingeniero se ve en la necesidad de reducir el flujo de trabajo de la máquina. Estrangular un fluido mediante válvula en la descarga del sistema de tubería reduce el flujo de operación Q_{op} , incrementado los valores de la carga dinámica (Energía en pérdidas). El consumo de potencia se reduce, pero se incrementa la potencia gastada en pérdida.

Figura 3. Método de regulación de caudal por estrangulamiento.

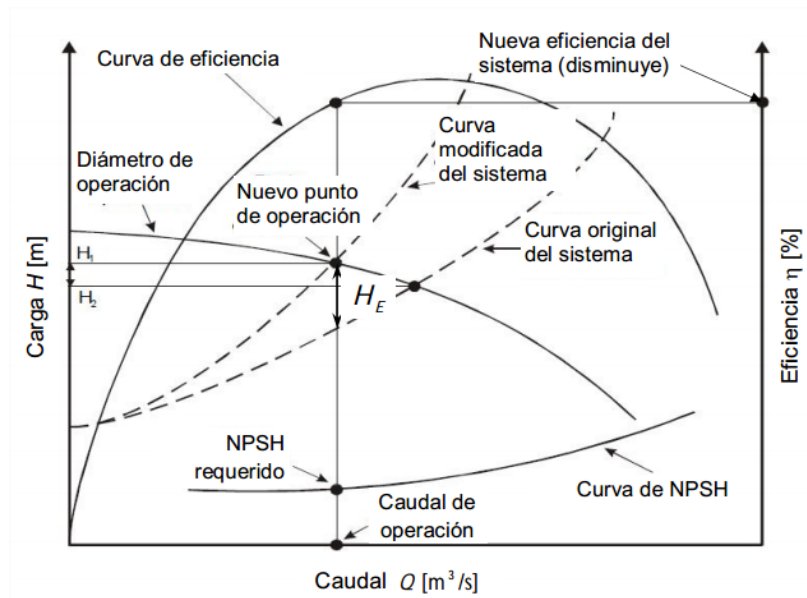


Fuente: Rey Soto, Carlos. Métodos de regulación de caudal en bombas centrífugas.

Limitaciones energéticas del método de regulación por estrangulamiento:

- Solamente permite reducir el flujo, si existiera necesidad de un flujo mayor se requiere de otro método.
- Aunque la potencia realmente consumida es menor y se paga menos, la cantidad de energía usada de forma útil es menor y se derrocha energía, que otro método permite usar de forma más racional.

Figura 4. Modificación de la curva del sistema usando estrangulación.



Fuente: Rey Soto, Carlos. Métodos de regulación de caudal en bombas centrífugas.

3.1.2 Regulación del caudal por variación de velocidad. Ante la necesidad de regular el caudal dado a un proceso o en presencia de un sobredimensionamiento de la máquina, una opción es la regulación por variación de la velocidad de rotación de la máquina.

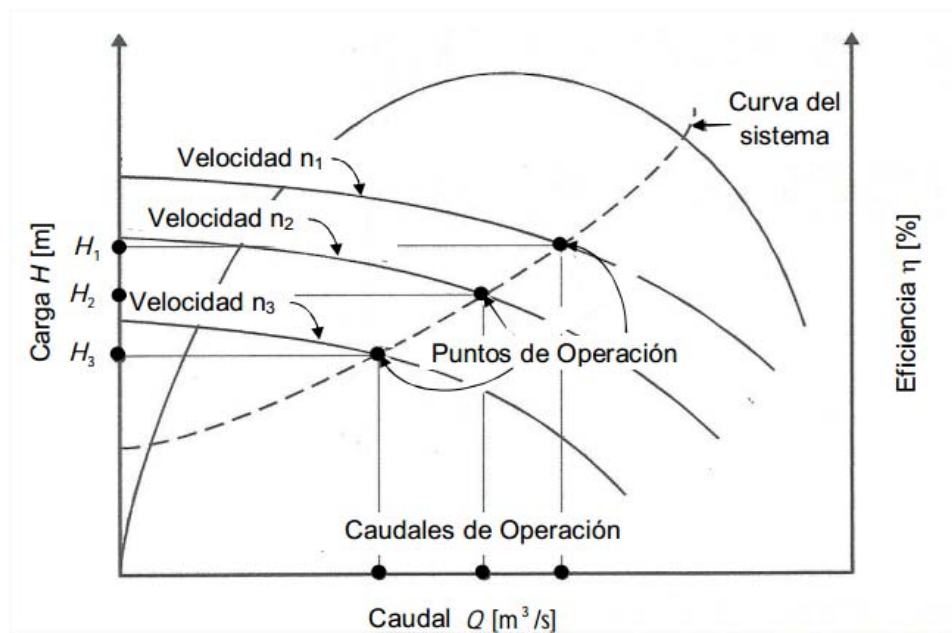
Hasta hace pocos años la regulación por variación de las RPM estaba limitada a máquinas de gran capacidad donde económicamente se justificaba la colocación de:

- Variadores mecánicos de velocidad.
- Embragues hidráulicos.
- Motores eléctricos de velocidad escalonada.

En todos estos casos el costo del sistema de variación de la velocidad resultaba excesivo y solo se justificaba en los casos de regulación considerable de la capacidad o flujo del proceso en máquinas de gran potencia.

En la actualidad el uso de los variadores de frecuencia permite el uso de este método por variación de la velocidad de rotación de la máquina. Al hacer funcionar la bomba a una nueva velocidad de rotación se obtiene un nuevo punto de operación por lo que se generan nuevos valores de carga, potencia, rendimiento, eficiencia y (NPSH)r.

Figura 5. Modificación de la curva de la bomba usando método de regulación de caudal por variación de velocidad.



Fuente: Rey Soto, Carlos. Métodos de regulación de caudal en bombas centrifugas.

Criterios técnicos y energéticos del método de regulación de la capacidad por variación de la frecuencia de rotación de la máquina.

- El cambio del punto de operación por la variación de la frecuencia tiene lugar a lo largo de la curva del sistema de tubería, lo cual garantiza que no ocurrirá un incremento en las pérdidas debido a la regulación.
- Al reducir las revoluciones se reduce la demanda de potencia lo cual resulta energéticamente conveniente.
- Este método de regulación a diferencia del método por estrangulamiento permite tanto reducir como incrementar el flujo durante la regulación, lo cual constituye una gran ventaja para la operación a cargas variables.
- El control de velocidad es el medio más eficaz para modificar las características de una bomba sujeta a condiciones de funcionamiento variables.

4. DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FALLAS DEL BANCO

El banco caracterización de sistemas de transporte se encuentra activo desde el año 2009 y desde el 2013 no recibía modificaciones relevantes; por tanto, para que la implementación de nuevos dispositivos sea satisfactoria se hizo una inspección completa para eliminar cualquier posible daño o fuente de error.

- Sonido en la Bomba N°2: Ubicado en el ensamble de motor trifásico siemens y bomba ECOJET. Se presumen problemas en los componentes internos y des alineamiento de ejes. Finalmente se procede al desmonte de la bomba y se repara una grieta en el impulsor con un material polimérico de tenacidad suficiente para las condiciones de trabajo; También se diseñó un nuevo soporte para el conjunto bomba motor, que asegurara mejor alineación de ejes.
- Disparo del relé térmico en periodos largos. Se revisaron las condiciones de trabajo del motor y sus límites, así como la temperatura programada del relé, pero finalmente la causa es que el disipador del motor no aporta lo suficiente a frecuencias muy bajas y permite la acumulación de calor, por lo que se recomienda el uso de un disipador externo o periodos razonables(< 35min) a bajas velocidades.
- No medición de caudal a bajas velocidades. La causa se atribuyó a configuración inadecuada del caudalímetro; por lo que se procedió a modificar los parámetros, para una correcta medición, a los siguientes valores:
 - $K= 159$ Para GPM o 42 para LPM. Dado por la tubería del montaje.
 - $P=$ --No necesario--
 - $20= 12$ GPM o 42 LPM; Dado por el máximo caudal de línea.

- Manómetros marcaban presiones por debajo del límite de 4 mA. El paso a seguir fue proceder a la calibración y configuración del rango de medida y su correspondiente valor de señal en mA siguiendo el procedimiento estipulado en el manual de usuario

Para esto se utilizó la máquina de calibración de transductores de presión del laboratorio de fluidos en la que mediante la aplicación de pesos sobre un pistón hidráulico, y conociendo su diámetro se podía aplicar una presión conocida al manómetro y así calibrar su máximo y mínimo de medida.

Figura 6. Máquina de calibración de transductores de presión



Finalmente el resultado fue:

Tabla 1. Límite superior e inferior de rango de manómetros.

Sensor	Límite inferior: 4mA	Límite superior: 20mA
Manómetro #1	0 Bar	8 Bar
Manómetro #2	0 Bar	2 Bar
Manómetro #3	0 Bar	1 Bar

- Se presentaban algunas fugas en ciertos puntos del banco. Para resolverlo se procedió a desmontar tales tramos y aplicar capas de teflón a las uniones roscadas correspondientes.

Cada una de las irregularidades fue corregida y de esta manera queda listo el banco para recibir su actualización.

5. IMPLEMENTACIÓN E INTEGRACIÓN DE COMPONENTES

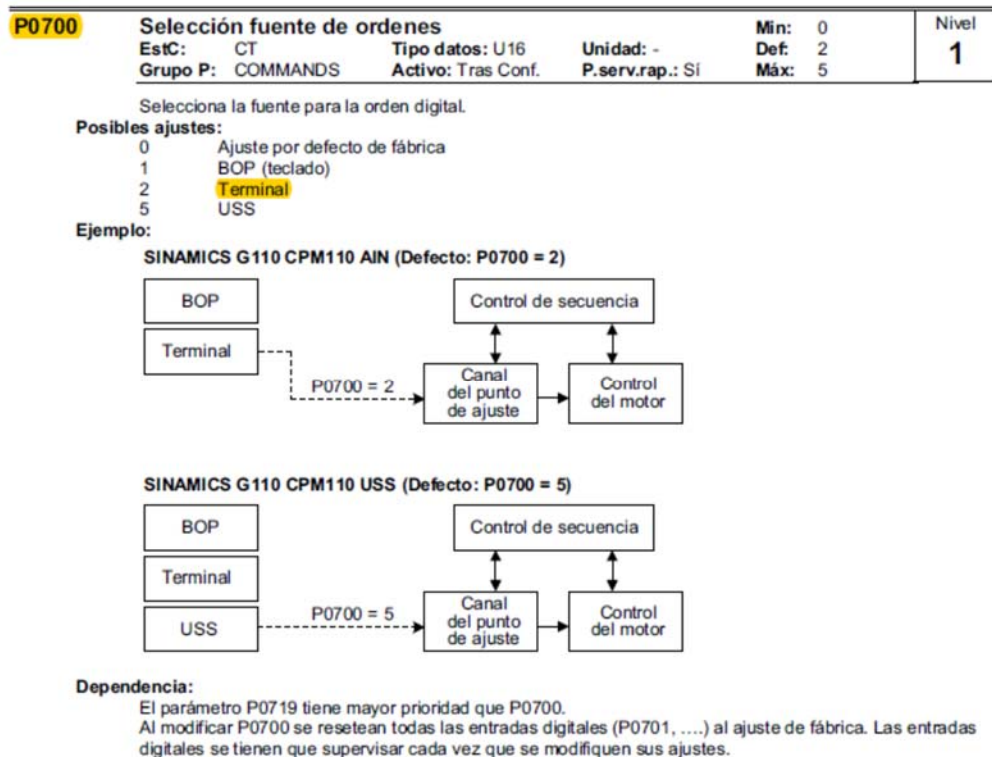
5.1 VARIADOR DE VELOCIDAD

Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

El variador de éste banco es un Sinamics G110 y está configurado para trabajar con un motor siemens trifásico de 1 hp de potencia.

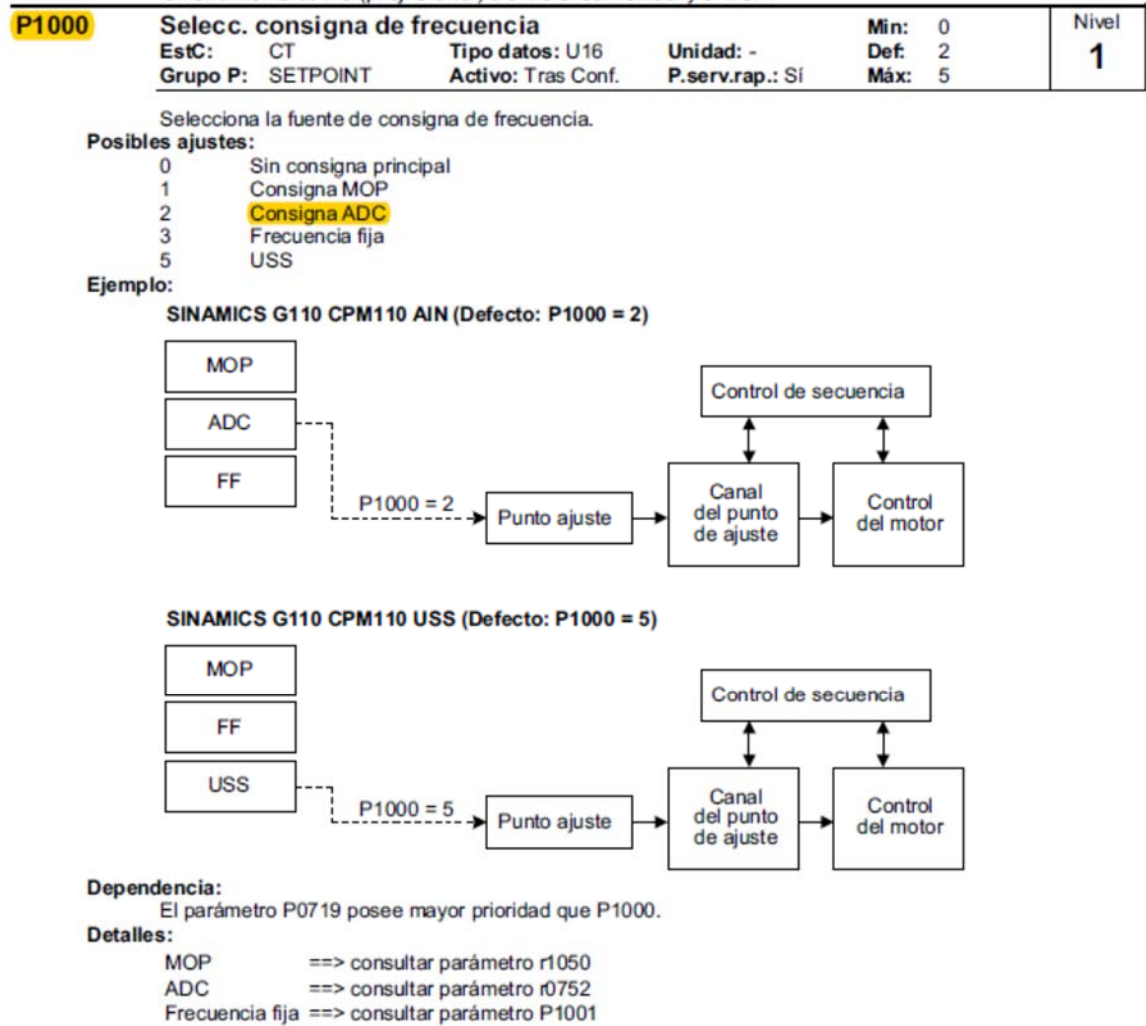
Para el objetivo de controlar remotamente el variador e incluir sus datos de operación en el control en tiempo real de todo el sistema, es necesario configurar su modo de uso por medio de bornes; de la siguiente manera:

Figura 7. Configuración de parámetro P0700 de variador de frecuencia



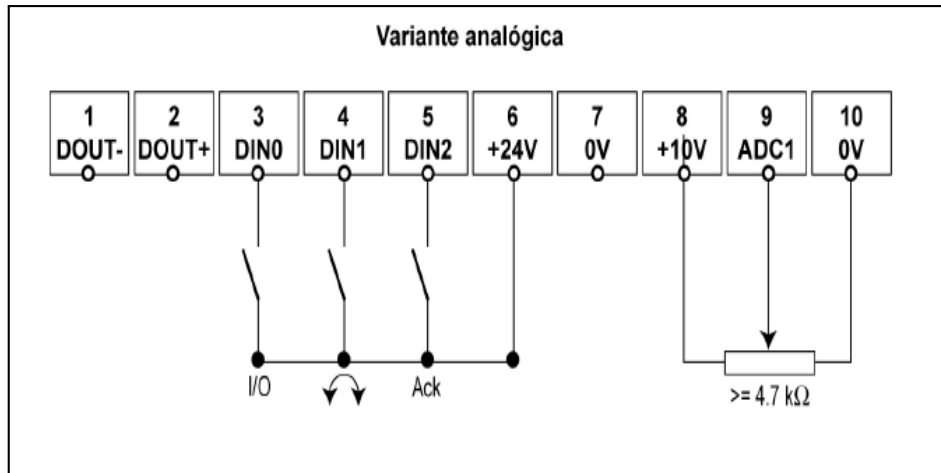
Y para ajustar la velocidad de frecuencia:

Figura 8. Configuración de parámetro P1000 de variador de frecuencia



La conexión de los bornes de control del variador al PLC irá así: El borne 3 siendo el de entrada booleana on/off deberá ir a la salida digital DQ1 del PLC, y los bornes 8 y 9 siendo el diferencial de voltaje de 0 a 10v que controlará la frecuencia de giro deberá ir a la salida analógica AQ0 del PLC.

