

MONTAJE ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y CONTROL COMPUTARIZADO DEL  
BANCO DE EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN TRANSPORTE DE  
LÍQUIDOS EN TUBERÍAS DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE  
TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ANDRÉS JULIÁN ESPARZA LEÓN  
CARLOS DAVID LÁZARO ANGARITA

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

2021

MONTAJE ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y CONTROL COMPUTARIZADO DEL  
BANCO DE EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN TRANSPORTE DE  
LÍQUIDOS EN TUBERÍAS DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE  
TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ANDRÉS JULIÁN ESPARZA LEÓN  
CARLOS DAVID LÁZARO ANGARITA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR:  
JAVIER RUGELES PÉREZ  
INGENIERO MECÁNICO

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

2021

## DEDICATORIA

*Principalmente a Dios quien fue mi fortaleza durante este recorrido, porque Él dice en su palabra "Así que no temas, porque yo estoy contigo, porque yo soy tu Dios. Te fortaleceré y te ayudaré; te sostendré con mi diestra victoriosa." Isaías 41:10.*

*A mi familia, mi madre y mis tías que me apoyaron tanto emocional como económicamente.*

*A mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo durante este tiempo.*

*A todas las personas que suben tutoriales académicos y técnicos a YouTube*

*Andrés Julián Esparza León*

## DEDICATORIA

*A DIOS por la bendición que es la vida*

*A mi madre, mi padre y toda mi familia por haberme apoyado en cada paso que di*

*Su confianza en mí es lo que me ha hecho llegar tan lejos*

*A mis compañeros y amigos que apoyaron el proceso de este proyecto de vida*

*En especial a Andrés Julián esparza León mi amigo, compañero y ahora colega*

*A komodo3000 la mejor comunidad y familia con la que he podido compartir*

*Carlos David Lázaro Angarita*

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	16
1. OBJETIVOS .....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
2. MARCO TEÓRICO .....	19
2.1 TRANSPORTE DE FLUIDOS .....	19
2.1.1 Elementos de impulsión .....	19
2.1.2 Elementos de transporte .....	23
2.2 MÉTODOS DE REGULACIÓN DE CAUDAL EN SISTEMAS DE BOMBEO ...	28
2.2.1 Control ON/OFF .....	28
2.2.2 Recirculación del fluido con una línea de derivación. ....	29
2.2.3 Uso de válvula en la descarga de la bomba. ....	29
2.2.4 Regulación por variación de velocidad del rodete .....	30
2.3 SISTEMAS SCADA .....	31
3. BANCO EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN TRANSPORTE DE LIQUIDOS EN TUBERÍAS .....	33
3.1 SUBSISTEMA DE IMPULSIÓN .....	34
3.1.1 Bombas Ecojet 130 .....	35
3.1.2 Líneas de succión y descarga, configuración de bombas .....	35
3.2 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE .....	36
3.2.1 Líneas de trabajo. ....	37
3.3 SUBSISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y DE CONTROL .....	39

3.3.1 Variador de frecuencia.....	40
3.3.2 Transductores de presión.....	41
3.3.3 Fluviómetro.....	41
3.3.4 Servo-válvula EV260B.....	42
3.3.5 Sensor de corriente.....	43
3.3.6 Controlador Lógico Programable (PLC).....	44
4. CORRECCIÓN A LAS FALLAS DEL BANCO DE LABORATORIO.....	46
4.1 REPARACIÓN DE FUGAS.....	46
4.2 CAMBIO DE VÁLVULAS DE GLOBO.....	47
4.3 RECABLEADO DEL TABLERO DE CONTROL:.....	48
4.4 INSTALACIÓN DEL MOTOR DE LA BOMBA.....	49
4.5 REPARACIÓN DE RODETES.....	50
4.6 REPARACIÓN BOMBA CON MOTOR TRIFÁSICO.....	51
4.7 MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	51
4.8 MEDICIONES DEL FLUJÓMETRO.....	51
4.9 MANGUERAS DE SUCCIÓN, DESCARGA Y LÍNEAS DE TRABAJO.....	52
4.10 CALIBRACIÓN DE TRANSDUCTORES.....	52
4.11 TRAMO DE TUBERÍA DE RETORNO.....	52
4.12 ENTRADA DE LA TUBERÍA AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	52
4.13 CONDENSADOR DE MARCHA.....	53
5. DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE OPERACIÓN.....	55
5.1 PROGRAMACIÓN EN TIA PORTAL.....	55
5.1.1 Adquisición de señales analógicas.....	55
5.2 COMUNICACIÓN MEDIANTE OPC SERVER.....	58
5.3 INTERFAZ GRÁFICA EN LABVIEW.....	59
5.3.1 Esquema del banco y obtención del consumo del sistema.....	60

5.3.2 Punto de funcionamiento del sistema. ....	64
5.3.3 Comparación de las curvas de la bomba en serie, paralelo y sola. ....	67
5.3.4 Regulación del caudal mediante la servo-válvula. ....	69
5.3.5 Obtención de las curvas de la bomba. ....	71
6. PRÁCTICAS.....	74
6.1 DETERMINAR LAS DIFERENCIAS DE CONSUMO ENERGETICO AL REGULAR EL CAUDAL.....	74
6.2 OBTENER LAS CURVAS DEL SISTEMA Y EL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO .....	74
6.3 OBTENER LAS CURVAS DE BOMBAS CONFIGURADAS EN SERIE, PARALELO O SOLA.....	75
6.4 EVALUAR LOS METODOS DE REGULACION EN UN SISTEMA DE BOMBEO .....	75
6.4.1 Regulación mediante una válvula en la descarga de la bomba. ....	75
6.4.2 Regulación mediante la variación de la velocidad del rodete de la bomba. ...	76
7. CONCLUSIONES.....	77
8. RECOMENDACIONES .....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	83

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Líneas de trabajo.....	38
---------------------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Tipos de bombas de desplazamiento positivo .....	20
<b>Figura 2</b> Bomba centrífuga.....	21
<b>Figura 3</b> Curvas características de una bomba centrífuga a un tamaño de rodete y unas RPM fijas.....	22
<b>Figura 4</b> Curva característica de bombas en serie y paralelo .....	23
<b>Figura 5</b> Balance en tubería de sección constante .....	24
<b>Figura 6</b> Perdida singular en una válvula .....	27
<b>Figura 7</b> regulación de caudal mediante Bypass.....	29
<b>Figura 8</b> Regulación de una bomba centrífuga mediante válvula.....	30
<b>Figura 9</b> Regulación de una bomba centrífuga mediante variador de frecuencia .	31
<b>Figura 10</b> Subsistema de impulsión .....	34
<b>Figura 11</b> configuración de las líneas de succión y descarga para el trabajo de las bombas. ....	36
<b>Figura 12</b> Subsistema de transporte del banco.....	37
<b>Figura 13</b> Subsistema eléctrico, electrónico y de control .....	40
<b>Figura 14</b> Flujómetro .....	42
<b>Figura 15</b> Servo-válvula Danfoss EV260B junto con diagrama de regulación .....	43
<b>Figura 16</b> Sensor de corriente.....	43
<b>Figura 17</b> PLC Siemens S7-1200 junto con el módulo analógico .....	45
<b>Figura 18</b> Corrección de las fugas .....	47
<b>Figura 19</b> Asiento de la válvula de globo partido.....	48
<b>Figura 20</b> Tablero de control antes y después .....	49

<b>Figura 21</b> Instalación de la bomba con motor trifásico .....	50
<b>Figura 22</b> Daño del rodete antes y después .....	50
<b>Figura 23</b> Adecuación del tanque al tramo de retorno .....	53
<b>Figura 24</b> condensador de marcha instalado .....	54
<b>Figura 25</b> Segmento para el encendido del variador de frecuencia .....	56
<b>Figura 26</b> Segmento para el control de las RPM del motor.....	56
<b>Figura 27</b> Segmento para el control de apertura de la servo-válvula.....	56
<b>Figura 28</b> Segmento para la adquisición de la presión de succión de la bomba...	57
<b>Figura 29</b> Segmento para la adquisición de la presión de descarga de la bomba	57
<b>Figura 30</b> Segmento para la adquisición de la presión diferencial de las líneas de trabajo.....	57
<b>Figura 31</b> Segmento para la adquisición de la señal de caudal .....	58
<b>Figura 32</b> Segmento para la adquisición de la señal de corriente.....	58
<b>Figura 33</b> Variables creadas en el NI OPC Server.....	59
<b>Figura 34</b> Bloque de control “tab control” .....	60
<b>Figura 35</b> Interfaz esquemático del banco .....	60
<b>Figura 36</b> Diagrama de bloques gráfico del escalado y conversión de los datos adquiridos .....	62
<b>Figura 37</b> diagrama de bloques grafico del cálculo de valores promedios de los datos adquiridos.....	63
<b>Figura 38</b> diagrama de bloques para el ON/OFF del variador, RPM y porcentaje de apertura .....	64
<b>Figura 39</b> Panel frontal para la obtención del punto de funcionamiento del banco .....	65

<b>Figura 40</b> Diagrama de bloques para el cálculo de la altura para cada línea de trabajo.....	66
<b>Figura 41</b> Diagrama de bloque para la toma de datos y obtención de las gráficas de la bomba y la del sistema .....	67
<b>Figura 42</b> Panel frontal para la comparación de las curvas de la bomba en serie, paralelo y sola.....	68
<b>Figura 43</b> Diagrama de bloques para la captura y gráfica de los datos de la bomba en serie, paralelo y sola .....	69
<b>Figura 44</b> Panel frontal para la regulación de la apertura de la servo-válvula.....	70
<b>Figura 45</b> Diagrama de bloques para la captura y gráfica de los datos .....	71
<b>Figura 46</b> Interfaz para la obtención de las diferentes curvas de la bomba .....	72
<b>Figura 47</b> Diagrama de bloques tipo case para la variación de rpm por Hz.....	72
<b>Figura 48</b> Diagrama de bloques para la obtención y graficación de los datos .....	73

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA .....	83
ANEXO B. MANUAL DE USO .....	85
ANEXO C. MANUAL DE MANTENIMIENTO .....	115

## Glosario

**Caudal:** cantidad de fluido que circula por la tubería en unidad de tiempo

**Rugosidad:** propiedad física de las superficies que mide las irregularidades que esta posee (puede variar dependiendo del material o del acabado superficial de este)

**Tuberías en serie:** son un número  $n$  de tuberías de tal forma que estas están posicionadas una después de otra, estas pueden diferenciarse tanto en los diámetros que poseen como en la rugosidad de estas.