Figura 9. Conexión de bornes de variador de frecuencia.



Fuente: Sinamics G110 Instrucciones de uso. SIEMENS

5.2 SERVO - VÁLVULA

Para implementar un sistema de regulación por estrangulamiento controlado remotamente y lograr recopilar en tiempo real datos de caudal en función de su porcentaje de apertura, vemos como recurso sustituir la válvula de globo de regulación manual, por una servo-válvula o una electro-válvula proporcional.

5.2.1 Calculo de características de válvula. El cálculo para la selección se hace con base en el manual de válvulas de control de Gerencia de procesos Emerson de Fisher, capítulo 5: Calculo de tamaño de Válvula:

En primera instancia se delimitan las condiciones de operación a las que se someterá la válvula.

- Tipo de fluido: Agua de línea del acueducto.
- Temperatura: 15 – 30 °c

Tabla 2. Propiedades del agua en el rango de operación.

°C	Peso específico kN/m ³	Densidad Kg/m ³	Modulo de elasticidad kN/m ²	Viscosidad dinámica N ·s/m ²	Viscosidad cinemática m ² /s	Presión de vapor kN/m ²
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	4,24

- Caudal máximo: Dado por el máximo teórico de las 2 bombas Ecojet 130, sumando un caudal máximo de 42GPM.
- Presión de válvula máxima: Dada por las presiones de shutoff de las dos bombas ecojet130, sumando 140psi o 9,6 Bar.
- Ruido: Por las proporciones de caudal y presión manejados no son una característica crítica para el sistema, sin embargo se puede asumir un límite de 50db de ruido en el funcionamiento.
- Diámetro in/out y cedula: 1" o ½", cedula 40. Independientemente de la elección deben tener igual diámetro la entrada y la salida.
- Material: Independiente mientras soporte el fluido, su temperatura, la temperatura de operación y la presión dada.
- Conexiones de válvula: Roscado NTP tipo hembra.
- Señal de control: De 4 a 20 mA ya que esta es por definición la corriente de control que permite las salidas del PLC.

- Delimitación del Cv:






Basado en la ecuación de pérdidas en válvula:

$$Q = C_v \cdot \sqrt{D_p}$$

- Q=142 caudal máximo esperado en el sistema.
- DP=0.1bar, perdida promedio en accesorios de línea;
Cv max: 132.8gpm/bar = 9.156 gpm/psi
- Q=10 caudal esperado en el BEP a max rpm.
- DP=2.45bar Perdida máxima para no superar el BEP;
Cv min: 6.455gpm/bar = 0.445 gpm/psi

5.2.2 Selección de Válvula. Basados en la oferta disponible en el mercado, en los cálculos realizados, y en las cotizaciones solicitadas, se llegó al siguiente cuadro comparativo de válvulas que cumplen con las características requeridas:

Tabla 3. Comparativa de válvulas disponibles en el mercado.

Válvula	Control Prop.	Q max	P max	Cv 100%	Marca y comercializadora	Garantía	Precio*
EV260B 3/4" 	Si	12.7 m ³ /h	15 Bar	5	Danfoss – Acincol.	12 meses	2.200.000
EV260B 1/2" 	Si	12.7 m ³ /h	15 Bar	2.1	Danfoss – Setefer.	12 meses	1.600.000
EV260B 1/2" 	Si	12.7 m ³ /h	15 Bar	2.1	Danfoss – Valveco.	12 meses	1.800.000
SET-REF 17 1/2" 	Si	10 m ³ /h	10 Bar	6.3	ChinaValves – Setefer.	6 meses	1.045.000
MARK 37 SERIES 3/4" 	Si	High Flow version	10.3 Bar	4.4	JordanValves – Ivertec.	24 meses	7.422.000

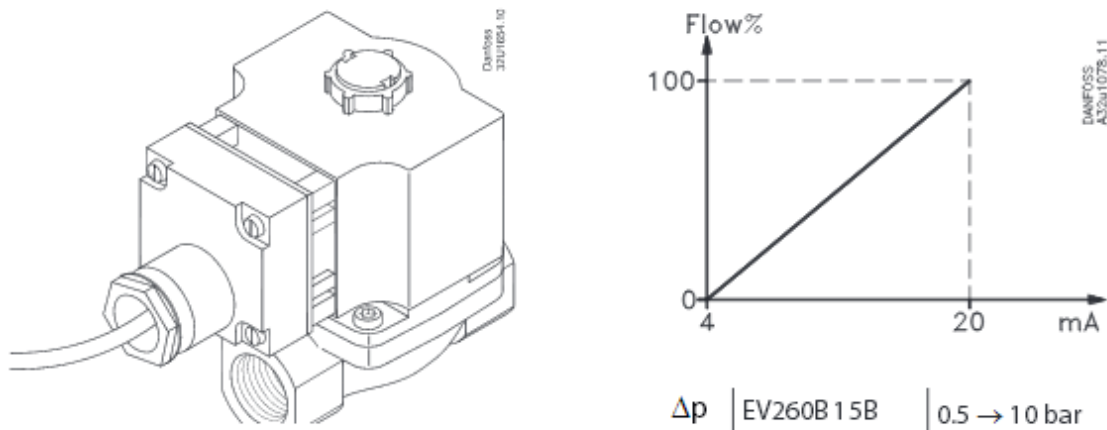
La Válvula seleccionada haciendo el balance cualitativo y cuantitativo de prestaciones versus precios fue la *DANFOSS EV260B 1/2"*.

5.2.3 Características del fabricante. La gama EV260B se compone de válvulas solenoides servo accionadas de 2 vías con función de modulación proporcional y conexiones de tamaños comprendidos entre 1/4" y 3/4".

Mediante la regulación continua de la corriente de la bobina, es posible situar la armadura en cualquier posición del tubo de la armadura y, de este modo, ajustar la bobina entre las posiciones de cierre completo y apertura completa.

La válvula se abre totalmente cuando la corriente de la bobina alcanza su máximo valor. Y posee un funcionamiento de tipo lineal.

Figura 10. Esquema Electroválvula Danfoss EB260B



Fuente: Manual de instrucciones DANFOSS, Proportional solenoid valve, type EV260B.

5.3 SENSOR DE CONSUMO DE ENERGIA

Con el objetivo de dotar al banco de las herramientas para que el estudiante que tome las prácticas en él, evidencie la diferencia entre los métodos de regulación basados en la eficiencia del consumo se hace necesaria incluir en el banco un sensor de consumo energético para el motor trifásico.

Para la selección del sensor se tienen en cuenta los siguientes parámetros de la línea eléctrica:

- Tipo de corriente que se va a registrar: Corriente alterna.
- Pico máximo de corriente para una línea trifásica (R, S o T): 4 Amp
- Señal de datos aceptada por el PLC: 0-10v ó 4-20mA

5.3.1 Sensor de corriente YHDC SCT-013-010. De las ofertas en el mercado y en busca de un sensor compacto, fiable y de buen rendimiento se selecciona el YHDC SCT-013-010.

Figura 11. Sensor YHDC SCT-013-010.



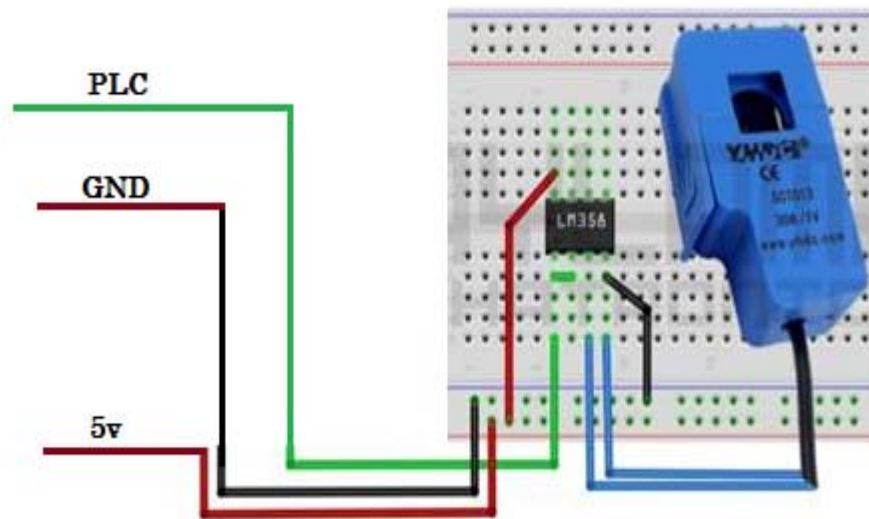
Este es un sensor de corriente de núcleo dividido lo que permite su fácil instalación alrededor de cualquier línea, es un tipo de sensor de efecto hall de máximo 10 amperes de medida; Y su señal de salida va de 0 a 1v; sin embargo esta se puede incrementar un poco con un amplificador.

5.3.2 Circuito de conexión e instalación. Se uso un reductor de voltaje lm7805 de 24 a 5v para alimentar el sensor con la fuente del PLC; también se incluyeron un par de capacitancias de 10 y 1 uF. para mantener el voltaje constante.

El sensor divide sus terminales en alimentación y señal, no sin antes pasar por un chip LM256 que funciona como amplificador.

El circuito desde los bornes de sensado hasta el PLC va así:

Figura 12. Circuito de sensor.



5.3.3 Traducción a potencia eléctrica. Primero debemos confirmar el rango de medida que tenemos en el sensor, por lo que verificamos la medida con un dispositivo de medición testigo (Pinza amperimétrica).

Tabla 4. Voltaje del sensor vs. Consumo de corriente

Amperios	3.6	4.6	4.7	5.7	5.8	5.9	6
Volt en sensor	0.08	0.5	0.88	1.1	1.22	1.28	1.3

Y a partir de estos datos generamos una la función de medida de corriente: Corriente = $1.8113 \cdot \text{Volt} + 3.5691$

La potencia eléctrica consumida por el motor la hallaremos tomando la medida de corriente y multiplicando por el correspondiente voltaje, factor de potencia, eficiencia y por la raíz de 3, dado que es una de las ramas de la alimentación trifásica:

$$\text{Pot}_e = I \cdot V \cdot \text{FP} \cdot \text{eff} \cdot \sqrt{3}$$

5.4 PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

El PLC es un dispositivo, diseñado para controlar procesos secuenciales que se ejecutan en un ambiente industrial. Es por esto que es tan importante su incorporación en las experiencias de laboratorio de los estudiantes de ingeniería. Como se puede deducir de la definición, el PLC es un sistema, porque contiene todo lo necesario para operar, y es industrial, por tener todos los registros necesarios para operar en los ambientes hostiles que se encuentran en la industria.

Un PLC realiza, principalmente, las siguientes funciones:

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios pre-programados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

Los PLC se distinguen de otros controladores automáticos, en que pueden ser programados para controlar cualquier tipo de máquina. Es posible modificar las instrucciones almacenadas en memoria, además de monitorearlas.

Un PLC modular se compone de un conjunto de elementos que conforman el controlador final. Estos son:

- El Rack
- La fuente de alimentación
- La CPU
- Los módulos de entrada y salida

En nuestro caso particular se cuenta con un PLC Siemens S7-1200 con su respectiva fuente y un módulo extra de entradas y salidas.

Como sabemos todos los equipos controlados remotamente (servo-Válvula y variador de frecuencia) recibirán la señal del PLC y los dispositivos de medición (caudalímetro, manómetros y sensor de corriente), enviarán sus datos a éste.

Figura 13. PLC S7-1200 con módulo SM1223.



Fuente: Elec2.es. Simatic s7-1200.jpeg

6. INTERFAZ DE OPERACIÓN

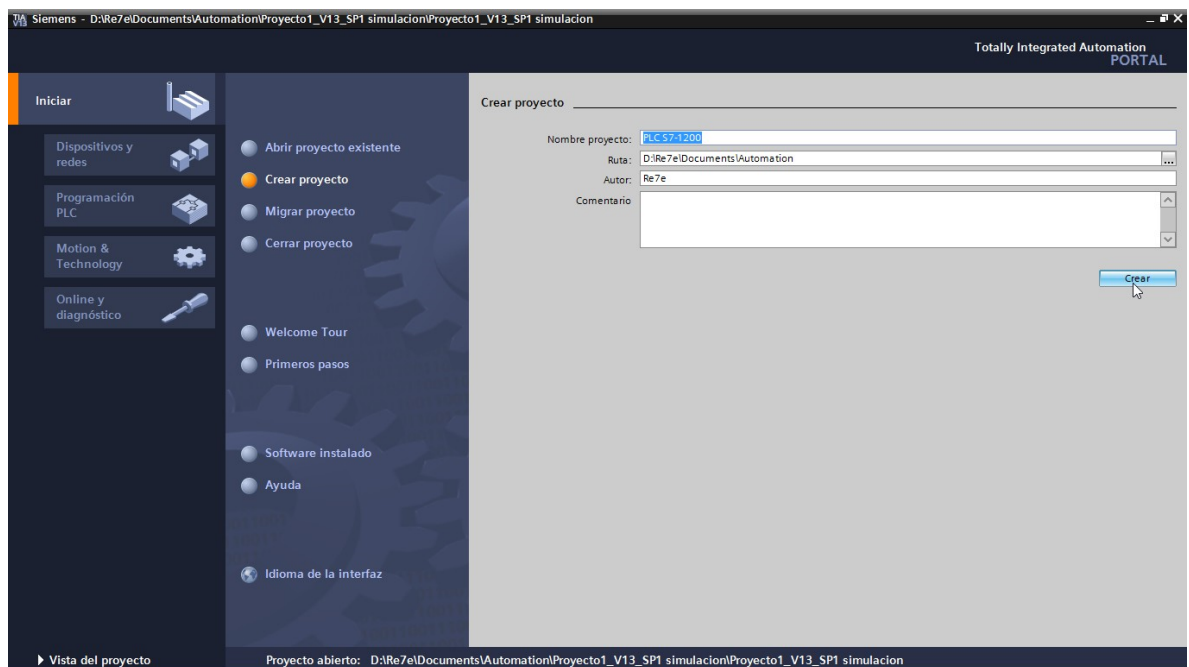
Para hacer la comunicación entre el PLC y la interfaz final de la práctica se hace uso del software de programación propio del PLC para cargar la configuración deseada; así mismo un software de comunicación industrial denominado OPC Server, y finalmente el diseño de la interfaz de la práctica al estilo SCADA con su respectiva configuración.

6.1 TIA PORTAL

El TIA PORTAL es un software de automatización de Siemens para la conexión, programación y diagnóstico de controlador lógico programable o PLC.

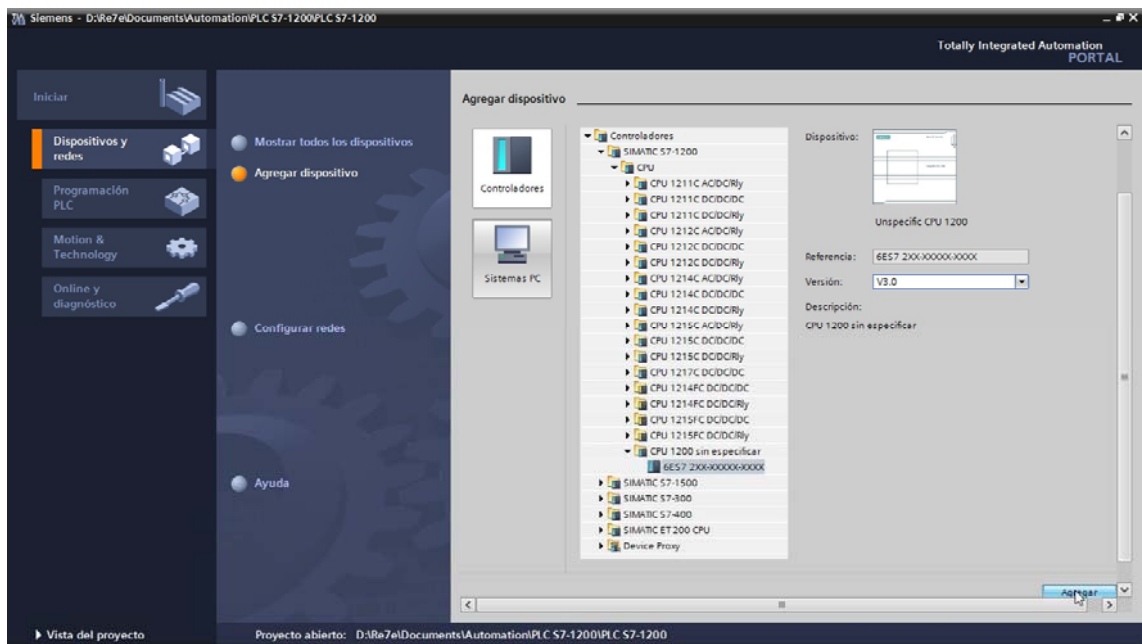
- Tras la instalación de del software procederemos a la creación de un nuevo proyecto:

Figura 14. Creación de nuevo proyecto TIA PORTAL.