**Tuberías en paralelo:** son un número  $n$  de tuberías las cuales se originan desde un mismo punto en común (nodo) y eventualmente terminan en otro nodo común,

**SCADA:** se conoce en español como Control Supervisor y Adquisición de Datos, permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema.

## RESUMEN

### TÍTULO:

MONTAJE ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y CONTROL COMPUTARIZADO DEL BANCO DE EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN TRANSPORTE DE LÍQUIDOS EN TUBERÍAS DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER\*

**AUTORES:** ANDRÉS JULIÁN ESPARZA LEÓN  
CARLOS DAVID LÁZARO ANGARITA\*\*

### PALABRAS CLAVE:

Fluidos, Tuberías, Laboratorio, Bomba, Presión.

### DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es recuperar el banco de pruebas que se encontraba en desuso en el laboratorio de STAF, para lo cual fue necesario llevar a cabo ciertos procedimientos para la recuperación de los siguientes sistemas:

- sistema mecánico: se les dio mantenimiento correctivo a los rodetes de las bombas, se agregó un tramo de tubería faltante en la línea de retorno a tanque, se cambiaron los sellos de las bridas necesarios para el funcionamiento del banco, con teflón se eliminaron las fugas que había en alguna líneas de tuberías, se instaló un motor trifásico faltante en una de las bomba y se colocaron las mangueras de alta presión necesarias para la toma de presión en el subsistema de transporte y en el subsistema de impulsión y almacenamiento.
- Sistema eléctrico y electrónico: se reconectó el cableado suelto del tablero de control, se realizaron las conexiones eléctricas de los motores.
- Sistema de control: se desarrollaron totalmente los programas de control para un funcionamiento automatizado del banco de pruebas usando el software TIA Portal para la programación del PLC siemens S7 1200 y mediante un servidor OPC con el software de muestreo LABVIEW se realizó la interfaz gráfica.

El resultado es un banco completamente funcional donde los estudiantes podrán experimentar y visualizar las pérdidas que se dan en una línea de tuberías, la obtención de las curvas características de bombas en serie y paralelo y la determinación de las diferencias de consumo energético que se presentan al regular el caudal.

---

\* Trabajo de grado

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

## ABSTRACT

### TITLE:

ELECTRICAL, ELECTRONIC AND COMPUTERIZED CONTROL ASSEMBLY OF THE ENERGY CONSUMPTION ASSESSMENT IN TRANSPORT OF LIQUIDS IN PIPES'S BENCH OF THE LABORATORY OF TRANSPORTATION SYSTEMS AND USE OF FLUIDS OF THE SCHOOL OF MECHANICAL INDUSTRIAL ENGINEERING OF THE UNIVERSITY INDUSTRIAL OF SANTANDER\*

**AUTHOR:** ANDRÉS JULIÁN ESPARZA LEÓN  
CARLOS DAVID LÁZARO ANGARITA\*\*

### KEYWORDS:

Fluids, Pipeline, Laboratory, Pump, Pressure.

### DESCRIPTION:

The objective of this project is to recover the test bench that was in disuse in the STAF laboratory, for which it was necessary to carry out certain procedures for the recovery of the following systems:

- mechanical system: corrective maintenance was given to the impellers of the pumps, a section of missing pipe was added in the return line to the tank, the flange seals necessary for the operation of the bank were changed, with Teflon tape the leaks in some pipelines were eliminated, a missing three-phase motor was installed in one of the pumps and the high-pressure hoses necessary for the pressure taking were placed in the transport subsystem and in the pump and storage subsystem.
- Electrical and electronic system: the loose wiring of the control board was reconnected; the electrical connections of the motors were made.
- Control system: the control programs for an automated operation of the test bench were fully developed using the TIA Portal software for programming the Siemens S7 1200 PLC and using an OPC server with the LABVIEW sampling software the graphical interface was created.

The result is a fully functional bench where students will be able to experience and visualize the losses that occur in a line of pipes, obtaining the characteristic curves of series and parallel pumps and determining the differences in energy consumption that occur when regulate the flow.

---

\* Degree work

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

## INTRODUCCIÓN

El banco de pruebas para la evaluación de consumo de energía en un sistema de transporte de líquidos en tuberías fue pensado para suministrar a los estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica, un conjunto de experiencias de gran importancia para una mejor profundización en el área del transporte de fluidos. Con este fin mediante la elaboración de cuatro proyectos de grado se logró desarrollar el actual banco de laboratorio, el cual inicio en el año 2004 con el diseño y selección de los materiales, transductores y bombas, siguió en el 2010 con la construcción, después en el 2013 con la implementación de un sistema de monitoreo y culminó en el 2016 con la ejecución de un sistema regulación automática basados en la variación de apertura de una servo-válvula y la velocidad de giro de la bomba.

Con la construcción del nuevo edificio de la escuela de ingeniería mecánica, el cual fue entregado en el año 2018, fue necesario un proceso de desmantelamiento de los antiguos laboratorios en donde se desinstalaron varios bancos de pruebas, entre estos se encontraba el banco de evaluación de pérdidas de energía en tuberías. Debido a esto la escuela está interesada en el adecuamiento de cada uno de estos bancos para volver a recuperar el máximo nivel operativo de los laboratorios.

Para cumplir con este cometido en el banco de evaluación de consumo energético en tuberías, se revisaron los diferentes subsistemas que componen al banco, tanto mecánicos, eléctricos, electrónicos y control computarizado, con el fin de corregir las fallas que se presentaron en cualquiera de estos y así lograr el óptimo desempeño del equipo.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con la misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander en la formación técnica y científica con alta calidad profesional, ampliando sus experiencias académicas en el campo de sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos con el montaje eléctrico, electrónico y control computacional del banco de evaluación de consumo energético en transporte de líquidos en tuberías del laboratorio de STAF UIS.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adecuar el banco de evaluación de consumo energético en transporte de líquidos en tuberías, mediante las correcciones de cada una de las fallas encontradas durante la inspección:
  - Ensamblar el subsistema de impulsión y almacenamiento de agua junto con el de transporte.
  - Cablear el tablero de control (subsistema de potencia y control) junto con la calibración de los sensores acoplados al banco.
  - Una vez montado todo el sistema corregir las posibles fugas que se presenten y realizar un mantenimiento a las válvulas que lo requieran.
  - Desarrollar el sistema de adquisición de datos y control de los actuadores del equipo mediante la plataforma computacional LabVIEW.

- Elaborar un manual para el desarrollo de las siguientes prácticas de laboratorio:
  - Estudio del flujo de fluidos en tuberías, válvulas y accesorios, variando todos los parámetros que intervienen en este fenómeno, como: velocidad de flujo, diámetro, rugosidad, longitud de tubería y tipo de válvula o accesorio.
  - Análisis del comportamiento hidráulico de tuberías en serie y paralelo.
  - Obtención de las curvas características de una bomba configurada en serie, paralelo y sola.
  - Determinación de las diferencias de consumo energético que se presentan en un sistema de tuberías, cuando se regula el caudal por medio de la apertura o cierre de una servoválvula a la salida de las bombas a unas RPM fijas, variando las RPM de la bomba con un porcentaje de apertura de la servoválvula fija y variando ambos parámetros.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 TRANSPORTE DE FLUIDOS

Un fluido es una sustancia en la que sus moléculas presentan gran movilidad y se mueven libremente debido a la poca cohesión que existe entre ellas, este término hace referencia tanto a los líquidos como a los gases. En el presente proyecto solo se describirá el transporte de líquidos.

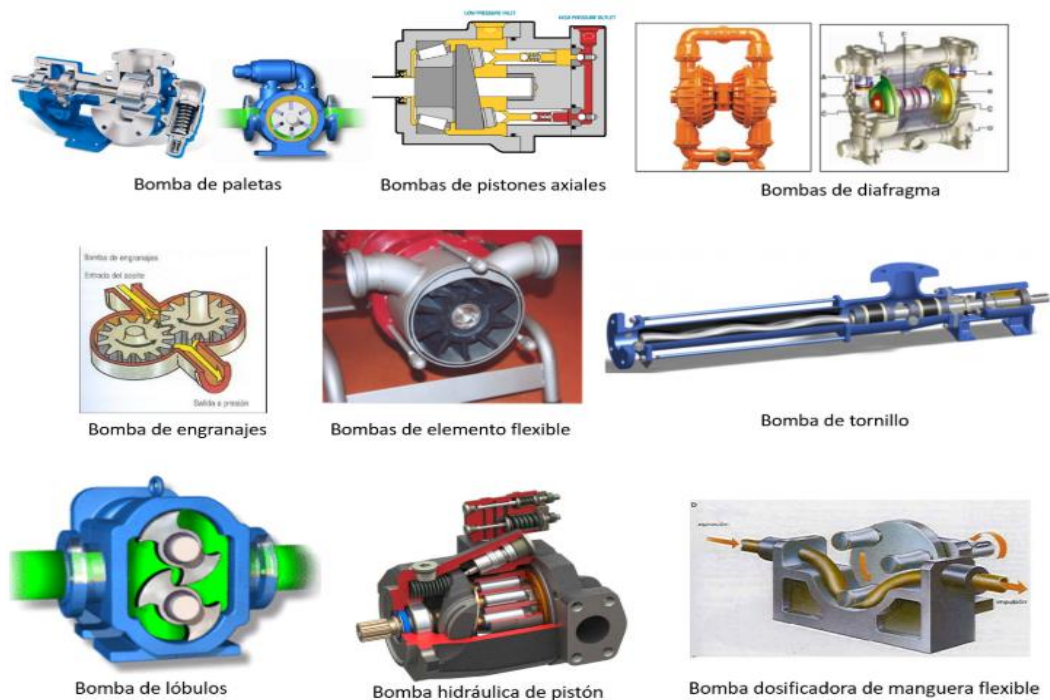
**2.1.1 Elementos de impulsión.** Estos elementos hacen referencia a las bombas, las cuales se deben usar cuando el líquido a transportar no cuenta con la diferencia de presión o la altura necesaria para el flujo natural.

La función de una bomba es incrementar la presión del líquido con el fin de transportarlo de un punto a otro a través de un sistema de tuberías o para su uso en un proceso. En la mayoría de los casos la presión es creada por la conversión de la energía cinética del líquido en energía de presión.

La presión generada por la bomba desde su origen en un punto inicial debe ser tal que venza la resistencia de fricción entre el líquido y el interior de la tubería a lo largo de toda la longitud de esta, también la diferencia de altura entre el punto de destino y el de origen, y si además se quiere que el líquido realice un trabajo adicional se requiere que este llegue con la presión necesaria para ello.

**2.1.1.1 Tipos de bombas.** Diferentes tipos de bombas son usadas en la industria para el transporte de líquidos. La más común y con la que se trabajara en el banco de laboratorio es la bomba centrífuga. Otros tipos de bombas son las reciprocantes y rotativas, las cuales también son llamadas de desplazamiento positivo, ya que, en cada ciclo de bombeo o rotación la bomba entrega un volumen fijo, el cual depende de la geometría de la bomba y de la velocidad de rotación o reciprocidad, en la figura 1 se observa los diferentes tipos de bombas. El volumen de líquido bombeado por estas bombas es independiente de la presión generada, además se generan una gran cantidad de presión comparadas con las centrífugas.

**Figura 1** Tipos de bombas de desplazamiento positivo



Fuente: PORTALELECTROMECHANICO. bombas de desplazamiento positivo. [en línea]. (recuperado en 15 junio 2020). Disponible en: [http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/BombasHidraulicas/bombas\\_de\\_desplazamiento\\_positivo.html](http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/BombasHidraulicas/bombas_de_desplazamiento_positivo.html)

Las bombas centrífugas son capaces de proporcionar un amplio rango de flujo en un rango de presión determinada, por lo tanto, la presión generada por este tipo de bombas depende de la tasa de flujo de las bombas. Debido a la variación del flujo en relación con la presión, las bombas centrífugas son más flexibles y se utilizan más comúnmente. En la figura 12 se observa este tipo de bomba.

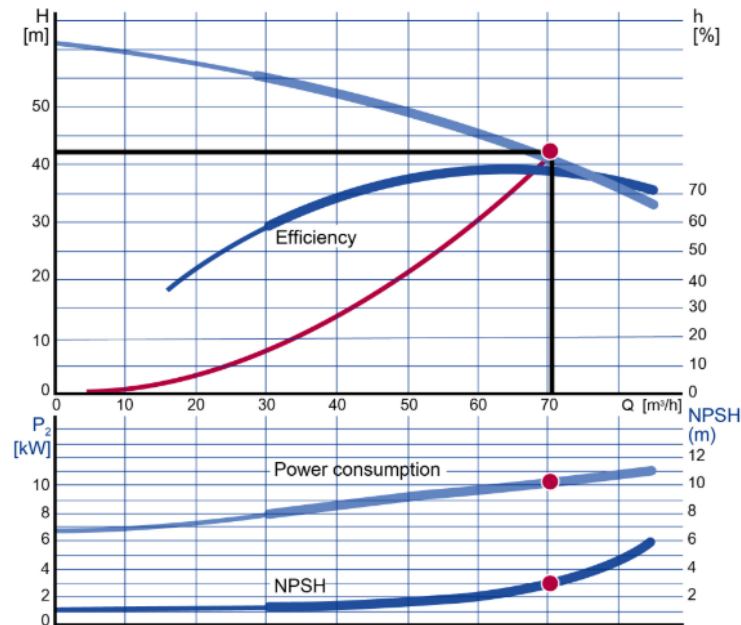
**Figura 2** Bomba centrífuga



**Fuente:** SEGUAS. Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas. [en línea]. (recuperado en 15 junio 2020). Disponible en: <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>

**2.1.1.2 Curvas características de las bombas.** Las curvas características de una bomba son graficas que representan la relación única de cabeza, eficiencia, consumo de potencia y NPSH vs caudal que garantiza dicha bomba a determinada velocidad de rotación de su impulsor o rodete, tal como se muestra en la figura 3.

**Figura 3** Curvas características de una bomba centrífuga a un tamaño de rodete y unas RPM fijas

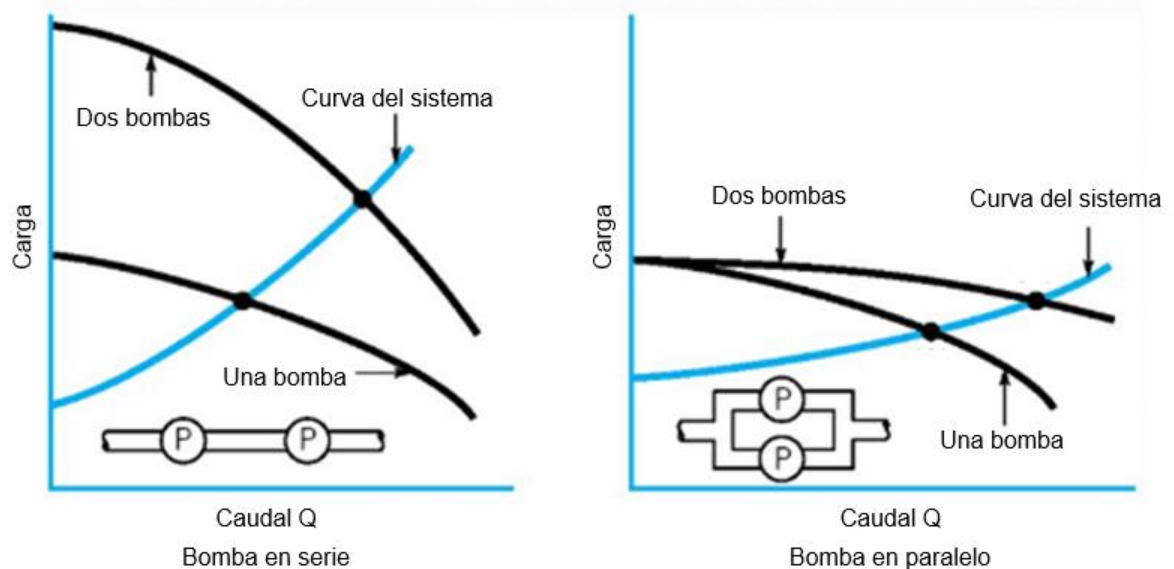


**Fuente:** GRUNDFOS. Las curvas de las bombas. [en línea]. (recuperado en 15 junio 2020). Disponible en: <https://es.grundfos.com/Formacion-en-bombas/ecademy/all-topics/basic-principles-and-pump-types/about-pump-curves.html>

Estas graficas son generadas por cada fabricante para sus modelos de bombas y por medio de la cual se puede seleccionar la bomba adecuada en función del punto de operación de la instalación en la que se dispondrá

**2.1.1.3 Configuración de bombas.** Las bombas pueden ser configuradas en serie o paralelo según lo requiera la aplicación en la que se vayan a emplear, en el primer caso la cabeza aportada por cada bomba se sumará para un mismo caudal; y en el segundo se sumaran los caudales de cada bomba para una misma presión de trabajo, sus curvas se muestran en las figuras 4.

**Figura 4** Curva característica de bombas en serie y paralelo



**Fuente:** DENIZ, Carmelo. Flujos y bombas. [en línea]. (recuperado en 15 junio 2020). Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/2457769/>

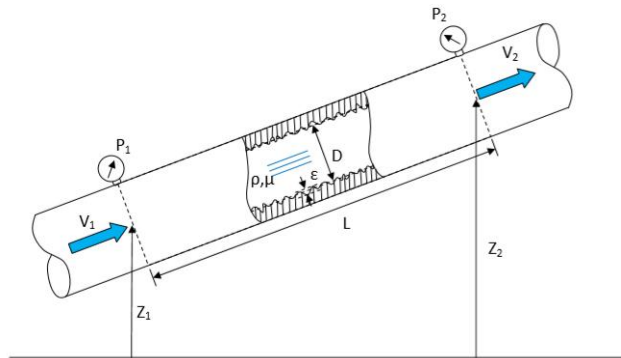
**2.1.2 Elementos de transporte.** Los elementos que se usan para el transporte de líquidos son los que se disponen entre el punto de partida hasta donde se desea llevar, estos comprenden tuberías, válvulas y accesorios.

El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, la cual, suele expresarse en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante, que se denomina pérdida de carga y tiene dimensiones de longitud. La pérdida de carga está relacionada con distintas variables fluidodinámicas que dependen del tipo de fluido, ya sea laminar o turbulento; además se tienen pérdidas de carga lineales, que se presentan a lo largo de la tubería, y pérdidas de carga singulares, que dependen de los accesorios instalados en la tubería, como codos, válvulas, etc.

**2.1.2.1 Pérdidas lineales.** Las pérdidas lineales son pérdidas de presión producidas por la fricción de las partículas del líquido contra las paredes de la tubería.