- Procedemos a seleccionar el dispositivo virtual para que coincida con la referencia del que disponemos; en dispositivos y redes le damos a “Agregar dispositivo” y seleccionamos entre las carpetas del S7-1200 la CPU sin especificar, escogemos la versión del firmware 3.0 y le damos en “Agregar”.

Figura 15. Selección de dispositivo virtual, TIA PORTAL.



- Una vez agregada la CPU damos click en “Determinar” para que el programa nos seleccione automáticamente la CPU y el módulo que estamos usando, para ello hay que tener conectado el PLC vía ethernet al computador.

Figura 16. Cuadro de selección de CPU, TIA PORTAL.

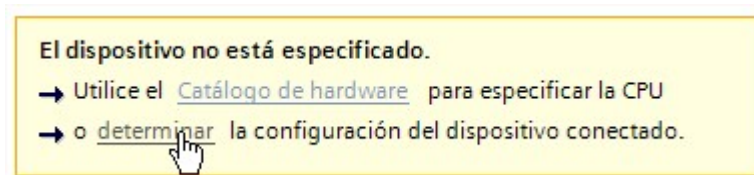
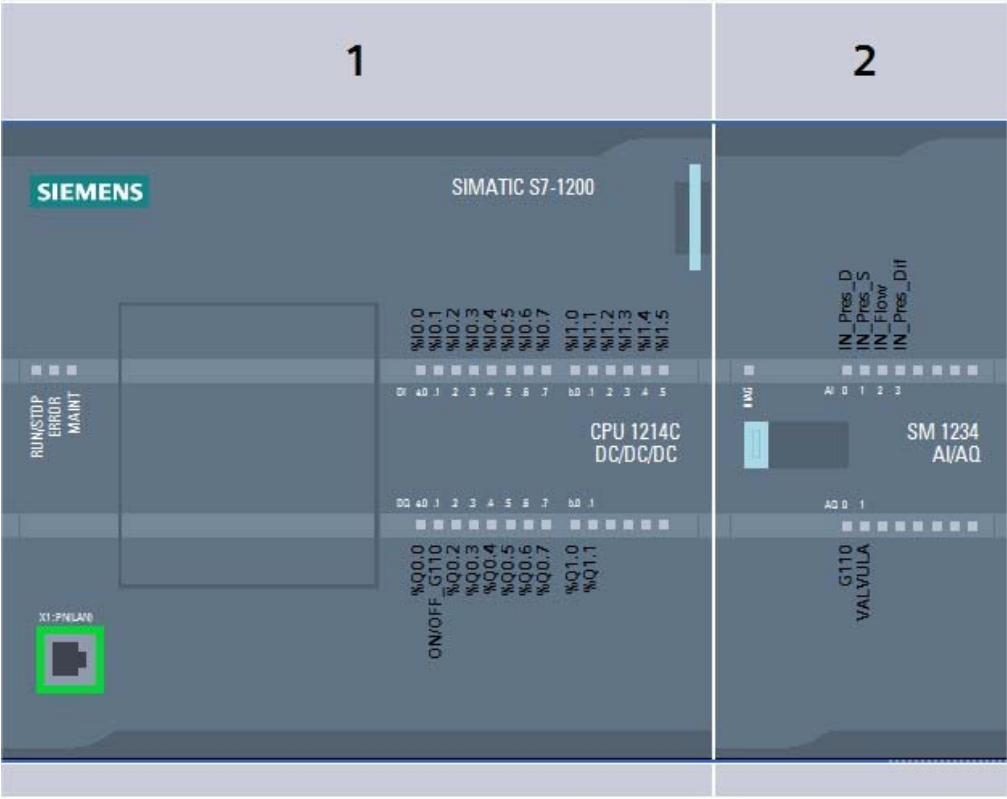


Figura 18. PLC virtual con variables especificadas, TIA PORTAL.



Ahora bien, para la creación de variables medidas y controladas, se usaron 8 segmentos con los cuales se configuro el procesamiento de las señales de entrada y de salida:

Figura 19. Segmento para el encendido del variador de frecuencia.



Figura 20. Segmento para el procesamiento de la señal de las RPM del variador de frecuencia.

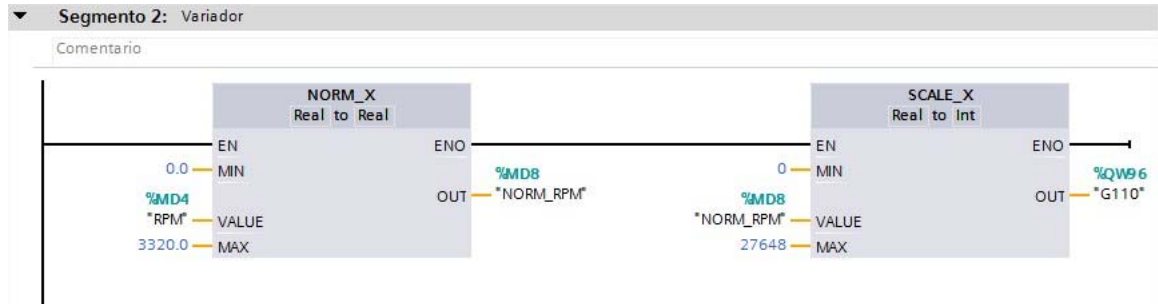


Figura 21. Segmento para el procesamiento de la señal del porcentaje de apertura de la válvula.

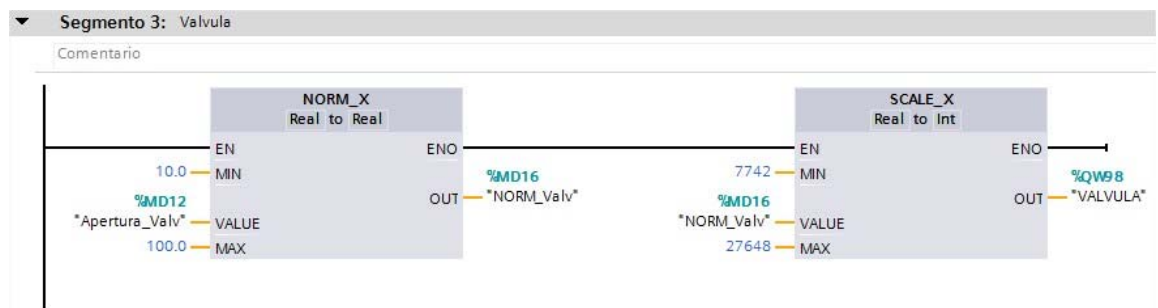


Figura 22. Segmento para el procesamiento de la señal de la presión a la salida de la bomba.

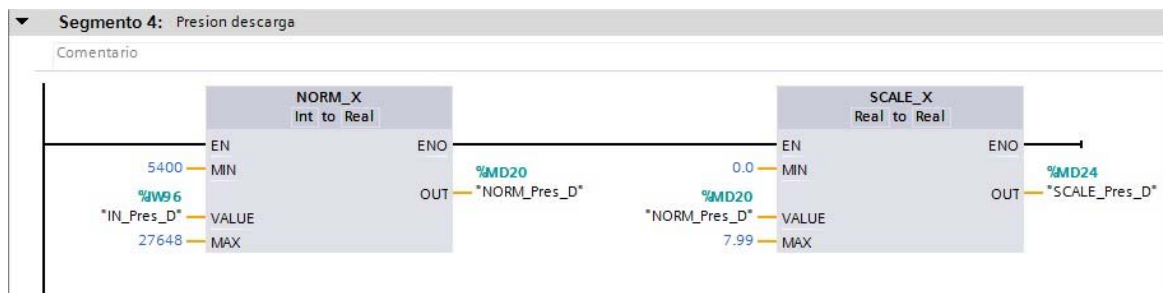


Figura 23. Segmento para el procesamiento de la señal de la presión a la entrada de la bomba.

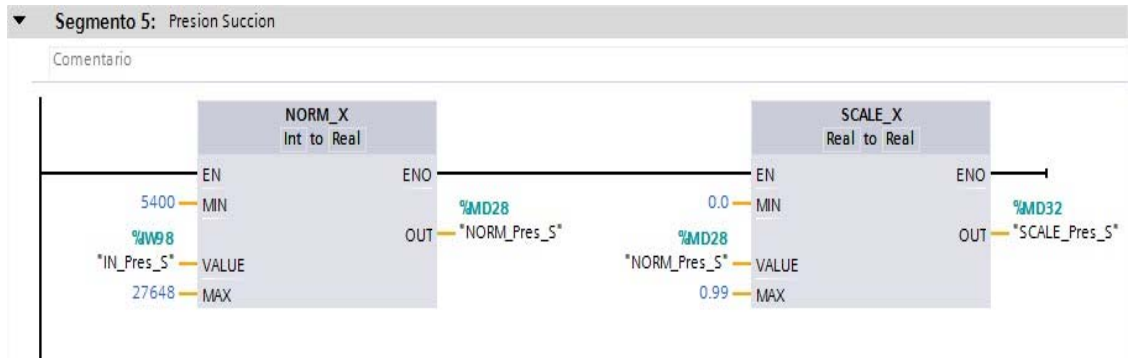


Figura 24. Segmento para el procesamiento de la señal de la presión diferencial de la línea del banco.

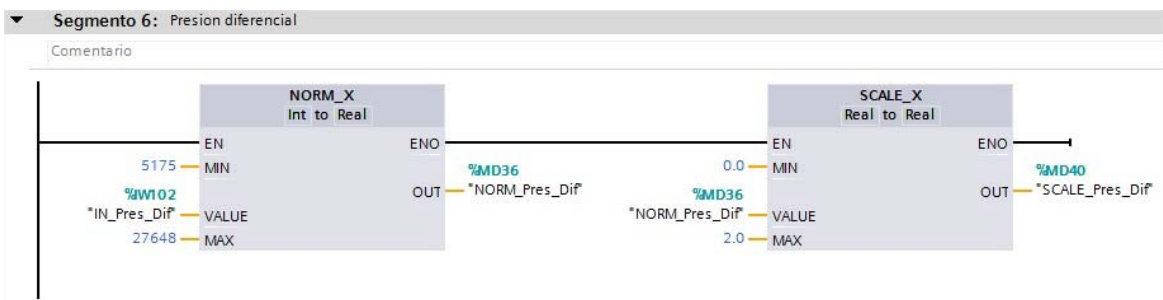


Figura 25. Segmento para el procesamiento de la señal de caudal total que es suministrado.

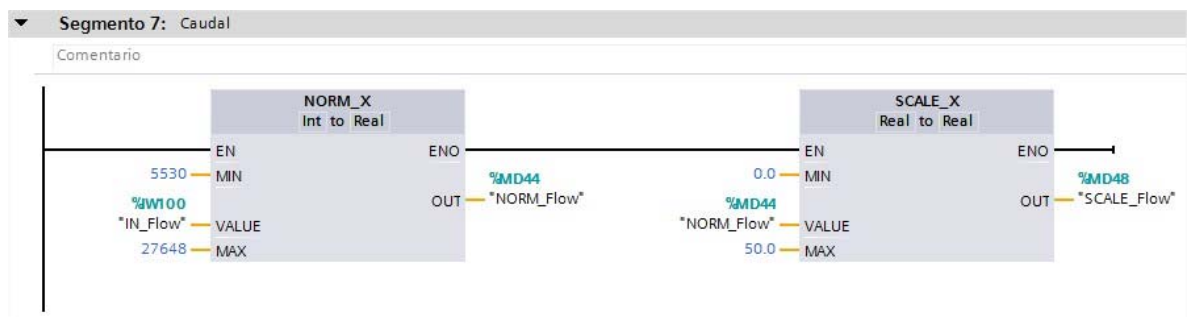
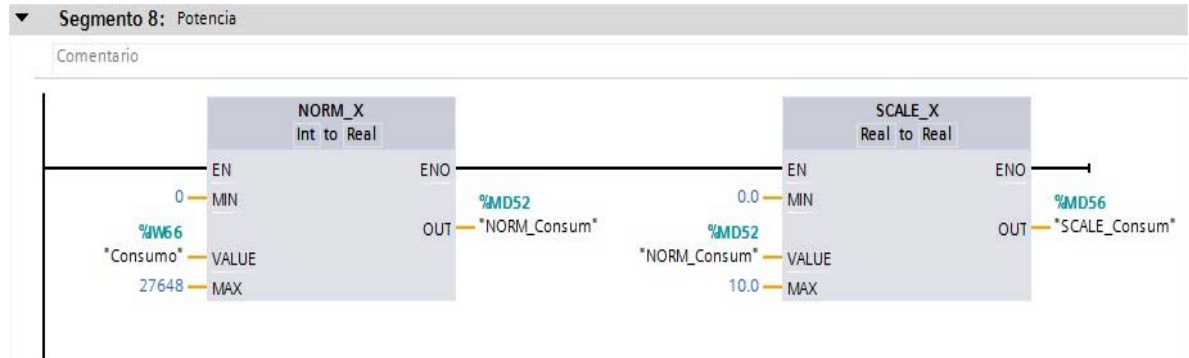


FIG 26. Segmento para el procesamiento de la señal del sensor de corriente instalado en la línea del motor trifásico para el cálculo de potencia.

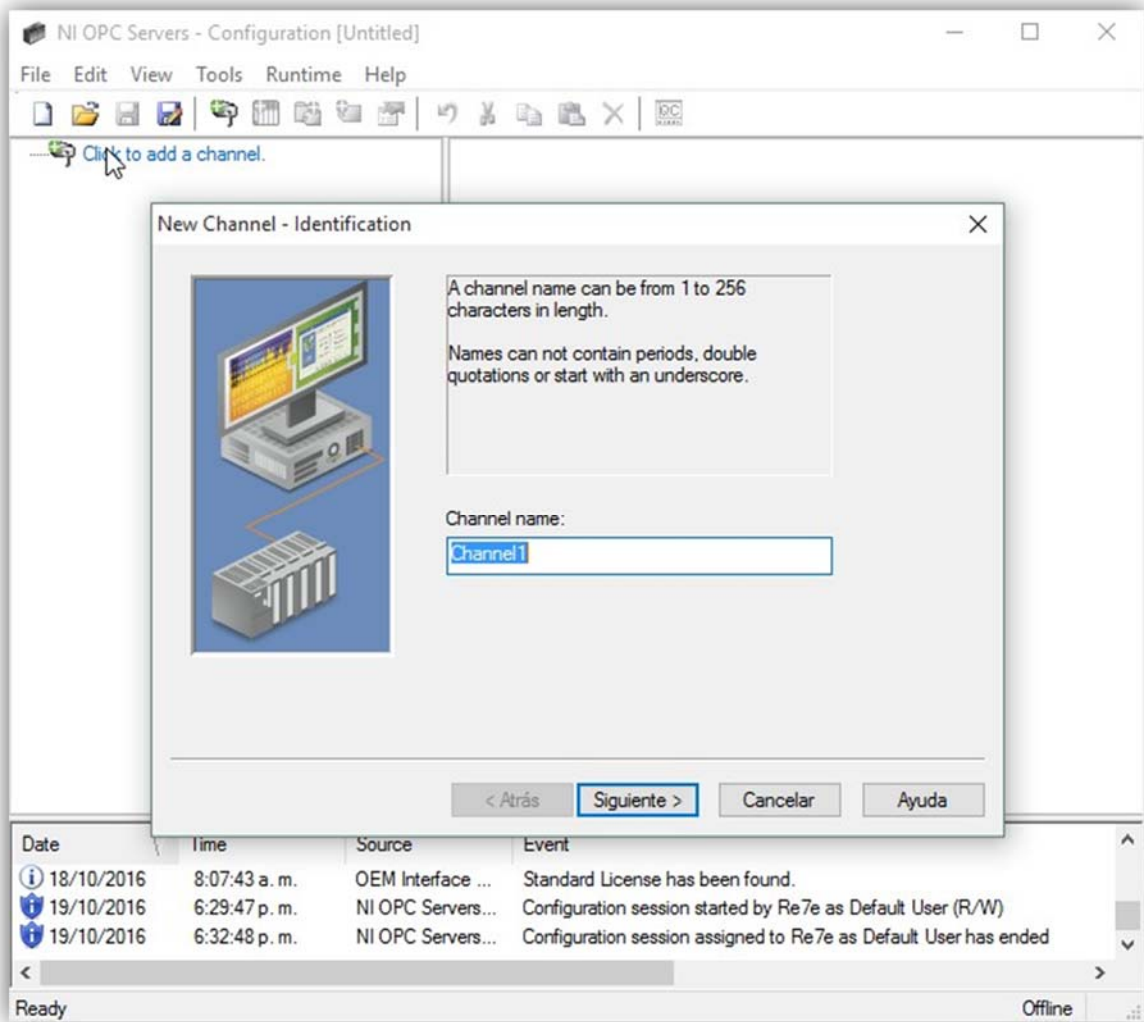


6.2 OPC SERVER

El Servidor OPC es una extensión o driver, que hace de interfaz comunicando por un lado con una o más fuentes de datos utilizando sus protocolo nativos (En este caso un PLC) y por el otro lado con Clientes OPC (En este caso la interfaz de operación de labview, al con estilo de SCADA).