Realizando un balance de energía para un flujo incompresible estable en una sección constante de tubería, como se muestra en la figura 5, se obtiene la expresión de pérdida.

**Figura 5** Balance en tubería de sección constante



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - h_{f12} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (1)$$

Donde:

P: es la presión

V: es la velocidad del líquido

Z: es la altura desde un punto de referencia

hf: es la pérdida de carga debido a la fricción

g: es la aceleración de la gravedad

considerando continuidad:

$$Q_1 = Q_2 = Q \quad (2)$$

$$V_1 = V_2 = V \quad (3)$$

Donde:

Q: corresponde al caudal o flujo del líquido en la tubería

Se obtiene la ecuación de energía sin la expresión de velocidad

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 - h_{f12} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \quad (4)$$

Se define la altura piezométrica (H) en un punto i cualesquiera del tramo de tubería

$$H_i = \frac{P_i}{\gamma} + Z_i \quad (5)$$

La pérdida de carga debida a la fricción está definida por:

$$h_{f12} = \frac{8 * f * L}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2 \quad (6)$$

Donde:

f: es el factor de fricción de Darcy

L: es la longitud de la tubería

D: es el diámetro de la tubería

Para poder definir el factor de fricción es necesario saber el tipo de flujo, laminar o turbulento, las cuales dependen del valor de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, es decir el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería:

$$f = f\left(Re, \frac{\epsilon}{D}\right) \quad (7)$$

Donde el número de Reynolds es igual a:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (8)$$

Donde:

$\rho$  es la densidad del líquido

$\mu$  es la viscosidad dinámica o absoluta

El factor de fricción puede ser simplificado dependiendo si el tipo de fluido está en régimen turbulento o laminar.

- Para fluido laminar en donde  $Re < 2000$

$$f = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

- Para  $4000 < Re$  que corresponde a la zona de turbulencia comprendida entre la zona de transición ( $2000 < Re < 4000$ ) y de total turbulencia ( $Re \rightarrow \infty$ ) se emplea la expresión de C.F. Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 * \ln \left( \frac{\epsilon}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (10)$$

- Para la zona a total turbulencia donde  $Re \rightarrow \infty$

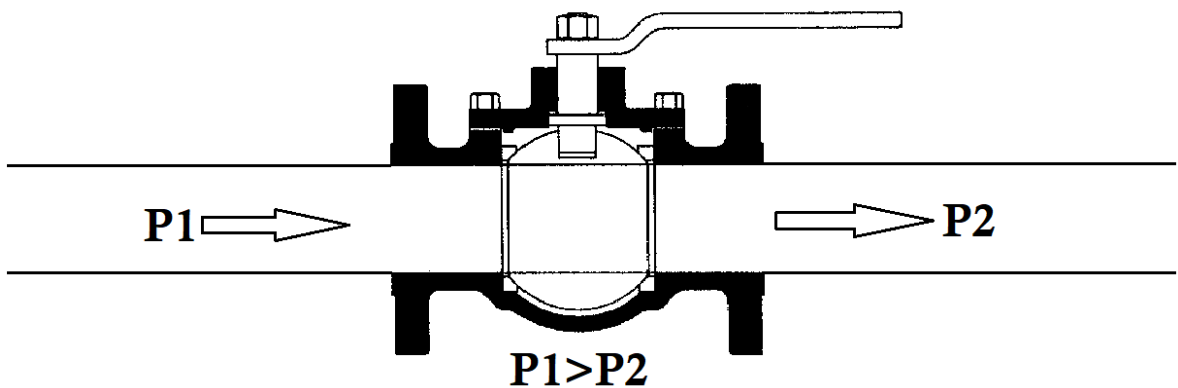
$$f_T = \frac{1}{\left( 0.86 * \ln \left( \frac{\epsilon}{3.7 D} \right) \right)^2} \quad (11)$$

Como alternativa para encontrar el factor de fricción se tiene el diagrama de Moody, el cual es una serie de curvas logarítmicas en función del número de Reynolds y la

rugosidad relativa, ya que en la ecuación de Colebrook no es fácil expresar el factor de fricción directamente en términos de otros valores.

**2.1.2.2 Perdidas singulares.** Las pérdidas singulares son las producidas por cualquier obstáculo que presente la sección continua de la tubería y que represente una mayor o menor obstrucción del paso del flujo, ya sean codos, cambios de sección, entradas o salidas, válvulas, etc. Estas se dan en una pérdida de presión en el fluido que pasa atreves del accesorio como se puede ver en la figura 6.

**Figura 6** Pérdida singular en una válvula



**Fuente:** GRUPO COMPÁS. **Válvulas de bola del Grupo Compás.** [en línea]. (recuperado en 15 junio 2020). Disponible en: <http://valvula.es/Tipos-de-valvulas/Valvulas-de-bola.php>

Normalmente estas pérdidas son pequeñas comparadas con las lineales, a excepción que se trate de válvulas muy cerradas. Para el cálculo se usa la siguiente expresión:

$$h_{L12} = \frac{8 * K_{12}}{\pi^2 * g * D^4} * Q^2 \quad (12)$$

Donde:

$K_{12}$ : es el coeficiente de perdidas singulares

Otra forma de expresar las perdidas por singularidad es obtener una longitud adicional a la tubería, longitud equivalente ( $L_{eq}$ ), relacionándola con el coeficiente de perdidas singulares por medio de la siguiente ecuación:

$$L_{eq} = K * \frac{D}{f} \quad (13)$$

El valor de K lo proporcionan los manuales de cálculo o los fabricantes de los accesorios y estos dependen del tipo de accesorio. La carga total por singularidad será la sumatoria de cada perdida aportada por cada accesorio.

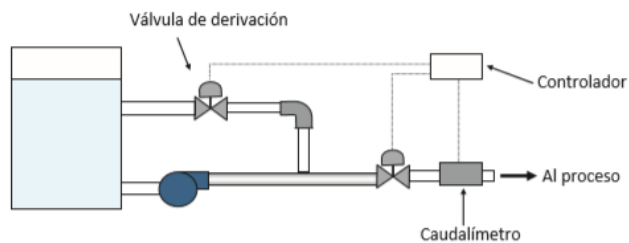
## 2.2 MÉTODOS DE REGULACIÓN DE CAUDAL EN SISTEMAS DE BOMBEO

En algunas de aplicaciones donde se emplean bombas no es necesario que estas funcionen a toda su capacidad todo el tiempo, por ejemplo, las usadas en los sistemas de refrigeración, calderas, sistemas de agua potable o sanitaria, etc. la carga varia, ya que la demanda o consumo está aumentando y disminuyendo todo el tiempo. Por eso en este tipo de prácticas es necesario controlar la cabeza y el caudal que entrega la bomba, para esto se tiene diferentes métodos y cada uno con sus ventajas y desventajas.

**2.2.1 Control ON/OFF.** Es el sistema de control más simple y como su nombre lo indica consiste en encender y apagar la bomba según lo requiera la demanda. Este tipo de control se usa en sistemas de bombeo pequeños y no es recomendado en sistemas donde se tengan encendidos y apagados frecuentes.

**2.2.2 Recirculación del fluido con una línea de derivación.** Este método se emplea en sistemas de bombeo grandes en los cuales no es conveniente tener que estar encendiendo y apagando la bomba. Para su implementación es necesario el uso de dos válvulas, una para el sistema de derivación y la otra para el flujo a proceso, como se muestra en la figura 7.

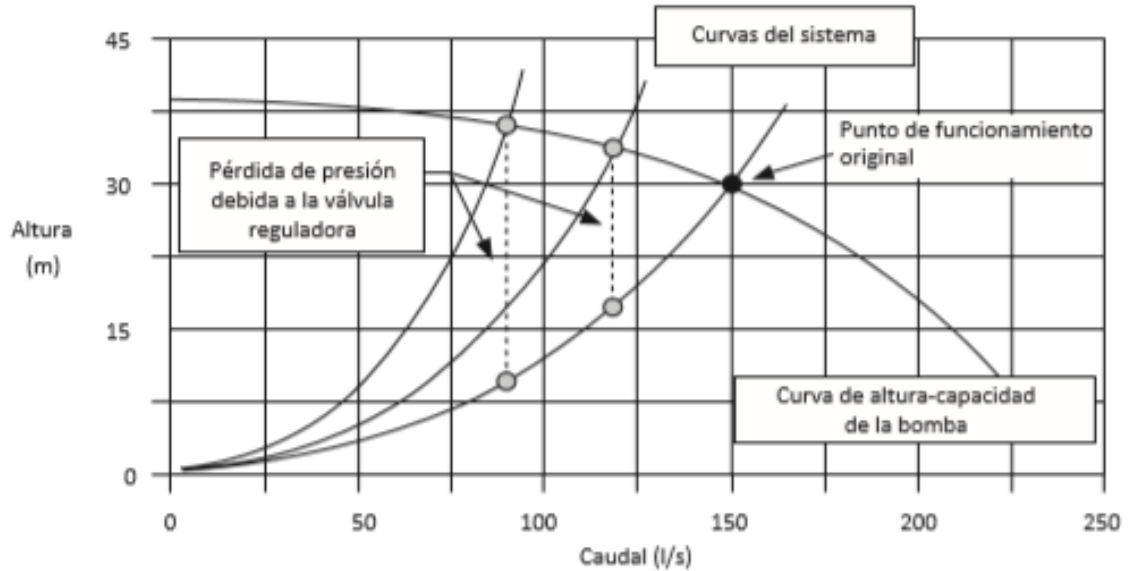
**Figura 7** regulación de caudal mediante Bypass



**Fuente:** Eficiencia energética industrial en Colombia. Manual de optimización de sistemas de bombeo. Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018. P. 92-95.