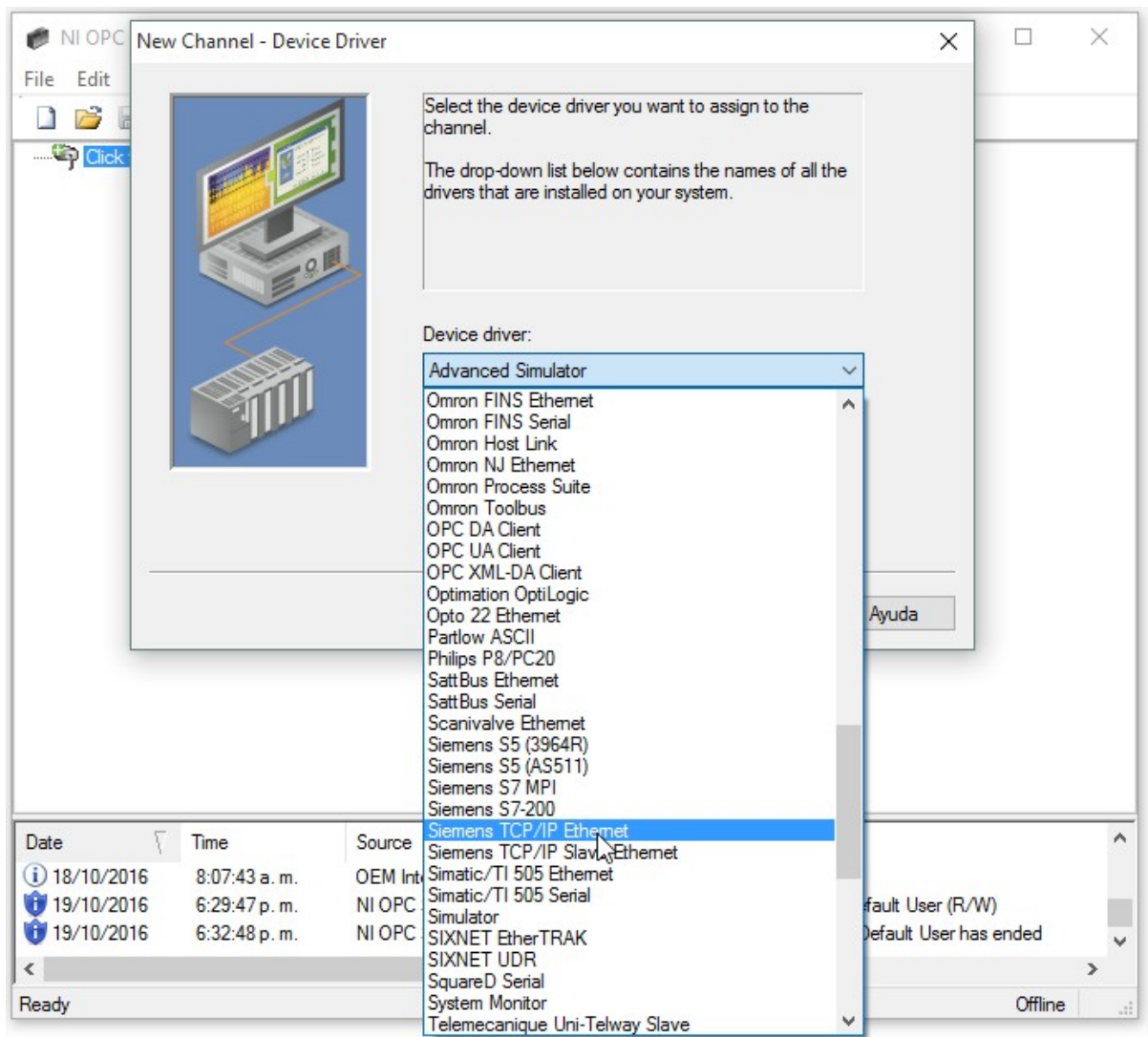
El OPC utilizado en este proyecto es la extensión OPC para labview NI OPC SERVER; Tras su instalación procederemos a configurarlo empezando por la creación de un nuevo canal.

Figura 27. Creación de nuevo canal, NI OPC.



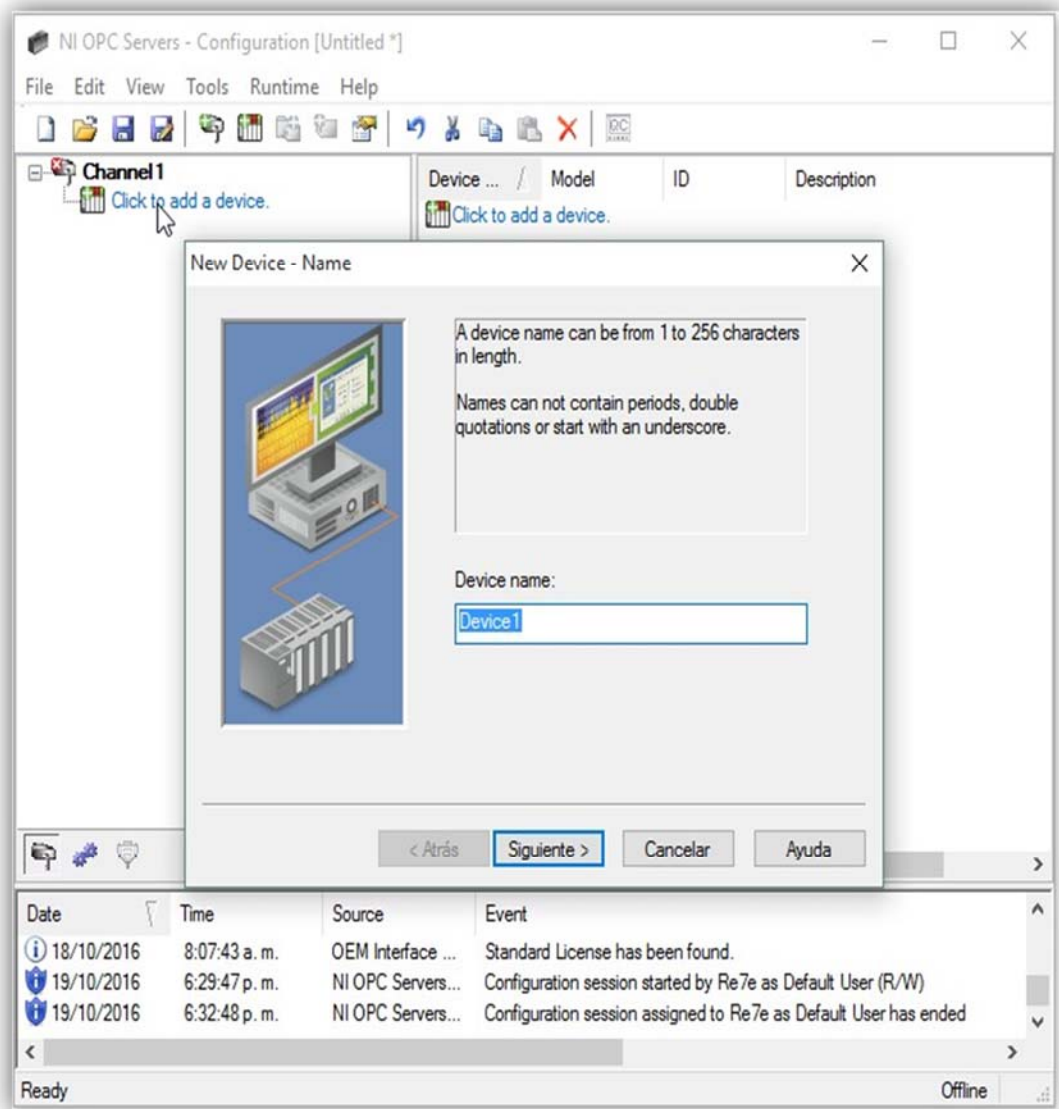
Paso siguiente se selecciona el tipo de driver que se va a usar, en este caso se selecciona el de Siemens TCP/IP Ethernet y se procede a dar siguiente en los demás cuadros dejando la configuración por defecto.

Figura 28 Selección de driver de dispositivo, NI OPC.



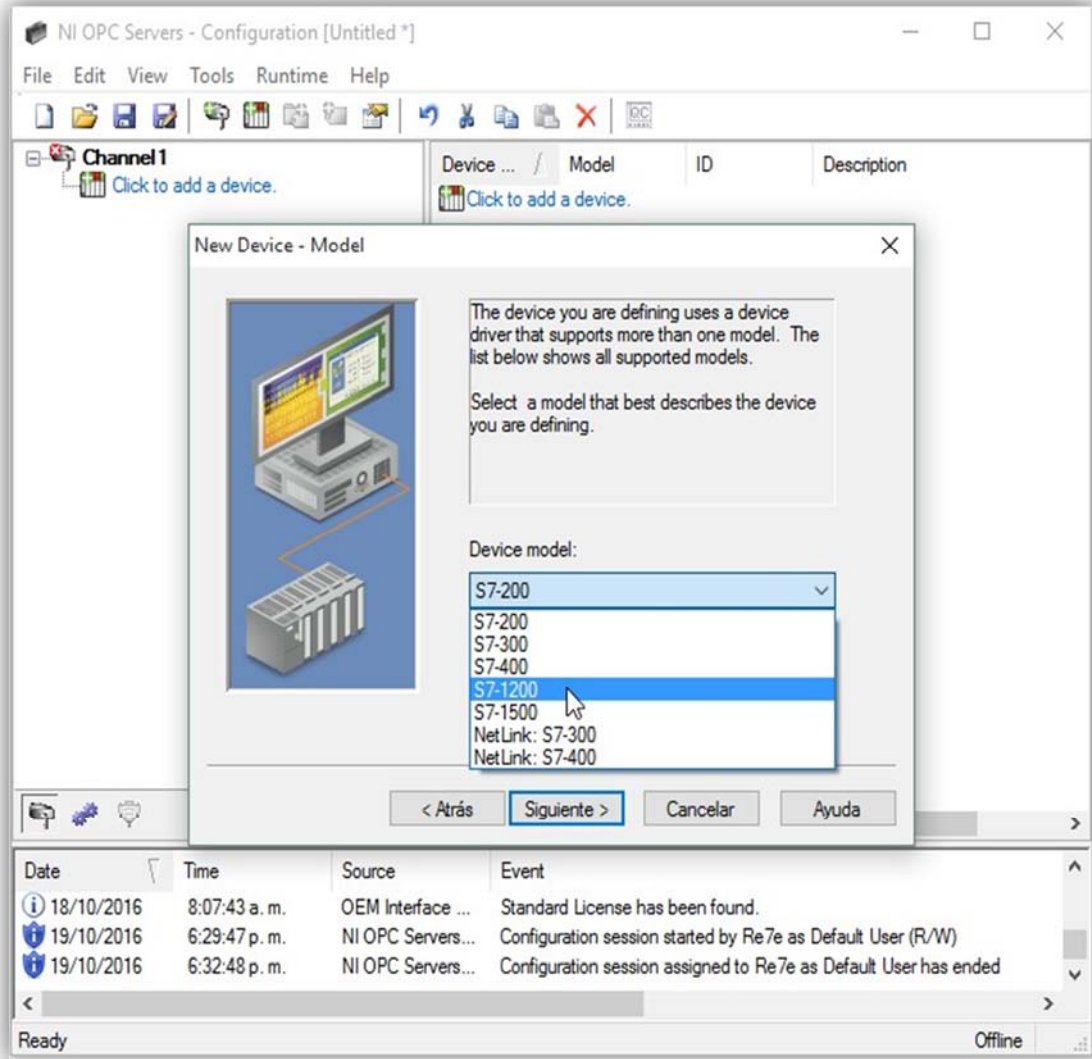
Después de haber creado el canal de comunicación se agrega un nuevo dispositivo en "Add device" donde se le pone un nombre que queramos.

Figura 29. Creación de nuevo dispositivo, NI OPC.



Seguido se selecciona el modelo del dispositivo que vamos a comunicar, en este caso el S7-1200.

Figura 30. Selección de modelo de dispositivo, NI OPC.



En el siguiente cuadro se deberá colocar la ID del PLC para lo cual una vez creado en el TIA Portal se va a la opción de propiedades en la pestaña “Interfaz PROFINET [X1]” y se observa la dirección IP del mismo que es la que vamos a usar, el resto de configuración se deja por defecto.

Figura 31. Revisión de IP, TIA PORTAL.