**2.2.3 Uso de válvula en la descarga de la bomba.** Consiste en emplear una o varias válvulas a la zona de descarga de la bomba, esto permite controlar la presión y el caudal del sistema. Mediante este método el punto de funcionamiento sobre la curva de la bomba se desplazará hacia izquierda, ya que la cabeza por fricción del sistema aumentará influyendo en la pendiente de la curva del sistema, como se observa en la figura 8.

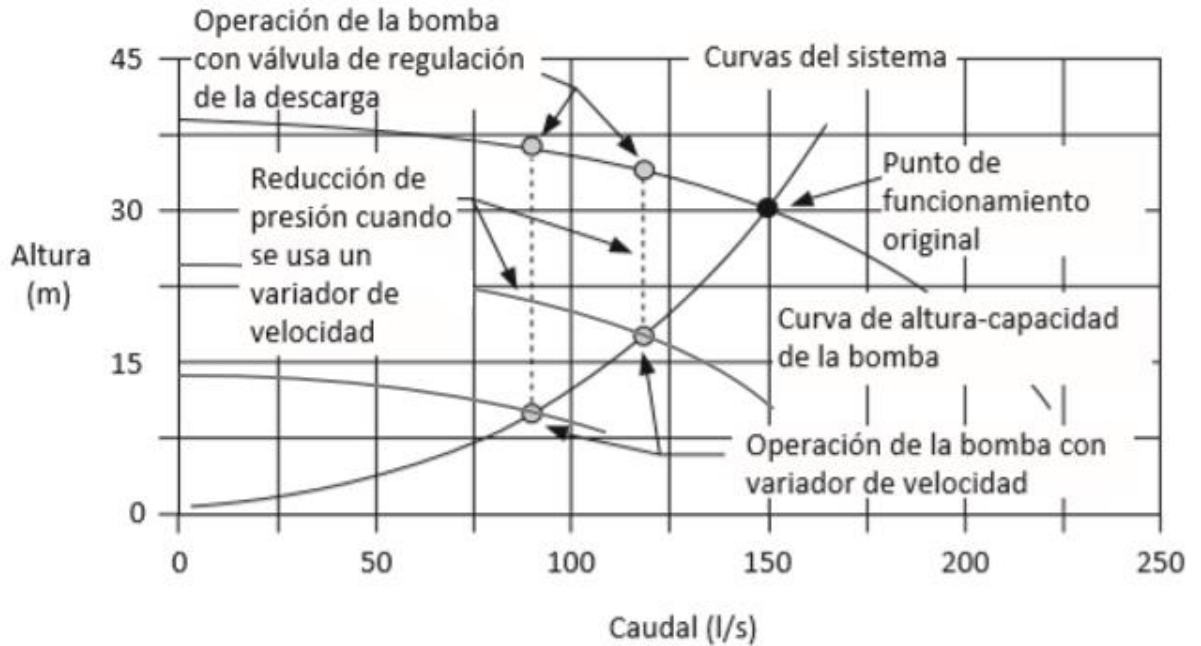
**Figura 8** Regulación de una bomba centrífuga mediante válvula



**Fuente:** Eficiencia energética industrial en Colombia. Manual de optimización de sistemas de bombeo. Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018. P. 92-95.

**2.2.4 Regulación por variación de velocidad del rodete.** Debido a que la curva característica de una bomba se genera a unas revoluciones por minuto fijas, al variar esta velocidad se cambiará dicha curva y no la del sistema como sucede en el caso anterior, de esta forma los nuevos puntos de funcionamiento se desplazarán sobre la curva de cabeza del sistema, como se observa en la figura 9. Para poder modificar la velocidad del impulsor se emplean variadores de frecuencia sobre el motor de la bomba.

**Figura 9** Regulación de una bomba centrífuga mediante variador de frecuencia



**Fuente:** Eficiencia energética industrial en Colombia. Manual de optimización de sistemas de bombeo. Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018. P. 92-95.

El uso de válvula o variador de frecuencia afecta la eficiencia en la que trabajará la bomba, por lo tanto, es importante hacer una buena selección del método de control para obtener la mejor relación de energía por unidad de volumen que se bombea.

### 2.3 SISTEMAS SCADA

Los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, SCADA (acrónimo por sus siglas en inglés Supervisory Control and Data Acquisition), son un conjunto de aplicaciones de software diseñadas para trabajar con ordenadores de control de producción, con acceso a la planta o proceso por medio de la comunicación entre instrumentos y actuadores, y una interfaz gráfica para ordenadores.

Los SCADA se han utilizado en yacimientos de gas y petróleo, control de oleoductos, redes de distribución de gas natural, sistemas de transmisión de energía eléctrica y generación de energía.

Por medio de la aplicación de los sistemas SCADA se puede garantizar la calidad y eficiencia del proceso que se esté monitoreando, ya que, estos permiten la recolección de la información, la transferencia de datos a una central, en donde por medio de las pantallas de un ordenador se muestra la información en tiempo real, y de esta forma se logra la interacción entre el operario y el proceso, el cual mediante el análisis de los datos y la información suministrada toma las acciones pertinentes sobre las variables (ya sea de forma remota o local) para mantener el proceso en la condición deseada.

### **3. BANCO EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN TRANSPORTE DE LIQUIDOS EN TUBERÍAS**

El banco de evaluación de consumo energético en transporte de líquidos en tuberías ha sido producto de cuatro proyectos de grado de estudiantes de ingeniería mecánica, el cual inicio en el año 2004 con el diseño, en el 2010 con la construcción y montaje, en el 2013 con la implementación de un sistema de monitoreo y finalmente en el año 2016 con la implementación de regulación automática basados en la variación de apertura de una servo-válvula y la velocidad de giro de la bomba.

En el equipo se pueden realizar las siguientes prácticas:

- Estudio de las pérdidas de carga del fluido en tuberías, válvulas y accesorios.
- Análisis del comportamiento hidráulico de tuberías en serie y paralelo.
- Obtención de las curvas características de bombas configuradas en serie, paralelo y una sola bomba.
- Determinación de las diferencias de consumo energético que se presentan en un sistema de tuberías, cuando se regula el caudal por medio de la apertura o cierre de una servoválvula a la salida de las bombas a unas RPM fijas, variando las RPM de la bomba con un porcentaje de apertura de la servoválvula fija y variando ambos parámetros.

Este banco de laboratorio cuenta con tres subsistemas, los cuales permiten el desarrollo de cada una de las practicas.

### 3.1 SUBSISTEMA DE IMPULSIÓN

Es el encargado de dar al fluido la presión hidráulica necesaria para que este pueda realizar el trabajo al cual está destinado.

Consiste en dos bombas, marca Ecojet 130, una de estas con un motor monofásico de 1.5 hp a 3600 RPM y a la otra se le ajustó un motor trifásico de 1 hp a 3400 RPM, este subsistema también cuenta con el tanque de almacenamiento de agua, la tubería y accesorios correspondientes para realizar las configuraciones en serie, paralelo y una sola bomba, de igual forma la tubería para la toma de presión en la línea de succión y descarga. En la figura 10 se puede observar cada uno de estos componentes.

**Figura 10** Subsistema de impulsión



**3.1.1 Bombas Ecojet 130.** Es una bomba centrífuga con las siguientes características:

- Potencia: 1250 [W]
- Presión: 5 [bar]
- Altura máxima: 47 [m]
- Caudal máximo: 4800 [l/h]

Debido a que se debe variar las RPM de una de las bombas, en la construcción del banco en el año 2010 a una de estas se le retiró el motor con el que venía de fábrica y se le instaló uno trifásico de 1 hp a 3600 [RPM].

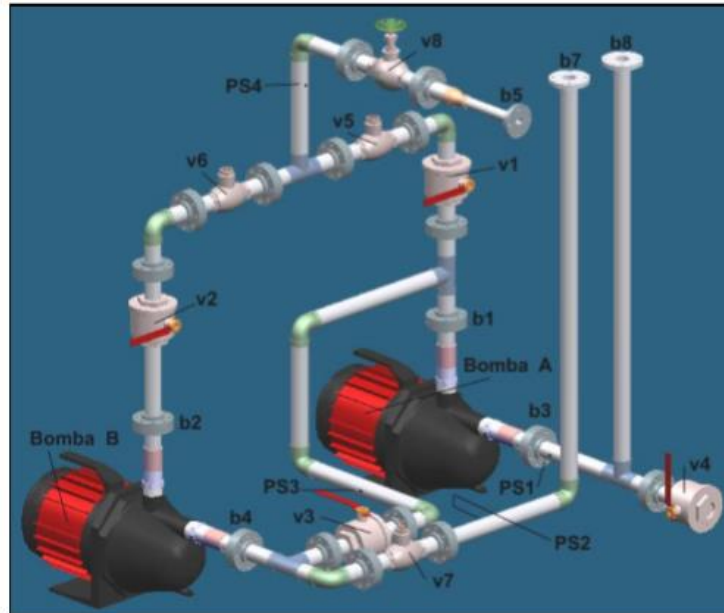
**3.1.2 Líneas de succión y descarga, configuración de bombas.** La configuración de las líneas de tubería permite el trabajo de las bombas en serie y paralelo, al igual que una sola bomba; esta configuración se realiza al abrir o cerrar las válvulas de bola instaladas.

Las válvulas V1 y V2 permiten el paso del flujo de cada bomba; la válvula V3 se encuentra en la línea que comunica la descarga de la bomba A con la succión de la bomba B, esta línea permite la configuración de las bombas en serie.

Las configuraciones de las válvulas para las diferentes funciones de trabajo de las bombas son:

- Para una sola bomba: V1 abierta, V2 y V3 cerrada, en este caso solo queda funcionando la bomba A.
- Para las dos bombas en serie: V1 cerrada, V2 y V3 abiertas.
- Para bombas en paralelo: V3 cerrada, V1 y V2 abiertas.