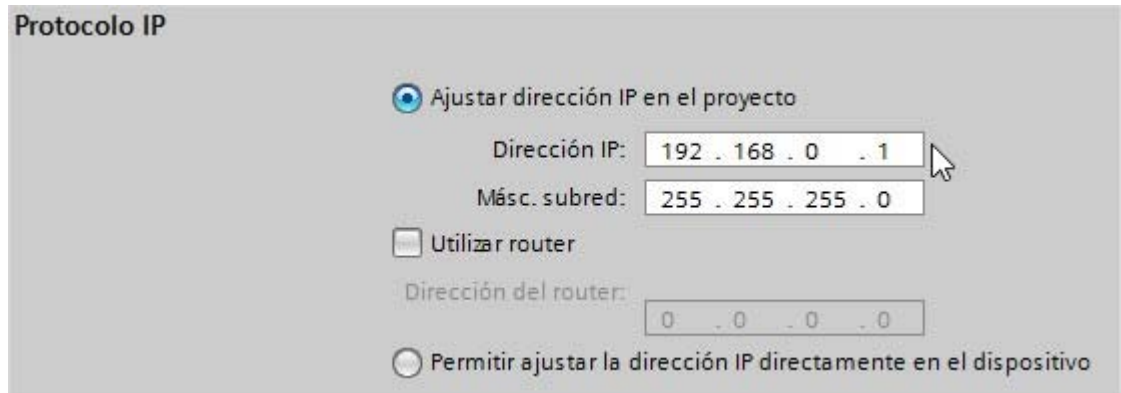
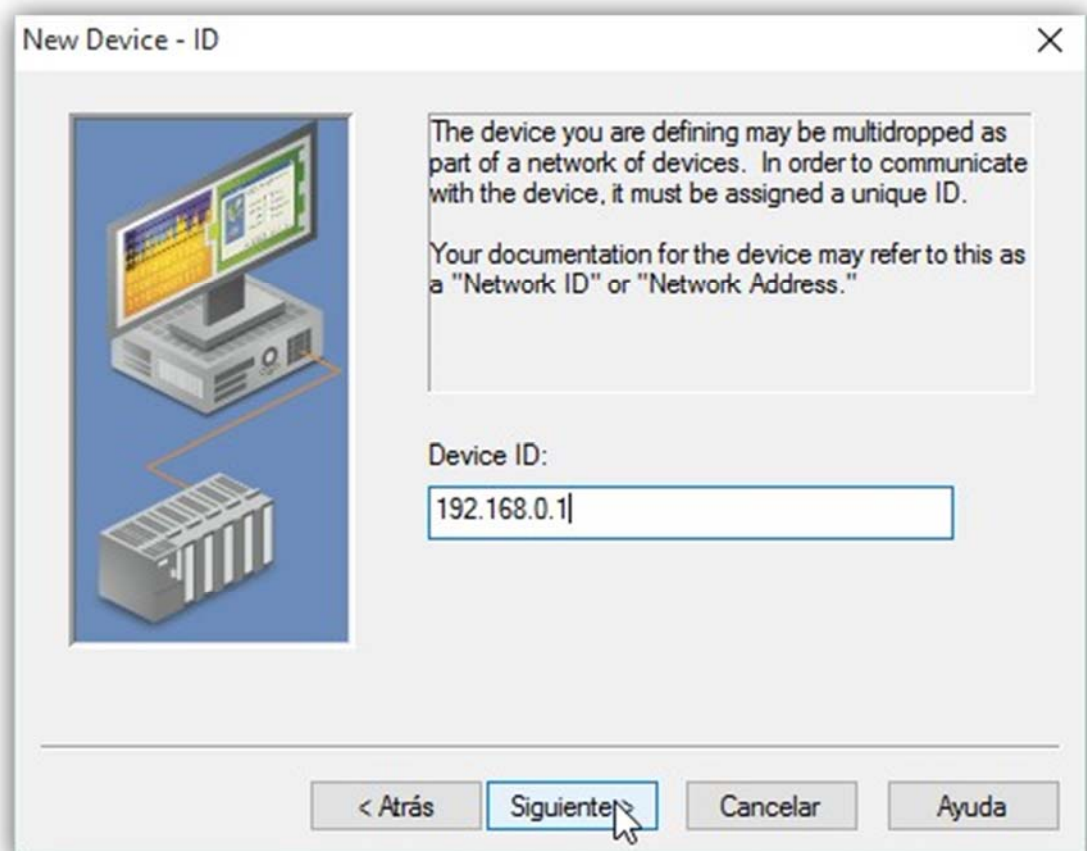
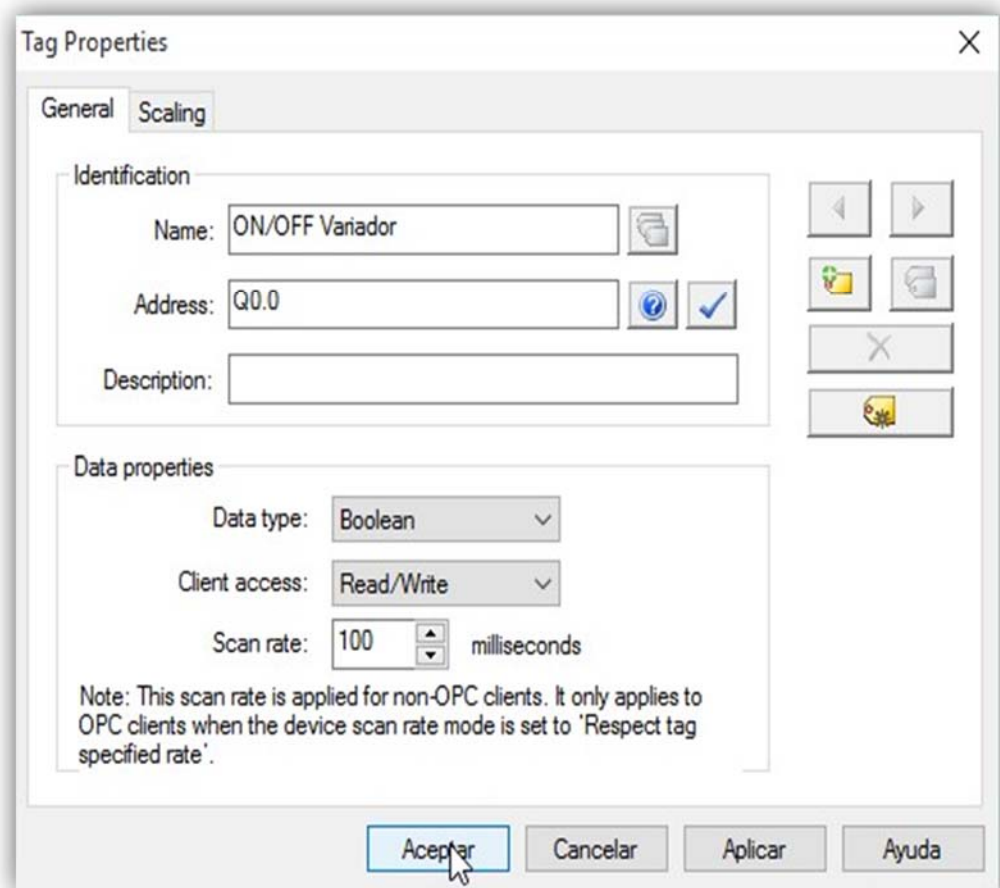


Figura 32. Introducción de IP, NI OPC.



Con el dispositivo creado procedemos a la de creación de la comunicación entre las variables del PLC y la interfaz; para ello se entra en la opción “New tag”, lo que nos desplegará un nuevo cuadro de dialogo.

Figura 33. Propiedades de etiqueta (Tag), NI OPC.



Aquí debemos colocar un nombre para la variable y la dirección que esta tiene en el PLC, para lo cual nos dirigimos a la tabla de variables que hemos creado en el TIA Portal para ver las direcciones de todas las variables que debemos crear.

Figura 34. Revisión de variables, TIA PORTAL.

Tabla de variables estándar						
	Nombre ▲	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...
1	Apertura_Valv	Real	%MD12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Consumo	Int	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	G110	Int	%QW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	IN_Flow	Int	%IW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	IN_Pres_D	Int	%IW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	IN_Pres_Dif	Int	%IW102	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	IN_Pres_S	Int	%IW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Marca_ON/OFF	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	NORM_Consum	Real	%MD52	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	NORM_Flow	Real	%MD44	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	NORM_Pres_D	Real	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	NORM_Pres_Dif	Real	%MD36	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	NORM_Pres_S	Real	%MD28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	NORM_RPM	Real	%MD8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	NORM_Valv	Real	%MD16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	ON/OFF_G110	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	RPM	Real	%MD4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	SCALE_Consum	Real	%MD56	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	SCALE_Flow	Real	%MD48	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	SCALE_Pres_D	Real	%MD24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	SCALE_Pres_Dif	Real	%MD40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	SCALE_Pres_S	Real	%MD32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	VALVULA	Int	%QW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Así debe quedar configurado nuestro servidor OPC una vez agregadas todas las variables.

Figura 35. Variables creadas, NI OPC Server.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
%Apertura	MW16	Word	100	None
Consumo	IW66	Word	100	None
IN_caudal	IW100	Word	100	None
IN_pres_Descarga	IW96	Word	100	None
IN_pres_Dif	IW102	Word	100	None
IN_pres_Succion	IW98	Word	100	None
marca on-off	M1.0	Boolean	100	None
NORM_caudal	MD6	DWord	100	None
NORM_pres_Descarga	MD102	DWord	100	None
NORM_pres_Dif	MD28	DWord	100	None
NORM_pres_Succion	MD16	DWord	100	None
NORM_RPM	MD8	DWord	100	None
NORM_valve	MD12	DWord	100	None
ON-OFF_variador	Q0.1	Boolean	100	None
READ_caudal	QD8	DWord	100	None
READ_pres_Descarga	QD2	DWord	100	None
READ_pres_Dif	QD32	DWord	100	None
READ_pres_Succion	QD20	DWord	100	None
RPM	MW4	Word	100	None
Valvula	QW96	Word	100	None
Variador	QW98	Word	100	None

Date	Time	Source	Event
18/10/2016	8:07:42 a. m.	Siemens TCP/IP...	Siemens TCP/IP Ethernet Device Driver V5.19.492.0
18/10/2016	8:07:43 a. m.	OEM Interface ...	Standard License has been found.
19/10/2016	6:29:47 p. m.	NI OPC Servers...	Configuration session started by Re7e as Default User (R/W)

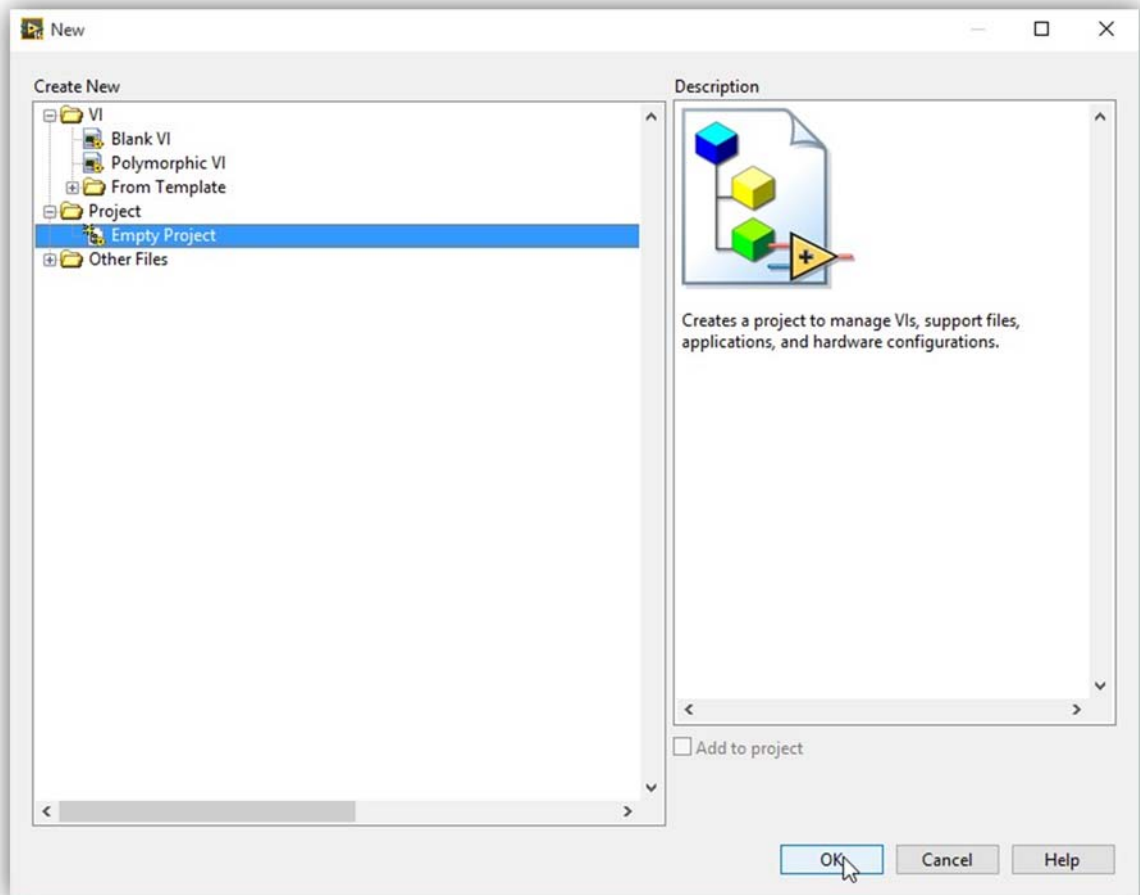
Ready Default User Clients: 5 Active tags: 0 of 0

6.3 LABVIEW

Labview es un entorno de desarrollo integrado y diseñado específicamente para ingenieros y científicos que desarrollan sistemas de medidas y control. Con un lenguaje de programación gráfica nativo, IP integrado para análisis de datos y procesamiento de señales y una arquitectura abierta que permite la integración de cualquier dispositivo de hardware y cualquier enfoque de software.

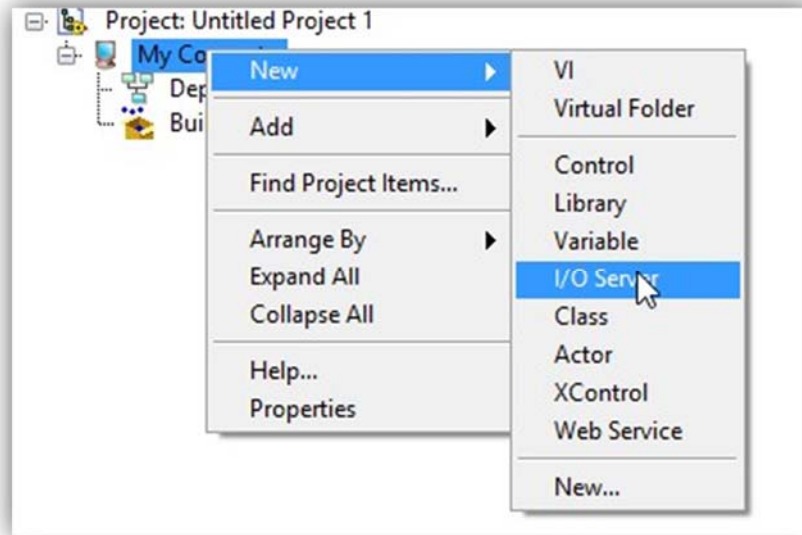
Para la creación de la interfaz final e integración con los otros software de comunicación primero creamos un proyecto vacío.

Figura 36. Nuevo proyecto, LABVIEW.



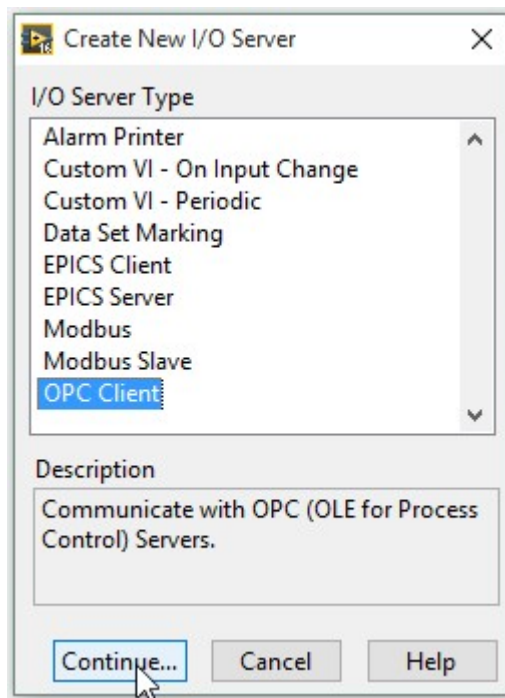
Dando click derecho sobre "My Computer" seleccionamos la opción nuevo I/O Server.

Figura 37. Nuevo I/O Server, LABVIEW.



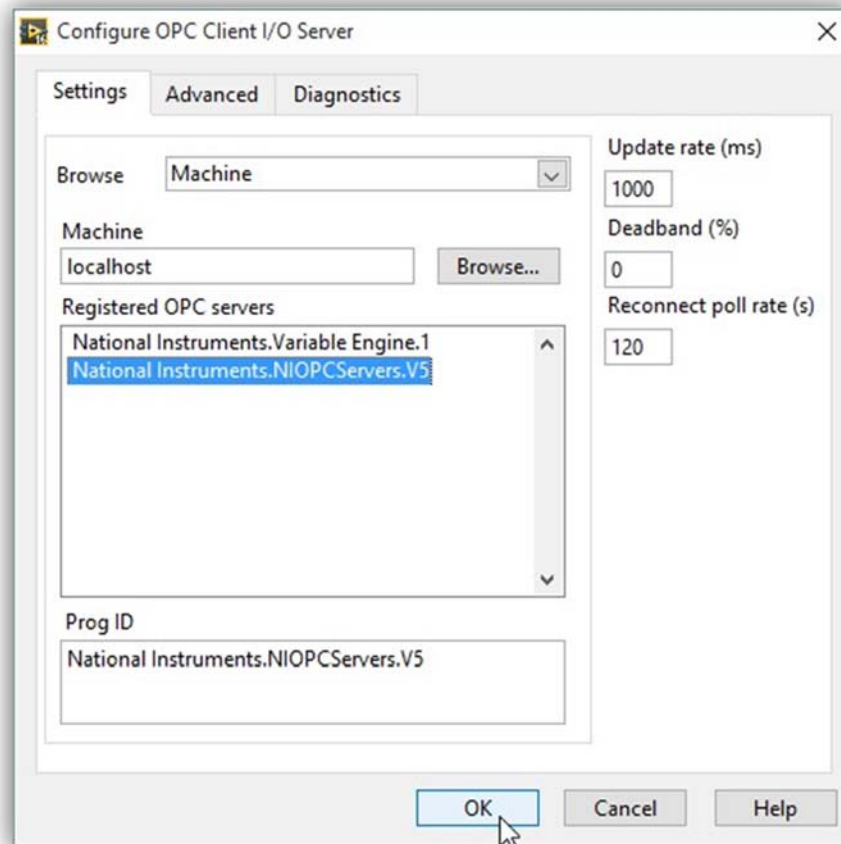
Aquí seleccionamos la opción de "OPC Client" y damos en continuar.

Figura 38. Selección de tipo de server, LABVIEW.



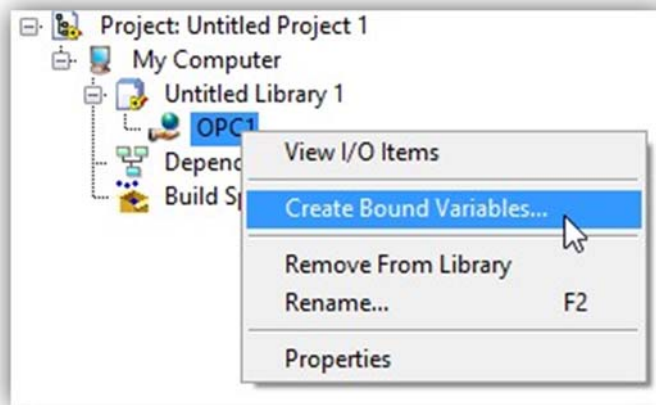
Después seleccionamos el OPC de NI y finalizamos.

Figura 39. Configuración de server, LABVIEW.



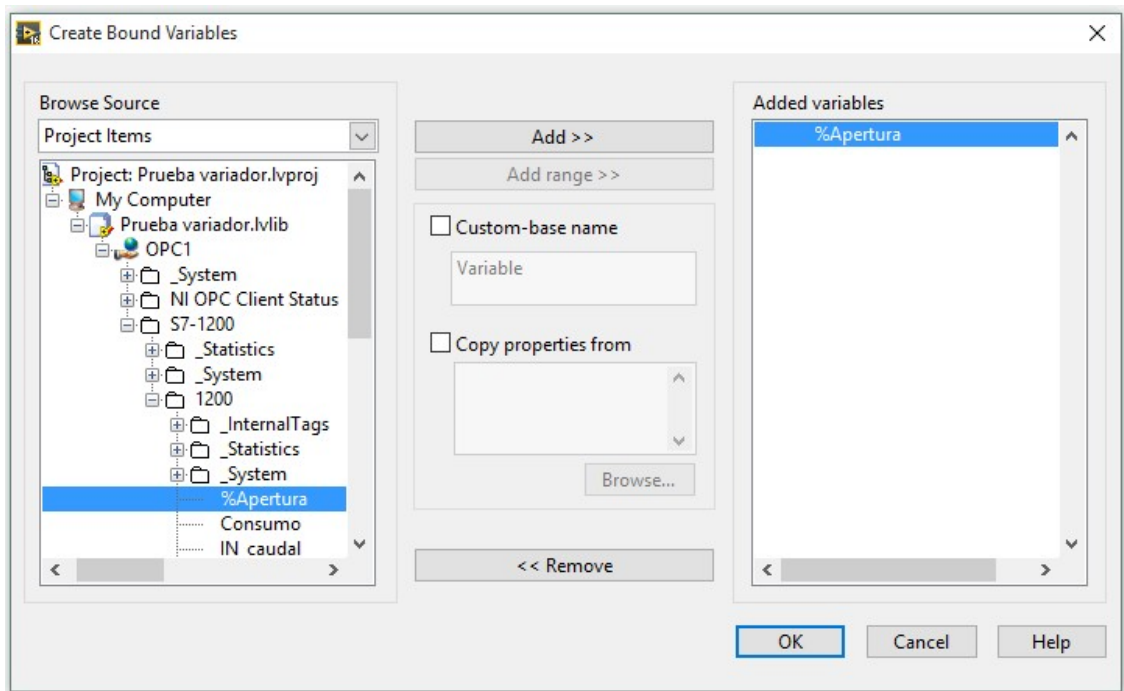
Una vez creado el OPC Server le damos click derecho y seleccionamos "Create Bound Variables".

Figura 40. Crear conjunto de variables, LABVIEW.



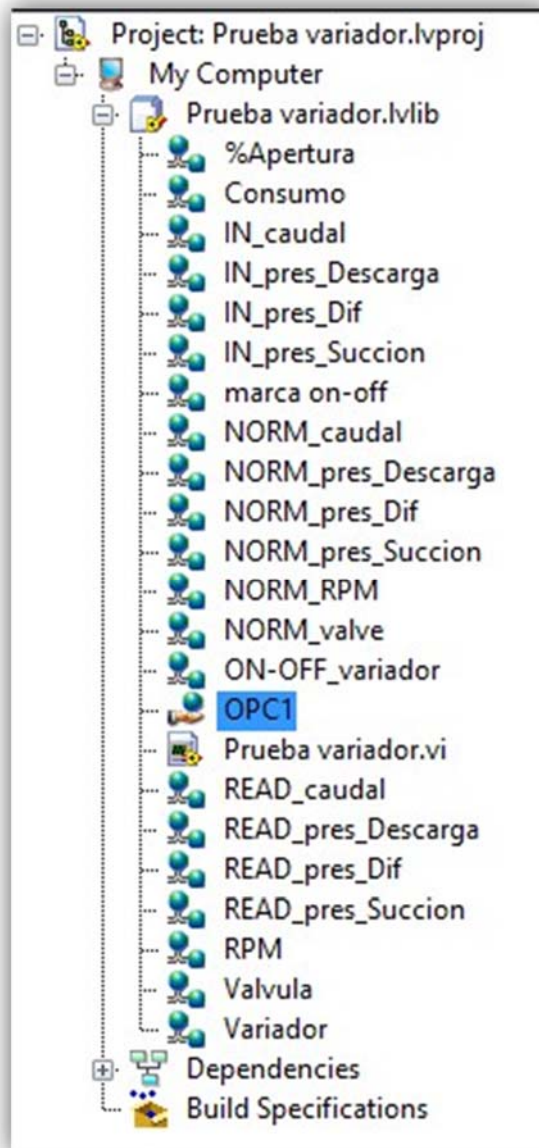
Y vamos a navegar por el directorio hasta encontrar las variables que tenemos agregadas en el OPC, seleccionando todas las variables que vamos a usar le damos en “Add” y luego en “Ok”

Figura 41. Importar variables de OPC, LABVIEW.



Y nos deberán quedar todas agregadas en el Proyecto de Labview

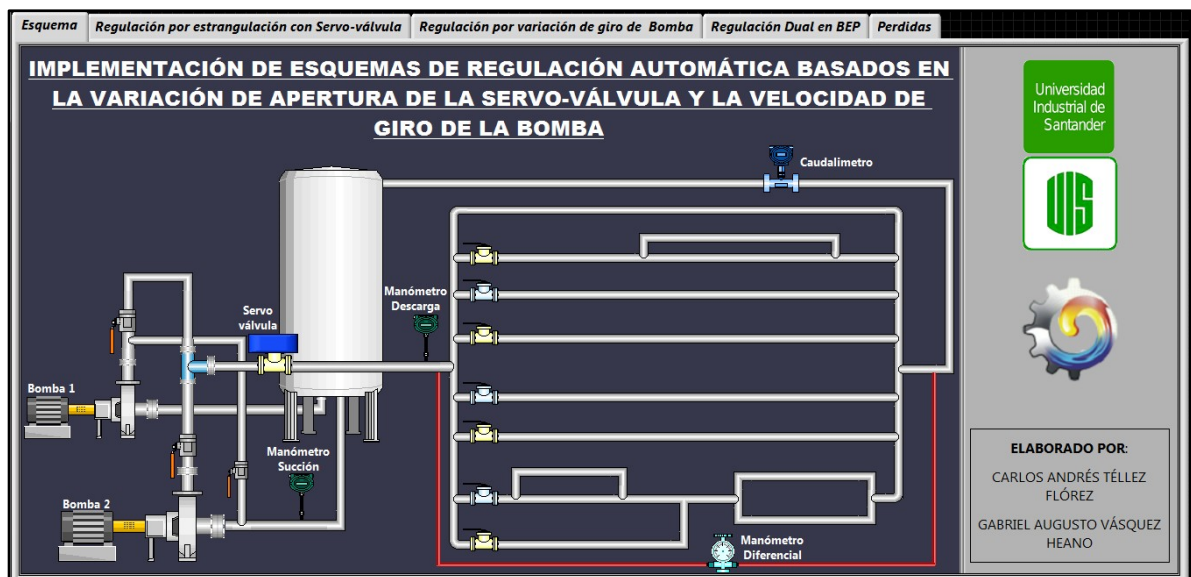
Figura 42. Variables, LABVIEW.



Para la interfaz de operación de labview que el estudiante usará se buscó que fuera sencilla, intuitiva y funcional, así mismo que se asemejara a un sistema de control SCADA.

La interfaz gráfica realizada en el software Labview consta de 4 pestañas, con las cuales se puede navegar entre las diferentes etapas de la práctica, en la figura 43 se observa el esquema general del banco de perdidas, donde se realzan elementos importantes tales como los manómetros, las bombas, el tanque, el medidor de flujo y la servo-válvula. En la figura 44 podemos ver la etapa de regulación con solo válvula, la cual consta de un tablero para controlar las rpm y la apertura de la válvula en porcentaje y el encendido y apagado del variador de frecuencia, además de una tabla donde se recolectan los datos de caudal y altura y su respectiva gráfica del sistema.

Figura 43. Presentación de interfaz SCADA.



En la figura 45 se observa la pestaña de regulación con solo bomba, esta contiene un tablero de mando para regulación del porcentaje de apertura y una gráfica con activación individual para cada caso de rpm con su respectiva tabla de datos con valores de caudal, altura y eficiencia. En la figura 46 observaremos 2 formas de

regulación automática: una regulación dual en busca de punto de máxima eficiencia (BEP) y uno al costado derecho para regular a menor costo usando solo el variador.

Figura 44. Interfaz de regulación por electroválvula.

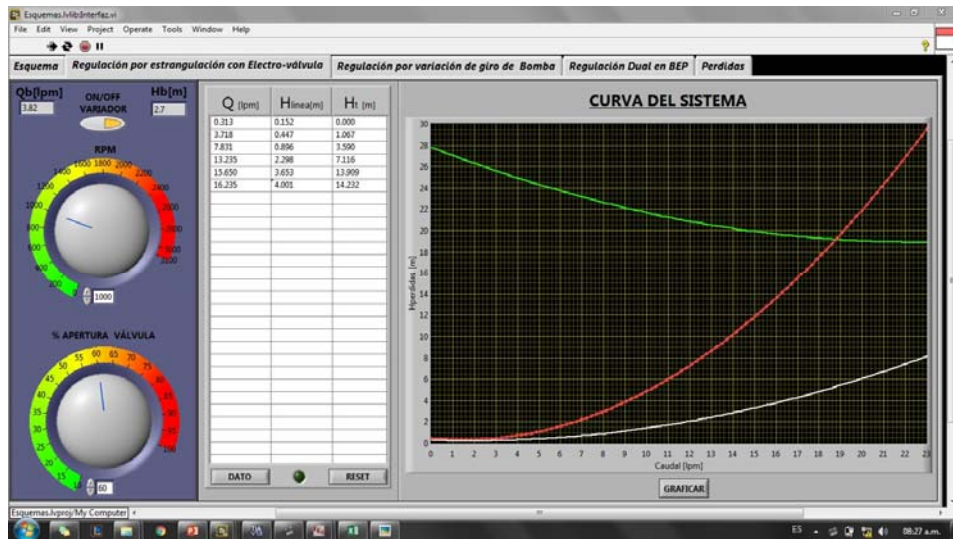


Figura 45. Interfaz de regulación por variador de frecuencia.

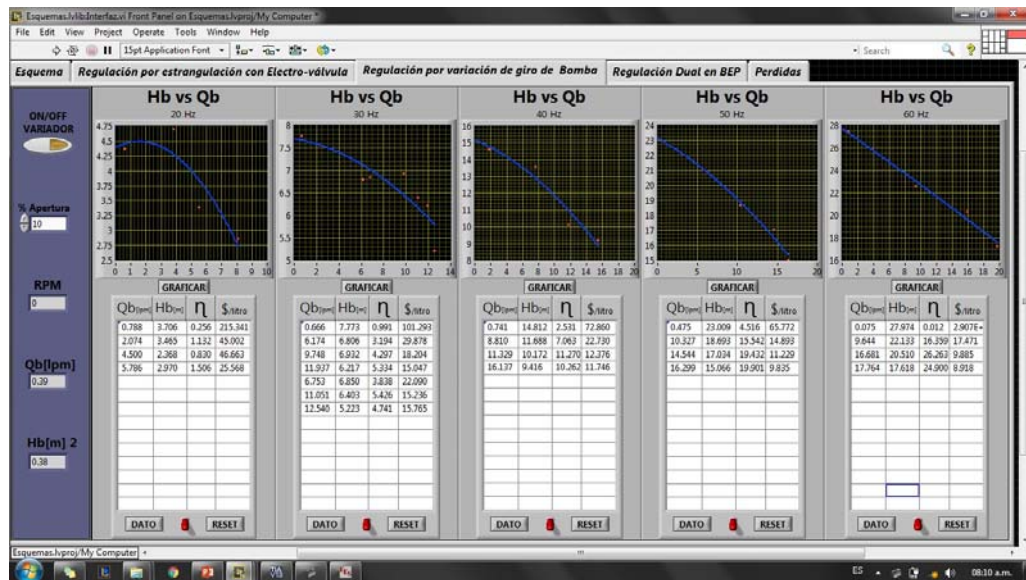
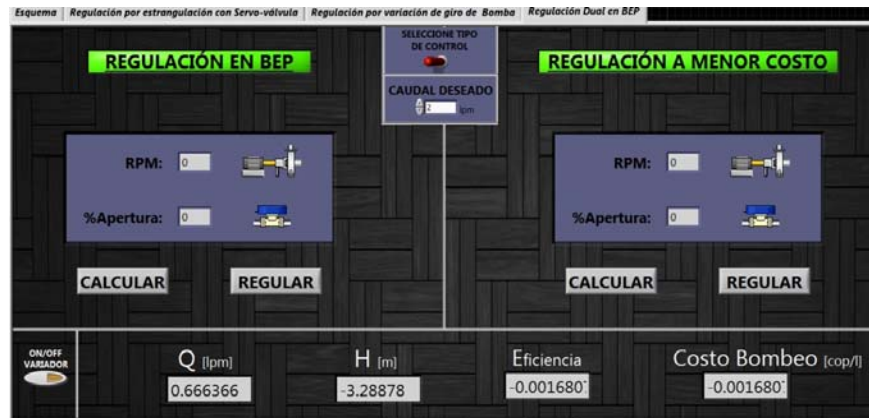
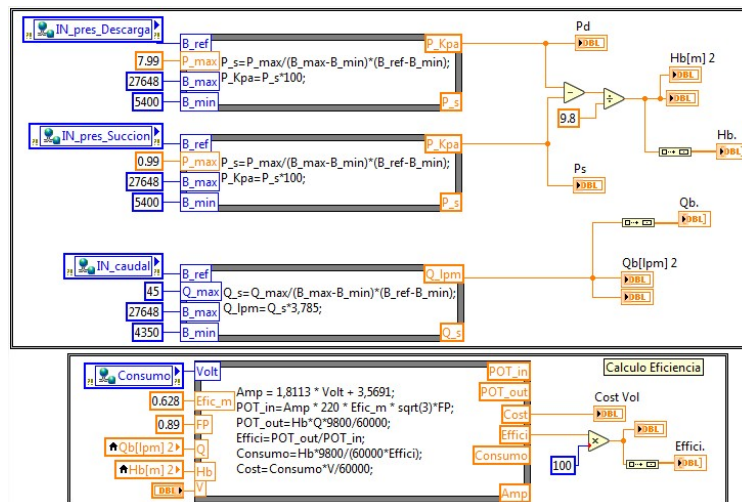


Figura 46. Regulación dual en BEP y a menor costo.



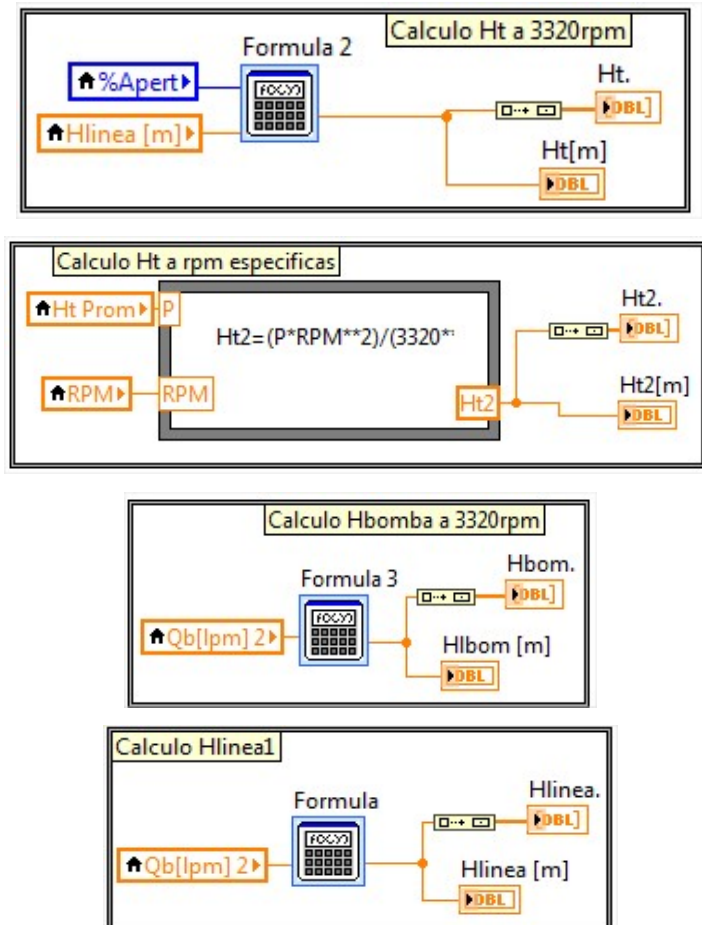
Para el procesamiento de las señales provenientes del PLC se tuvo que usar las funciones `norm_X` y `scale_X` que se encuentran en el TIA Portal pero en formato de fórmula, para así escalar de forma correcta la señal y al mismo tiempo hacer la conversión a las unidades deseadas para los cálculos y toma de datos de la práctica como se puede apreciar en la figura 49.