**Figura 11** configuración de las líneas de succión y descarga para el trabajo de las bombas.



**Fuente:** CESAR AUGUSTO, Sanabria Guauque y SÁNCHEZ BARRERA, Ricardo. Diseño de un banco de pruebas para la evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2004. 465 p.

### 3.2 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE

Este banco de laboratorio consta de un conjunto de tuberías compuesto por diferentes accesorios, diámetros y longitudes, distribuidos en nueve líneas de trabajo, estas reciben el fluido proveniente del subsistema de impulsión y lo retornan nuevamente al tanque, así como se observa en la figura 12.

**Figura 12** Subsistema de transporte del banco



**3.2.1 Líneas de trabajo.** En las nueve líneas de trabajo se distribuyen los diferentes accesorios, los cuales son el elemento de estudio para el análisis de su efecto en las pérdidas de energía, estas están distribuidas como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1** Líneas de trabajo

<b>Línea de trabajo</b>	<b>Diámetro [in]</b>	<b>Descripción</b>
Línea 1	3/4	Tubería de acero inoxidable
Línea 2	1/2	Tubería de acero inoxidable
Línea 3	1/2	Tubería de acero galvanizado
Línea 4	1/2	Tubería de acero inoxidable con válvula de globo clase 200
Línea 5	1/2	Tubería de acero inoxidable con válvula cheque tipo bisagra clase 200
Línea 6	1/2	Tubería de acero inoxidable con válvula de bola clase 200
Línea 7	1/2	Tubería de acero inoxidable con válvula de compuerta clase 200
Línea 8	1/2	Tubería de acero inoxidable con 4 codos de 90° de radio largo
Línea 9	1/2	Tubería de acero inoxidable con 4 tes estándar dispuestas para configurar dos paralelos con válvulas de bola cada uno

La ubicación de las válvulas de globo en este subsistema permite determinar las pérdidas de energía de las diferentes variables presentes en una instalación hidráulica, entre estas están:

- Perdidas en diferentes tipos de válvulas, como: válvulas de globo, de compuerta, de cheque y de bola.
- Por medio de la línea 3, de acero galvanizado se puede determinar el efecto que tiene la rugosidad.
- Mediante la línea 1, que tiene un diámetro mayor se puede determinar el efecto que tiene el tamaño del diámetro en las perdidas.
- Por medio de la toma de presión que se ubica en la mitad de la línea 2 la perdida que se tiene por causa de la longitud.

### **3.3 SUBSISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y DE CONTROL**

Este subsistema está conformado por la parte eléctrica de potencia, en el cual se alimentan las bombas que dan energía al fluido y el variador de frecuencia; la parte electrónica y de control, compuesto por los transductores y sensores necesarios para la adquisición de las señales de las variables a analizar en la perdida de energía en tuberías; un controlador lógico programable (PLC), donde llegan las señales de los transductores, la servo-válvula para la regulación del caudal y el variador de frecuencia, esto se encuentra en la caja de control, como se muestra en la figura 13.

**Figura 13** Subsistema eléctrico, electrónico y de control



**3.3.1 Variador de frecuencia.** El banco cuenta con un variador de frecuencia Siemens Sinamics G110 (figura 13), para un motor de 1 [HP] con un rango de frecuencia de salida de 0 a 650 [Hz], es alimentado con una tensión de 220 [v] a una frecuencia de 47 a 63 [Hz] y controlado a través de una entrada de señal análoga.

Sus funciones son:

- Variar las RPM del motor
- Proteger el motor trifásico

**3.3.2 Transductores de presión.** Se cuenta con cuatro transductores, tres de presión (para la succión y descargar de las bombas y para la caída de presión en la línea de trabajo) y un caudalímetro para la medida del flujo en la tubería.

**3.3.2.1 Transductor de succión y descarga.** Ambos transductores son de la marca Siemens serie Sitrans P-MS, los cuales tienen una salida de señal de 4-20 [mA] con una tensión de alimentación de 12-30 [VDC].

El transductor de succión tiene un rango de medición de presión de 0 a 1 [bar], mientras que el de descarga es de 0 a 10 [bar].

**3.3.2.2 Transductor para la línea de trabajo.** Es un transductor diferencial de presión Siemens serie Sitrans DS III, el cual tiene una salida de señal de 4-20 [mA] con una alimentación de 12-30 [VDC]. Este transductor cuenta con un rango de medición de presión de 0 a 5 [bar].

**3.3.3 Fluómetro.** Este transductor de caudal es tipo turbina de la marca Cole Parmer FT420, tiene una salida de señal de 4 a 20 [mA] con una alimentación de 12 a 30 [VDC]. Cuenta con la opción de trabajar con salida de señal o sin ella usando su display, cuando se trabaja con salida de señal el display permanece apagado.

**Figura 14** Flujómetro



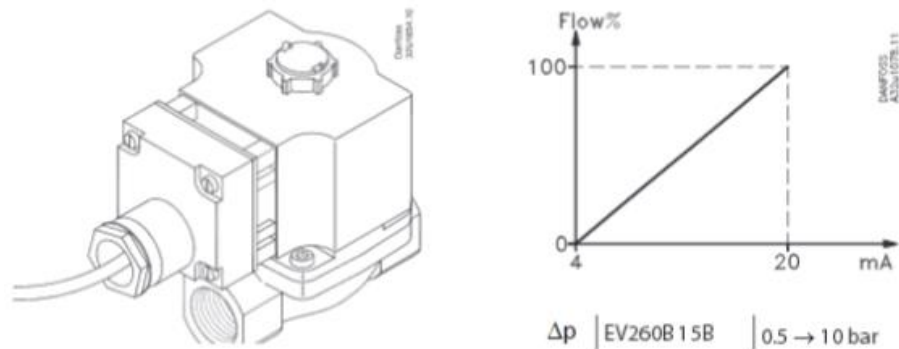
**3.3.4 Servo-válvula EV260B.** Esta es una válvula solenoide servo accionada de dos vías con función de modulación proporcional y conexión de  $\frac{1}{2}$  [in]. Mediante la regulación continua de corriente de la bobina es posible situar la armadura en cualquier posición del tubo, y de este modo, ajustar la bobina entre posiciones de cierre y apertura completos.

Las características técnicas son:

- Se usa para agua, aceite y líquidos neutros similares.
- Característica lineal en todo el rango de regulación.
- Rango de caudal: 0.5 a 12.7 [m<sup>3</sup>/h].
- Presión diferencial: 0.5 a 10 [bar].
- Viscosidad: 50 [cSt], max.
- Señal piloto: 4 a 20 [mA] o 0 a 10 [V] en corriente continua.
- Alimentación: 24 [V] en corriente continua.

En la figura 15 se muestra la servo-válvula junto con la gráfica de regulación de caudal lineal con la señal piloto de 4 a 20 [mA].

**Figura 15** Servo-válvula Danfoss EV260B junto con diagrama de regulación



**Fuente:** DANFOSS. Válvulas solenoides proporcionales servo-accionadas de 2 vías tipo EV260B

**3.3.5 Sensor de corriente.** Con el fin de observar la diferencia de consumo energético entre los métodos de regulación, se cuenta con un sensor de corriente en el motor trifásico, figura 16. Este sensor es un YHDC SCT-013-010 de núcleo dividido, que permite medir la corriente hasta 10 [A] y enviar la señal en el rango de 0-1 [VDC].

**Figura 16** Sensor de corriente



**3.3.6 Controlador Lógico Programable (PLC).** El PLC, es un siemens S7-1200 AC-DC-DC y cuenta con un módulo de variables analógicas AI 4x13BIT/AQ 2x14BIT\_1. Se usa para la adquisición de las señales de los transductores y del sensor de corriente y para el control remoto del variador de frecuencia y la servo-válvula. En la figura 17 se observar su disposición.

Las características técnicas del PLC son:

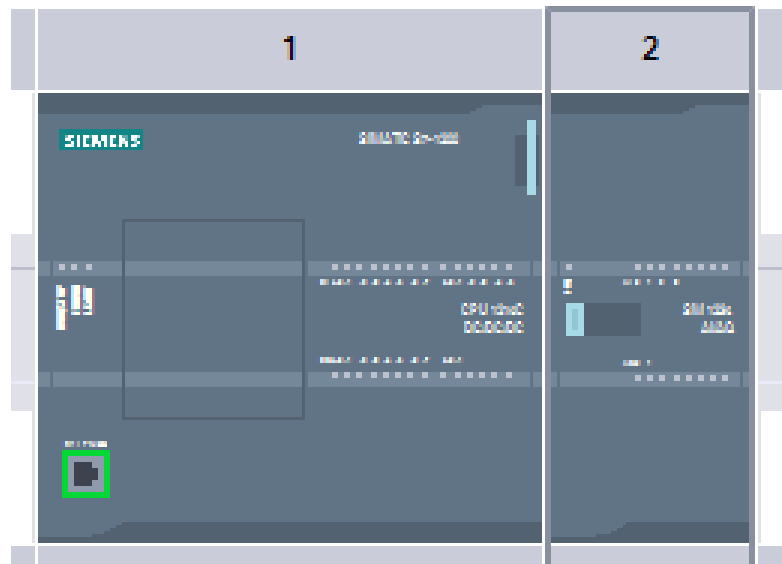
- Entradas y salidas digitales:
  - o Entradas digitales:
    - Tipo sumidero/fuente
    - Tensión nominal 24 VDC a 4 mA
  - o Salidas digitales
    - Type: Rele  
Rango de voltaje: 5 a 30 VDC o 5 a 250 VAC  
Corriente máxima: 2 A
    - Type: Fuente  
Rango de voltaje 20.4 a 28.8 VDC  
Corriente máxima: 0.5 A
  - o Entradas analógicas integradas
    - 2 entradas analógicas
    - Tipo tensión unipolares  
Rango: 0 a 10 V  
Resolución: 10 bits

Las características técnicas del módulo analógico:

- Tensión de alimentación: 24 [VDC]
- 4 entradas analógicas
- 2 salidas analógicas

- Rangos de entrada:
  - o 0 a 20 [mA]
  - o  $\pm 10$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 2.5$  [V]
- Rangos de salida:
  - o 0 a 20 [mA]
  - o  $\pm 10$  [V]

**Figura 17** PLC Siemens S7-1200 junto con el módulo analógico



## **4. CORRECCIÓN A LAS FALLAS DEL BANCO DE LABORATORIO**

El banco de evaluación de consumo energético en transporte de líquidos en tuberías se encontraba inactivo desde el año 2016, debido a la construcción del nuevo edificio de ingeniería mecánica, el cual fue entregado en el año 2018. Este tuvo que ser desmantelado y almacenado hasta que estuviera listo el nuevo laboratorio de sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos.