Figura 47. Diagrama de bloques escalado y conversión de unidades de datos medidos.



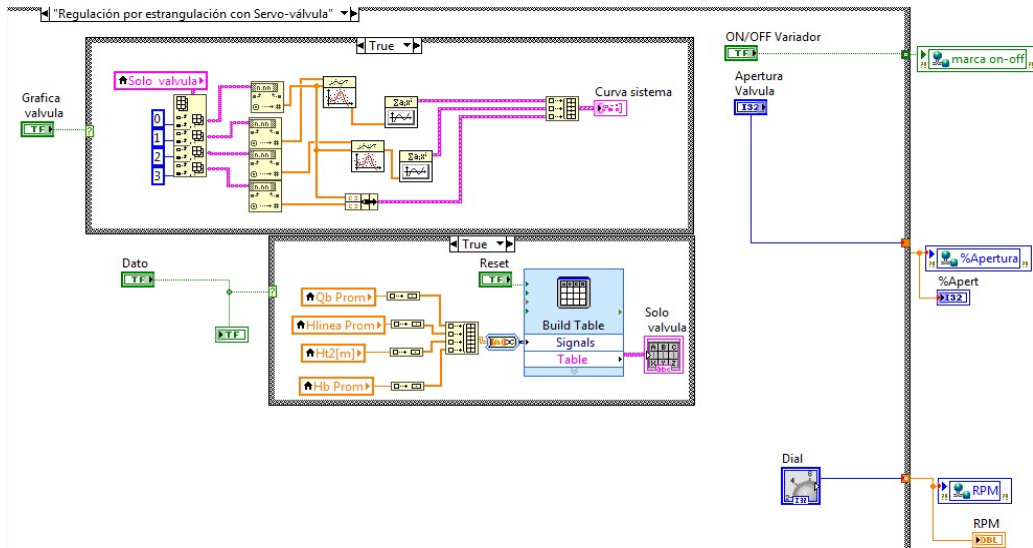
También se hizo un conjunto de bloques para calcular pérdidas en líneas mediante regresiones y aplicación de leyes de semejanza.

Figura 48. Diagramas para cálculo de pérdidas.



En la parte de programación se planteó una serie de casos para dar control a las variables de rpm, encendido y apagado del variador y el porcentaje de apertura de la válvula, todo esto dependiendo de la pestaña en la cual se encuentre el usuario navegando. La figura 49 muestra el diagrama de bloques para la pestaña de regulación por válvula.

Figura 49. Diagrama de bloques de regulación por válvula.



Para el caso de regulación con bomba se introdujo una secuencia donde revisa al estar dentro de esta pestaña si se ha activado alguna de las gráficas de rpm y dependiendo de esto arroja un valor correspondiente de rpm a los Hz que se hallan activado, en caso de que ninguna grafica sea activada se seleccionara el valor de 0 rpm para seguridad.

Se hizo uso de la estructura case para controlar cuál grafica activar, esto al oprimir el botón graficar, lo mismo se hizo para las tablas que recolectan datos y con los botones de reset que limpian los datos almacenados, como se puede ver en la figuras 50.

Figura 50. Diagrama de bloques Regulación por variador.

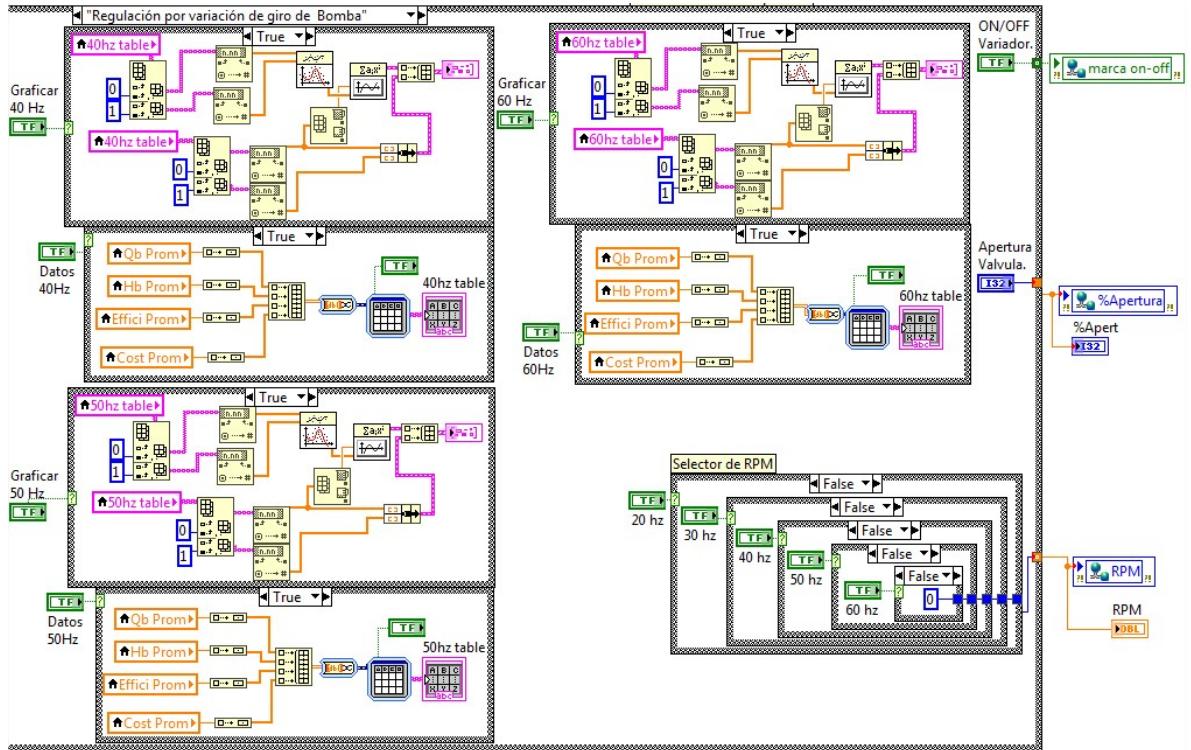
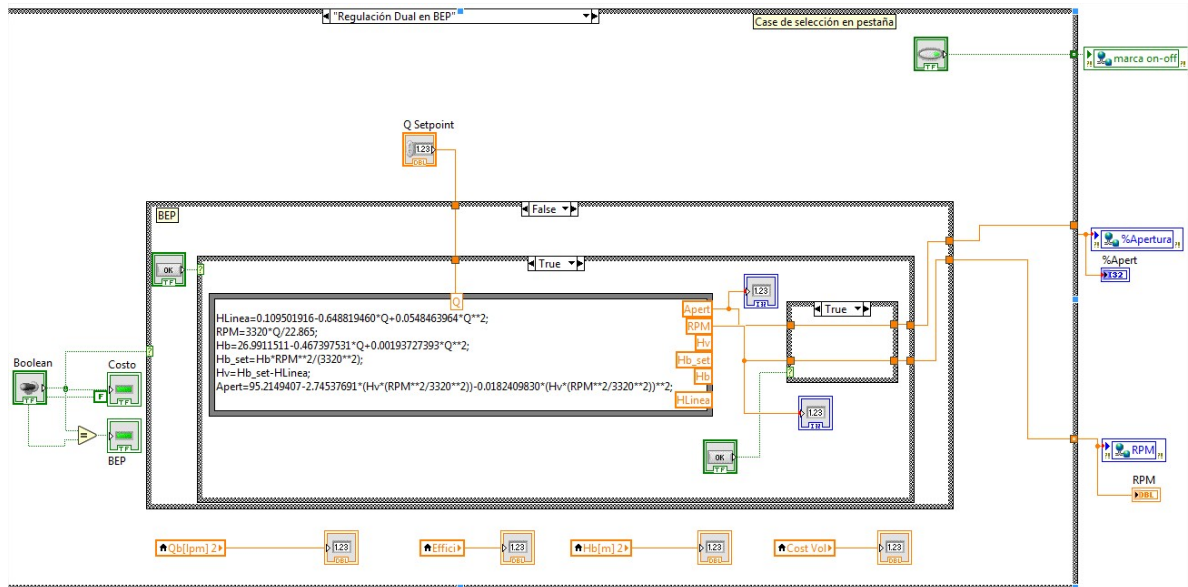


Figura 51. Diagrama de bloques Regulación automática.



7. PRACTICAS

7.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE PÉRDIDAS DEL SISTEMA A UNA APERTUR DE SERVO VALVULA DADA.

Se selecciona la apertura de válvula que se desea analizar; a medida que se varían las rpm se irán tomando datos de valores estacionarios de caudal y presión; y se procede a graficar la curva del sistema observando el efecto que tiene la válvula sobre la curva de la línea de transporte usada y junto a la curva de operación de la bomba.

7.2 DETERMINACIÓN DE CURVAS EN BOMBAS SEMEJANTES USANDO EL VARIADOR DE VELOCIDAD Y LA SERVO-VÁLVULA.

Para la realización de ésta práctica se pondrá el variador en 3 velocidades de giro distintas y durante cada una se hará la regulación por estrangulamiento con la servo-válvula tomando los respectivos datos de P vs. Q con ayuda de la interfaz para finalmente graficarlas y observar el comportamiento entre curvas de bombas semejantes a distintas RPM.

Para el marco teórico de las guías de práctica se tendrán en cuenta principalmente las leyes de semejanza ente bombas centrifugas.

7.3 CONTROL DE REGULACIÓN DUAL EN PUNTO DE MAXIMA EFICIENCIA (BEP).

Para la realización de este control es necesario haber realizado la caracterización de las curvas de bombas semejantes con su respectiva eficiencia.

Luego se debe hacer la regresión de la curva Q_{bep} Vs RPM.

Finalmente se incluyen las funciones características de bomba y de pérdidas y se procede así:

El set point de control será el caudal requerido, el cual se reemplazará en la función de Q_{bep} para hallar las RPM de trabajo de la bomba; éste mismo caudal se reemplazará en en la función de P vs. Q de esa bomba semejante para hallar la presión de trabajo deseada; y esta presión de trabajo se remplazará a su vez en la función de perdidas D_p vs Q para hallar el delta de presión restante que se traducirá en un porcentaje de apertura.

[Ver Anexo: Guía imprimible para estudiantes]

8. CONCLUSIONES

- La implementación de sistemas de regulación automática y la interacción con esquemas, tablas de captura de datos y graficas de curvas características en un banco de pruebas de laboratorio, afianza los conocimientos básicos de los estudiantes de ingeniería mecánica en mecánica de fluidos, sistemas de transporte y puntos de operación de equipos.
- Integrar todos los sistemas de medida de variables y de control de señal de actuadores en un PLC y utilizar un cliente OPC para la conexión a una interfaz virtual tipo SCADA es un método eficaz para la interacción remota con las instalaciones industriales y un logro para compartir y construir conocimiento.
- La experiencia con esquema de regulación basado en variador de frecuencia o variación de velocidad de bomba, mostrará a éste como el sistema de regulación más eficiente en el uso potencia. Y, al esquema de regulación por válvula como sistema de regulación de menor consumo, pero de mayor ineficiencia energética.
- La implementación del sistema de regulación DUAL, usando variador de frecuencia y servo válvula, acercará al estudiante a la aplicación de principios para la regulación en punto de máxima eficiencia y regulación para bombeo a menor costo que son dos situaciones de trabajo requeridas en la industria.

BIBLIOGRAFÍA

CAMPOS AVELLA, Juan Carlos y Otros. Ahorro de energía en sistemas de Bombas Centrífugas. Bogotá: COLCIENCIAS / Universidad del Atlántico / Universidad Autónoma de Occidente /Unidad de Planeación Minero, Energética de Colombia (UPME), Abril, 2008.

CRANE. Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: Mc Graw Hill, , 1999.

CULMAN FORERO, María Alejandra. Evaluación del impacto en la calidad de la potencia y la eficiencia energética de los métodos de regulación de caudal en bombas - fase II. Trabajo de grado Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, 2013. 172p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos, Presentación y referencias bibliográficas. NTC: 1486 - NTC: 6166. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008.

MARTINEZ MARTINEZ, Oscar Javier. Diseño y construcción de un banco para la evaluación de diversos sistemas de control de la operación de una red hidrónica, aplicada a sistemas de refrigeración o calefacción. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2015

MARTINEZ REYES, Diana Carolina y PLATA TOBACIA, Germán Andrés. Implementación de un sistema de monitoreo para el banco de caracterización de sistemas de transporte de líquidos. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela De Ingeniería Mecánica, 2013

MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2 ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1986.

Anexos

ANEXO A: GUÍA DE PRÁCTICAS PARA ESTUDIANTES



LABORATORIO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS.



Práctica N° ____:		Página 1 de 5
Regulación de suministro de caudal mediante electroválvula y variador de frecuencia con interfaz virtual tipo SCADA.		
Director: Ing. Javier Rugeles	Auxiliar:	Fecha:
Nombres: ➤ ➤ ➤	Códigos:	Grupo: Subgrupo:

Objetivos de la práctica

Emplear métodos de regulación por electroválvula y variador de de frecuencia para el control de suministro de caudal, caracterización de bomba y regulación dual.

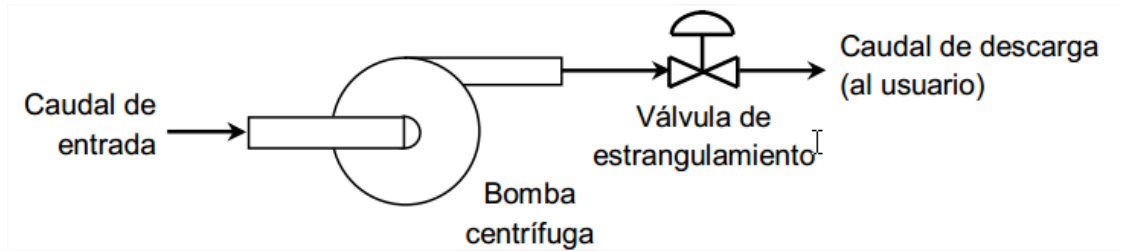
- Regular caudal usando electroválvula y graficar curva Q vs. P
- Regular caudal con variador de frecuencia y graficar curvas de bombas semejantes.
- Regular caudal con los dos sistemas y bombear caudal en punto de máxima eficiencia.

Materiales

- Banco de caracterización de transporte de fluidos.
- PC con software instalado: TIA PORTAL y Labview con NI OPC Server.

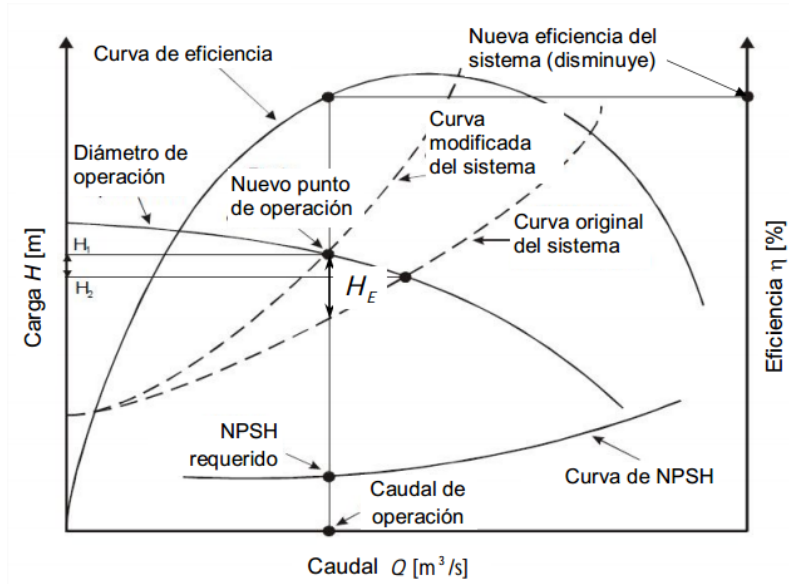
Regulación por electroválvula:

Estrangular una válvula en la descarga del sistema de tubería reduce el flujo de operación Q_{op} , incrementado los valores de la carga dinámica (Energía en pérdidas). El consumo de potencia se reduce, pero se incrementa la potencia gastada en pérdida.