Para que el funcionamiento del banco fuera óptimo fue necesario darles mantenimiento a algunos de sus sistemas para eliminar cualquier avería o fuente de error.

### **4.1 REPARACIÓN DE FUGAS**

En algunas secciones del subsistema de transporte y en el de impulsión se presentaron fugas, por lo tanto, se procedió a desmontar dichos tramos de ambos subsistemas y aplicar teflón en las uniones, junto con el cambio correspondiente de los sellos de las bridas.

**Figura 18** Corrección de las fugas



#### **4.2 CAMBIO DE VÁLVULAS DE GLOBO**

Al iniciar a realizar las pruebas de funcionamiento en las diferentes líneas trabajo, Se observó una clara fuente de error, la cual se procedió a investigar y dio como resultado unas válvulas defectuosas, las cuales tenían su asiento partido, se procedió a cambiarlas por válvulas de bola, que son mejores para la aplicación que se requiere en el banco, el cual es el corte de flujo por la línea, también se le cambiaron los empaques de las bridas para evitar las fugas.

**Figura 19** Asiento de la válvula de globo partido



#### **4.3 RECABLEADO DEL TABLERO DE CONTROL:**

El tablero de control del banco al ser manipulado para su almacenamiento y posterior retorno al nuevo laboratorio, se desconectaron los transductores y la conexión de ambos motores, por lo tanto, se procedió a realizar el cableado y conexión de estos.

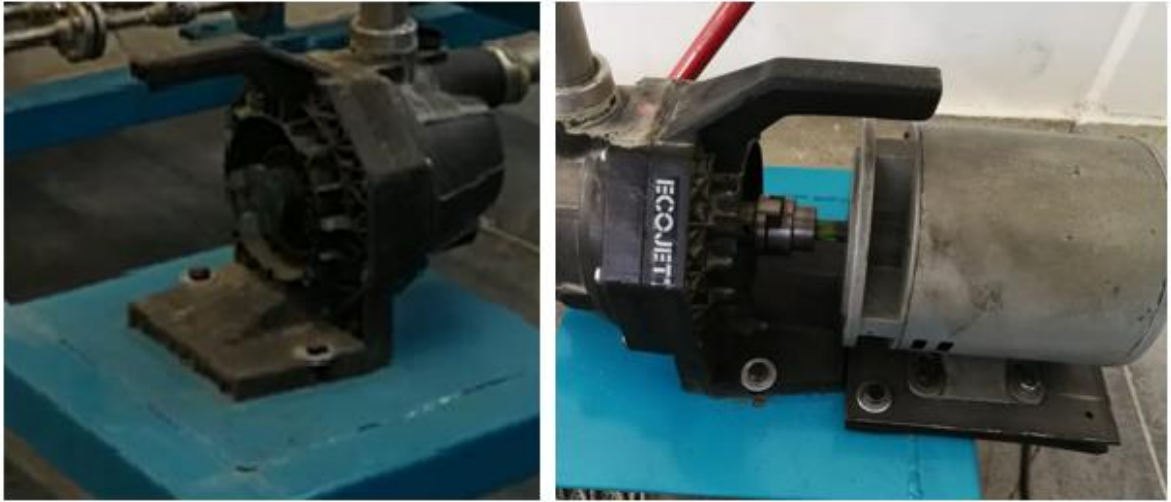
**Figura 20** Tablero de control antes y después



#### **4.4 INSTALACIÓN DEL MOTOR DE LA BOMBA**

En algún momento del almacenamiento del banco y la puesta de este en el nuevo laboratorio, el motor trifásico de una de las bombas que hace parte del banco fue extraviado, por lo tanto, se compró uno nuevo y se realizó su respectiva instalación. Por medio de un acople flexible tipo araña se conectó el eje de la bomba con el del motor; para la instalación del motor fue necesario adaptar la base existente a las dimensiones del motor por medio de una lámina de acero y un caucho antivibración, como se observa en la figura 21.

**Figura 21** Instalación de la bomba con motor trifásico



#### **4.5 REPARACIÓN DE RODETES**

Al darle mantenimiento a las bombas del banco, se observaron agrietamientos en sus impulsores, por lo tanto, se procedió a reparar las grietas mediante un pegante epóxico, para que así las bombas puedan cumplir su cometido a las condiciones de trabajo.

**Figura 22** Daño del rodete antes y después



#### **4.6 REPARACIÓN BOMBA CON MOTOR TRIFÁSICO**

Al realizar el cebado de la bomba con el motor trifásico, esta presentaba fugas, por lo tanto, para su corrección se realizó el cambio de su sello mecánico, del rodamiento y a la rectificación del eje en la parte del rodete, ya que este presentaba un desgaste y generaba desalineación.

#### **4.7 MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA**

Para el funcionamiento y variación de la velocidad del motor trifásico adquirido, fue necesario establecer los parámetros de funcionamiento en el variador, esto se realiza mediante el manual de uso. La programación realizada en el variador se muestra en el anexo A.

#### **4.8 MEDICIONES DEL FLUJÓMETRO**

El flujómetro al registrar los diferentes caudales marcaba de forma errada cantidades de caudal imposibles para el banco de trabajo, por lo tanto, se procede a buscar la causa de esto, y se encuentra que se debía a una descalibración de sus parámetros, en consecuencia, estos se modificaron de acuerdo con lo estipulado en el manual de usuario, ver anexo B.

#### **4.9 MANGUERAS DE SUCCIÓN, DESCARGA Y LÍNEAS DE TRABAJO**

Para la toma de datos de los transductores de presión y correcto funcionamiento del banco, se requiere del uso de mangueras de alta presión, con las cuales no se contaba, por lo cual, se procedió a la compra y correcta instalación de estas.

#### **4.10 CALIBRACIÓN DE TRANSDUCTORES**

Al empezar a tomar datos para comprobar el estado de los transductores de presión, se observó que comparándolos con respecto al valor teórico de las pérdidas daban errores del orden del 8%, por ende, no fue necesaria la calibración de estos

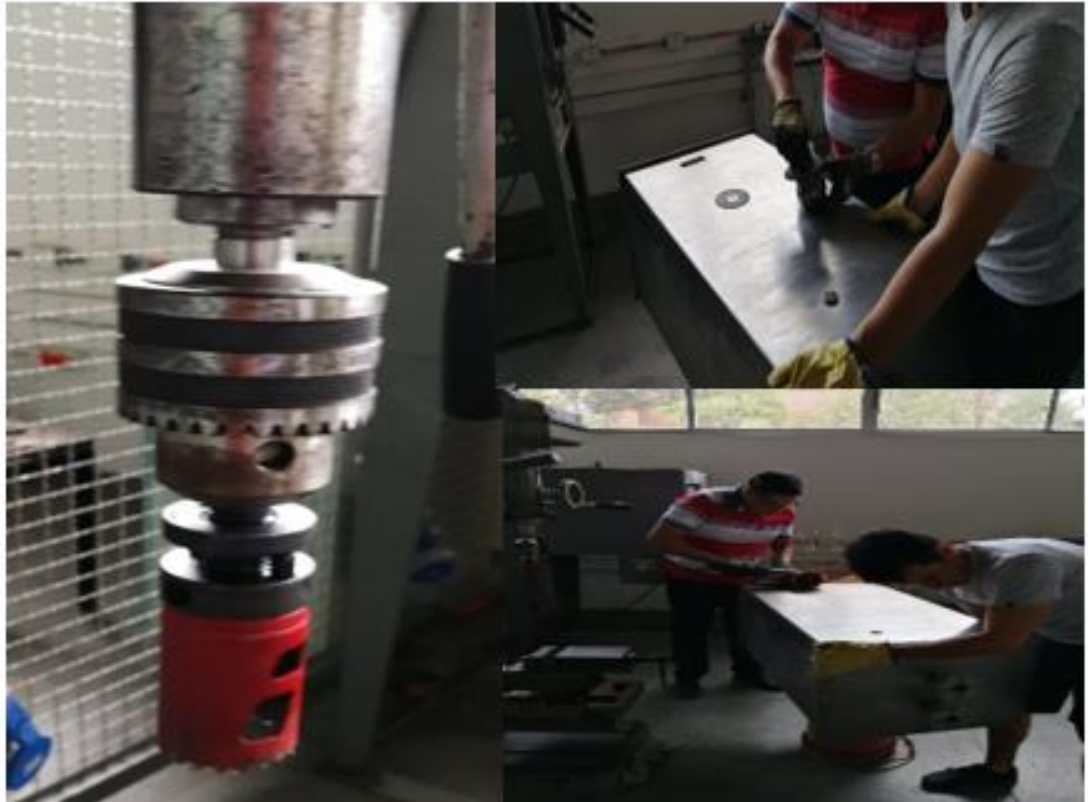
#### **4.11 TRAMO DE TUBERÍA DE RETORNO**

El banco al ser recibido para empezar con el proyecto no contaba con un tramo de tubería de retorno a tanque, por lo cual fue necesaria la compra de la tubería con sus respectivos accesorios para su instalación.