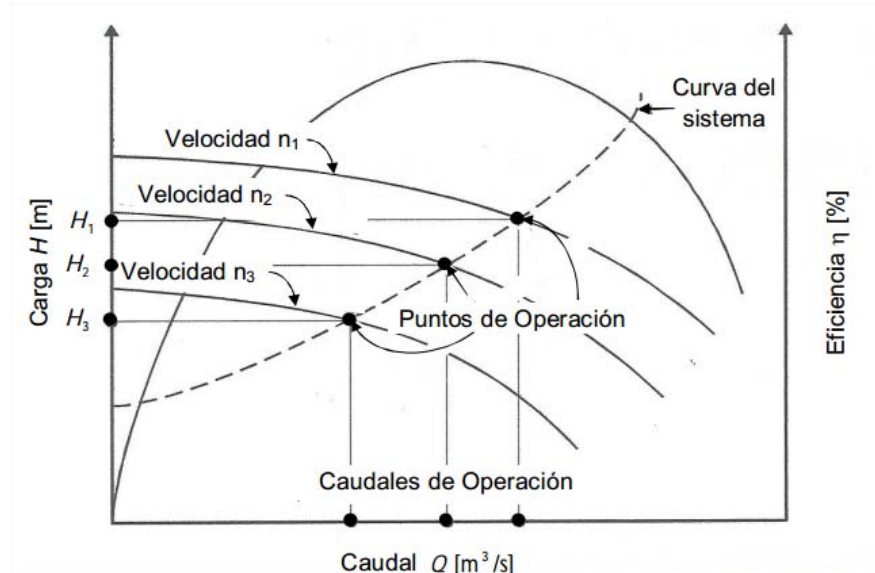
Limitaciones energéticas del método de regulación por estrangulamiento:

- Solamente permite reducir el flujo, si existiera necesidad de un flujo mayor se requiere de otro método.
- Aunque la potencia realmente consumida es menor y se paga menos, la cantidad de energía usada de forma útil es menor.
-



Regulación por variador de frecuencia:

En la actualidad el uso de los variadores de frecuencia permite el uso de este método por variación de la velocidad de rotación de la máquina. Al hacer funcionar la bomba a una nueva velocidad de rotación se obtiene un nuevo punto de operación por lo que se generan nuevos valores de carga, potencia, rendimiento, eficiencia y (NPSH)r.



Criterios técnicos y energéticos del método de regulación de la capacidad por variación de la frecuencia de rotación de la máquina.

- El cambio del punto de operación por la variación de la frecuencia tiene lugar a lo largo de la curva del sistema de tubería, lo cual garantiza que no ocurrirá un incremento en las pérdidas debido a la regulación.
- Al reducir las revoluciones se reduce la demanda de potencia lo cual resulta energéticamente conveniente.
- Este método de regulación a diferencia del método por estrangulamiento permite tanto reducir como incrementar el flujo durante la regulación, lo cual constituye una gran ventaja para la operación a cargas variables.
- El control de velocidad es el medio más eficaz para modificar las características de una bomba sujeta a condiciones de funcionamiento variables.

Leyes de semejanza:

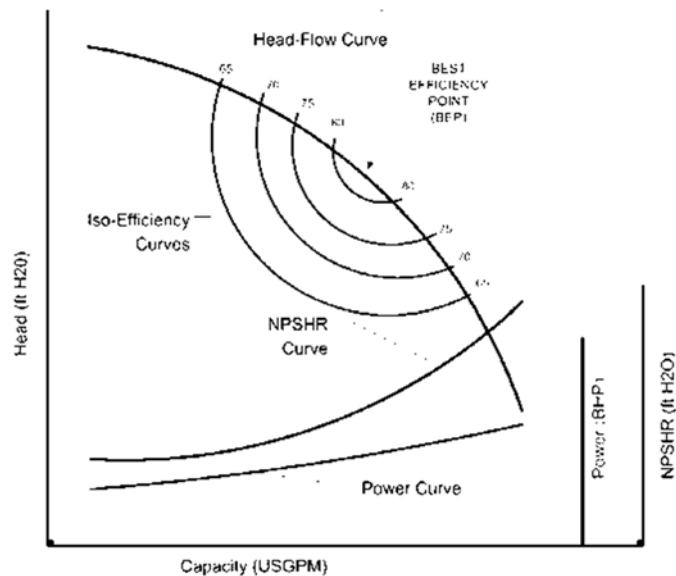
Las bombas centrífugas siguen una relación de semejanza para cuando cambia el diámetro del impulsor, o de la velocidad de giro. A continuación las relaciones de caudal, presión, y potencia dependiendo del cambio de rotación.

$\bullet \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$
$\bullet \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$
$\bullet \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$

Concepto de punto de máxima eficiencia (Best efficient point) BEP:

El proceso de selección de equipos de bombeo siempre tiene como objetivo hacerse a la bomba que según las especificaciones del fabricante tenga la máxima eficiencia de operación para una línea de flujo conocida y un caudal fijo.

Sin embargo en situaciones que requieren regulación de flujo la bomba estará trabajando en punto de menor eficiencia.



Así mismo se debe recordar que el punto de máxima eficiencia varia de según parámetros de la bomba, particularmente en esta práctica se verá cómo cambia al trabajar la bomba a distintas velocidades.

Procedimiento

Preliminares:

- Abrir los archivos de TIA PORTAL y Labview en el PC designado.
- Con la llave energizar el banco, encender PLC y sensores y esperar 2 min para estabilización de equipos.
- Conectar el PC al PLC mediante el cable Ethernet.
- Hacer la detección de equipo en el TIA PORTAL y desplegar la interfaz de Labview. Recuerde de que cuenta con el auxiliar para guiarlo a través de la experiencia.

Primera parte: REGULACIÓN CON ELECTROVALVULA

1. Ubíquese en la primera pestaña de la interfaz SCADA.
2. Mediante la perilla de la interfaz seleccione el porcentaje de apertura de la electroválvula que va analizar.
3. Tome un dato a cero rpm mediante el botón de captura de dato.
4. Varíe las RPM desde 1000 en rangos de 300 hasta llegar a 3100 y vaya capturando datos cada 10 segundos de estabilización.
5. Proceda a graficar las curvas mediante el botón graficar.
6. Realice un registro físico o virtual de la práctica para el informe.

Segunda parte: REGULACIÓN POR VARIADOR DE FRECUENCIA

1. Ubíquese en la segunda pestaña de la interfaz SCADA.
2. Ajuste distintos valores de apertura de la válvula y capture datos de caudal y presión en la tabla correspondiente a la velocidad de giro; ésta activa la bomba con el switch de la parte inferior.
3. Realice la regresión de las curvas que se observan en la interfaz y compare con las leyes de semejanza.
4. Realice un registro físico o virtual de la práctica para el informe.

Tercera parte: REGULACIÓN DUAL EN PUNTO DE MAXIMA EFICIENCIA.

1. Establezca un caudal de regulación como set point y un tipo de regulación con el switch.
2. Use el control automático para calcular los valores recomendados de RPM y porcentaje de apertura y proceda a regular.
3. Puede tomar varios caudales para ver el movimiento del punto de máxima eficiencia en regulación BEP.
4. En regulación a mínimo costo puede ajustar el valor de costo de energía para valores actualizados.
5. Tome varios puntos de caudal regulado y observe el cambio de costo de bombeo.
6. Realice un registro físico o virtual de la práctica para el informe.

ANEXO B: MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE: BANCO DE CARACTERIZACION DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

LABORATORIO DE STAF



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER
BUCARAMANGA

2016

**BANCO DE CARACTERIZACIÓN DE TRANSPORTE DE FLUIDOS DEL
LABORATORIO DE STAF.**

**CARLOS ANDRÉS TÉLLEZ FLÓREZ
GABRIEL AUGUSTO VÁSQUEZ HENAO**

**DIRECTOR
JAVIER RUGELES PEREZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA**

22/10/16

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Las siguientes son un compendio de recomendaciones para el mantenimiento preventivo y correctivo del banco de caracterización de transporte de fluidos.

Semanal: Revisión de polvo, y residuos de agua

Cada 8 días es aconsejable realizar una revisión de polvo y posibles depósitos de agua debajo del banco; y proceder a limpiar.

Cada 3 meses:

- Revisión de fugas
- Ajuste de pernos: En este caso se hará una inspección de los pernos de anclaje la estructura de soporte, las bases y los acoples de tubería.
- Revisión del cableado: Se inspecciona en busca de deformaciones por sobrecalentamiento o aprisionamiento. De encontrarse alguna de estas se debe proceder a su cambio, siempre respetando el calibre del cable afectado.
- Revisión de válvulas: Una a una se procede a hacer una apertura y cierre para conocer la integridad exterior y funcionalidad de las válvulas. De ser necesario se pueden lubricar para facilitar su accionamiento.
- Puesta en marcha general para inspección de ruidos, vibraciones y calentamientos.

Anual:

- Revisión de valores de medida de los sensores: Se compararán estos valores con las medidas teóricas y experimentales del momento de entrega del banco funcional; mediante esta comparativa se buscan fallas de alimentación o configuración de parámetros internos
- Revisión de valores de voltaje y corriente de la red de suministro fuentes y relés. Como todo sistema conectado a la red eléctrica es susceptible a anomalías a causa de fenómenos externos.
- Revisión de valores de presión y caudal de bombas: Este procedimiento aunque muy parecido al ítem uno, busca fallas internas propias de los equipos de impulsión: Cavitación, desgastes, obstrucciones o fugas.
- Revisión de velocidad de motor de bomba con el objetivo de constatar la integridad de los rodamientos del motor y la alimentación.

ANEXO C. MANUAL DE REUBICACION



**MANUAL DE REUBICACIÓN DE:
BANCO DE CARACTERIZACION
DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.**

LABORATORIO DE STAF.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER
BUCARAMANGA**



MANUAL DE REUBICACIÓN

**BANCO DE CARACTERIZACIÓN DE TRANSPORTE DE FLUIDOS DEL
LABORATORIO DE STAF.**

Carlos Andrés Téllez Flórez

Gabriel Augusto Vásquez Henao

DIRECTOR

ING. JAVIER RUGELES PEREZ

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

BUCARAMANGA

22/10/16

Contenido

	Pag.
Desinstalación.....	3
Reinstalación.....	8



DESINSTALACIÓN

0. Herramientas necesarias: Para intervenir en “Banco de caracterización de transporte de fluidos”, se necesitarán: Un “hombresolo”, Una llave de 19mm, dos destornilladores, un alicate, y una llave de expansión.

Nota 1: Se aconseja Realizar registro fotográfico, inventario y etiquetado para facilitar la reinstalación.

Figura 1. Herramienta mínima necesaria.

1. Apagado general

2. Desconectar cableado: Alimentación de corriente eléctrica, Alimentación de Caudalímetro, Alimentación de electroválvula, alimentación de motores.



3. Iniciar vaciado de tanque con la válvula inferior del tanque y tuberías con la válvula del ramal inferior de las 9 líneas.

Figura 2. Válvula de vaciado de ramal inferior.



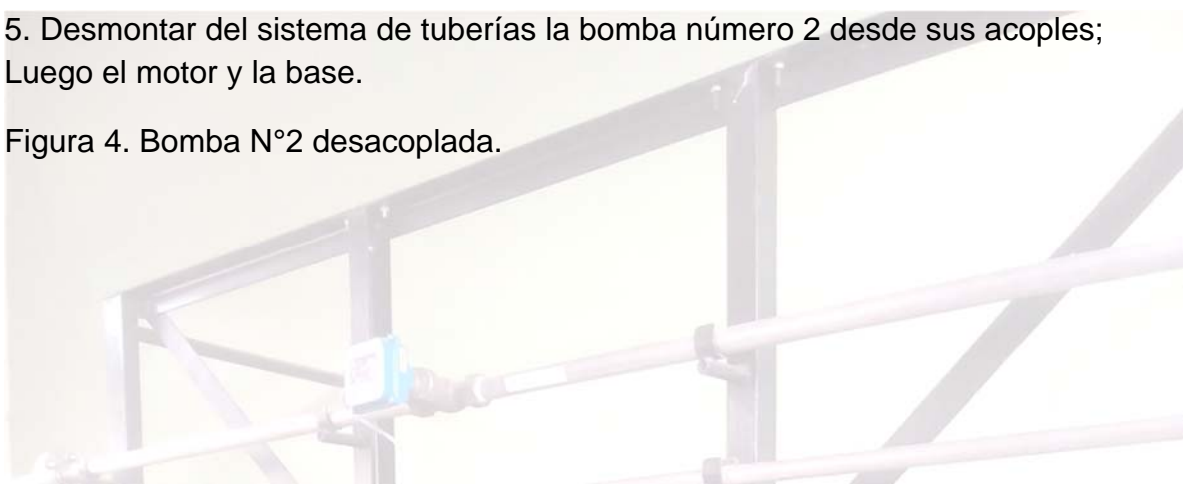
4. Desconectar mangueras de apoyo para medición de presión que llegan a los manómetros, y de vaciado.

Figura 3. Valvula de vaciado de sistema.



5. Desmontar del sistema de tuberías la bomba número 2 desde sus acoples; Luego el motor y la base.

Figura 4. Bomba N°2 desacoplada.





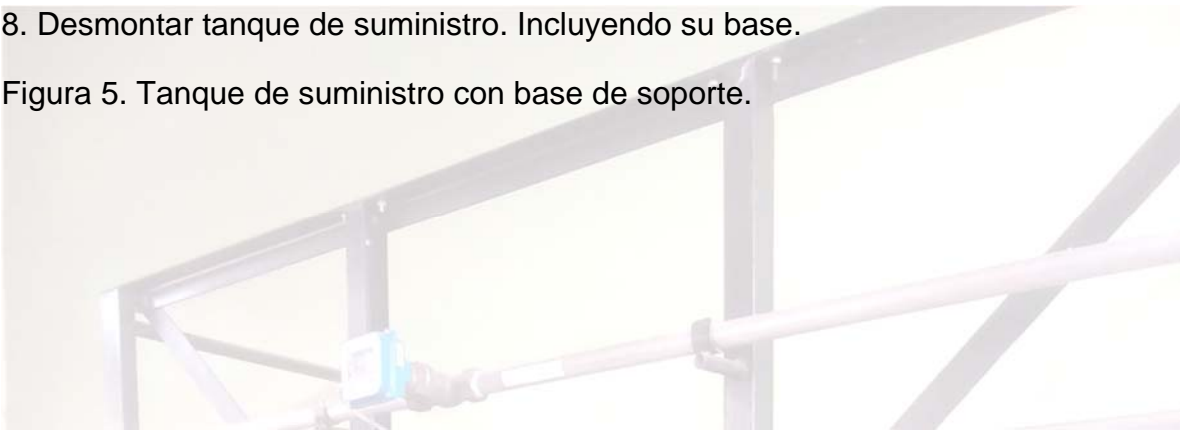
6. Desmontar la tubería que permite conexión de bombas en serie y paralelo. Nota1: Dada la cantidad de tramos, solo desmontar desde los acoples y etiquetar cada tramo.

Nota 2: La electroválvula no necesita ser removida de su tubería ni ser desensamblada en sí.

7. Desmontar Bomba 1 y su respectiva base.

8. Desmontar tanque de suministro. Incluyendo su base.

Figura 5. Tanque de suministro con base de soporte.





9. Desmontar línea de retorno donde está el caudalímetro.(el medidor de caudal no necesita ser removido de su tubería).
10. Desmontar ramales en 2 subconjuntos (superior e inferior) suficiente para salida de edificios, transporte y entrada a ellos.
11. Desarme de estructura de soporte de tuberías.

Figura 6. Ramales de tubería y estructura de soporte de hierro.





12. Desmontar de la pared la caja del conjunto de plc sensores y fuente. Y transportarla bien cerrada, con mucha precaución y preferiblemente siempre vertical tal como estaba instalada.

Figura. Caja de control.



Nota 3: Evitar completamente lluvia, salpicaduras o humedad.

REINSTALACIÓN

1. Asegúrese de contar con el espacio requerido para el banco recuerde que su volumen es: Alto=2.15 m, Ancho=6m y Prof.=1.5m en sus dimensiones máximas. Así como también posibilidad de perforar e incluir pernos en pared y suelo.
2. Perforar pernos de estructura de soporte.
3. Seguir los 12 pasos de desarme de manera inversa. (Incluir las perforaciones de las bases de bombas).
4. La reconexión del caudalímetro al PLC debe hacerse tal y como se desconectó.
- 5 La reconexión de la electroválvula al PLC será así:



En el módulo analógico del PLC ubíquese en la parte inferior (salidas analógicas) el cable azul de válvula al puerto 1M, Cable Negro al puerto 1 y Cable marrón al tierra a un costado del cable amarillo mostrado en la figura.

6. Terminada la instalación proceder a la puesta en marcha y Proceder con la inspección especificada en el manual de mantenimiento.