#### **4.12 ENTRADA DE LA TUBERÍA AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

al ensamblar el tramo de tubería desde el subsistema de transporte al tanque de almacenamiento, hubo una diferencia con las tolerancias y, por lo tanto, la tubería no encajó con el tanque, en consecuencia, en el taller mecánico de la escuela de ingeniería mecánica se le amplió agujero para la entrada de la tubería.

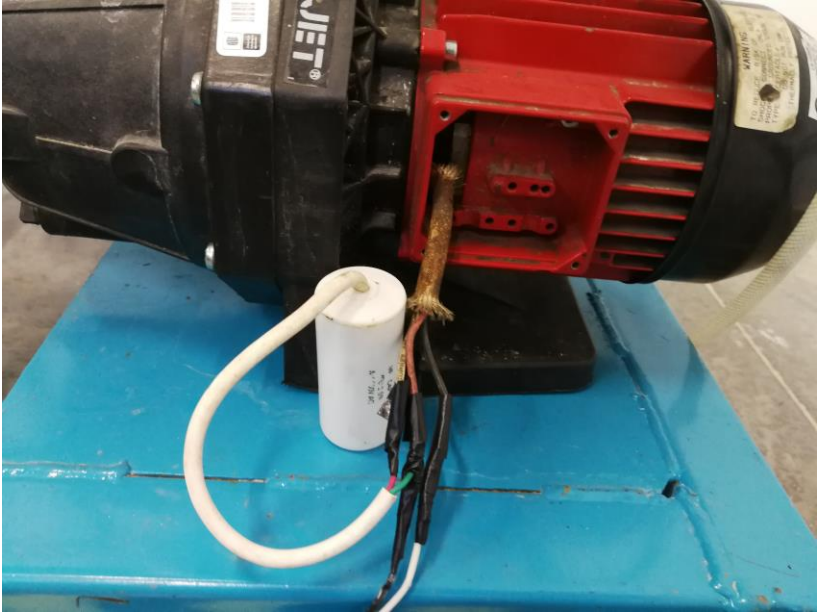
**Figura 23** Adecuación del tanque al tramo de retorno



#### **4.13 CONDENSADOR DE MARCHA**

Al instalar el motor monofásico a una de las bombas, este no contaba con el condensador de marcha, por lo tanto, el motor no era capaz de superar la inercia, de modo que se procedió a comprar e instalarle uno.

**Figura 24** condensador de marcha instalado



## 5. DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE OPERACIÓN

Para poder adquirir, gestionar y controlar las variables que influyen en el banco del laboratorio, se desarrolló una interfaz gráfica al estilo SCADA en LabVIEW, se realizó la programación del PLC en TIA Portal, y mediante el software de comunicación industrial estándar, OPC Server se permitió la conexión entre ambos programas.

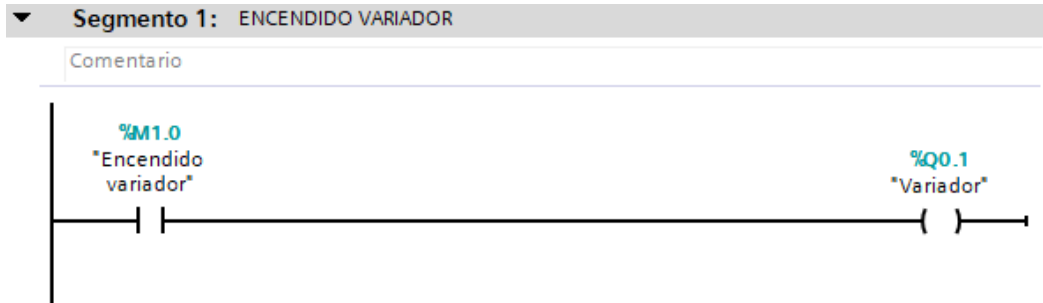
### 5.1 PROGRAMACIÓN EN TIA PORTAL

Para la adquisición y control de las señales de los transductores y actuadores que llegan al PLC S7-1200 de Siemens, es necesaria la programación de este, que se desarrolló en el software TIA Portal.

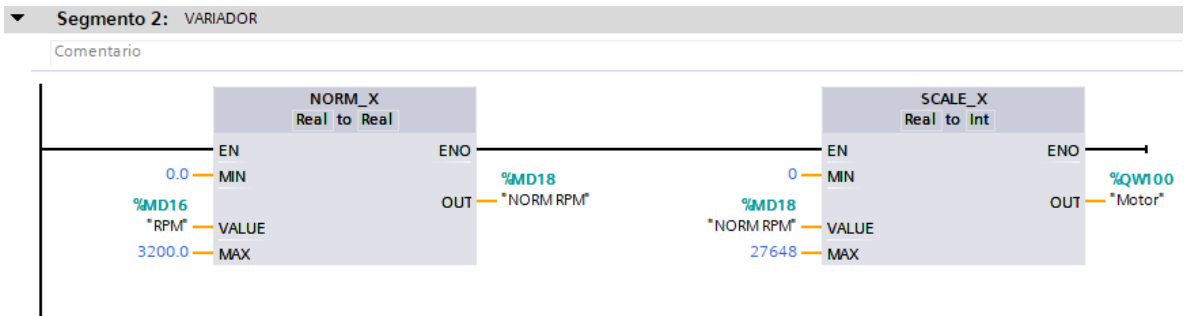
**5.1.1 Adquisición de señales analógicas.** Debido a que en el banco de pérdidas de energía en tuberías trabaja con señales analógicas, es necesario el uso de los bloques NORM y SCALE para el procesamiento de los valores entregados por los transductores, los cuales son de 4-20 [mA]. El PLC lee valores entre 0 y 27648, los cuales corresponden que para 4[mA] el PLC leerá el valor de 0 y para los 20[mA] el valor de 27648. Como la tarjeta de entradas analógicas del PLC presente en el laboratorio solo tiene el rango de 0-20 [mA], se ajustó el valor 5530 para que corresponda a los 4[mA].

Como resultado, el programa cuenta con ocho segmentos de programación, que se muestran a continuación.

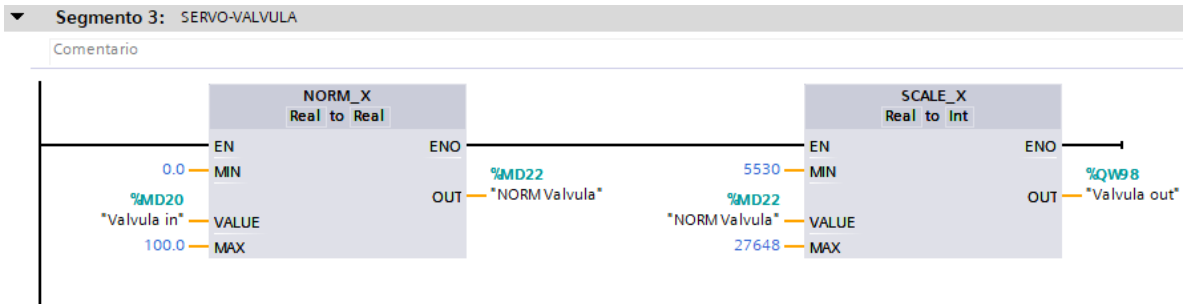
**Figura 25** Segmento para el encendido del variador de frecuencia



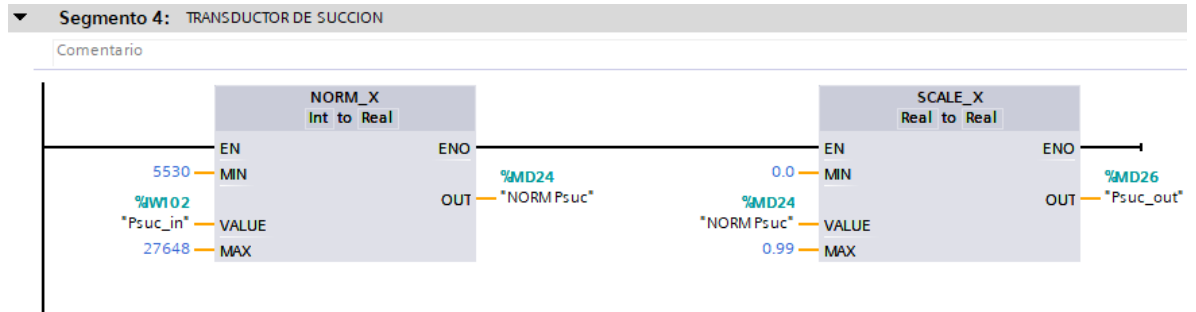
**Figura 26** Segmento para el control de las RPM del motor



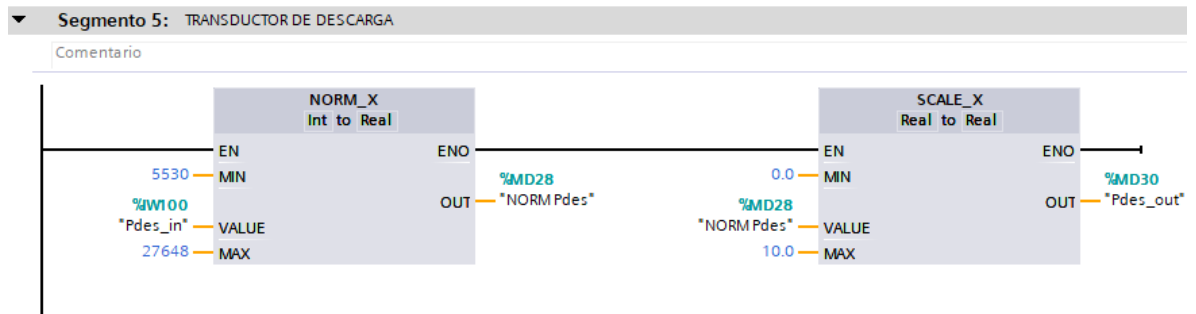
**Figura 27** Segmento para el control de apertura de la servo-válvula



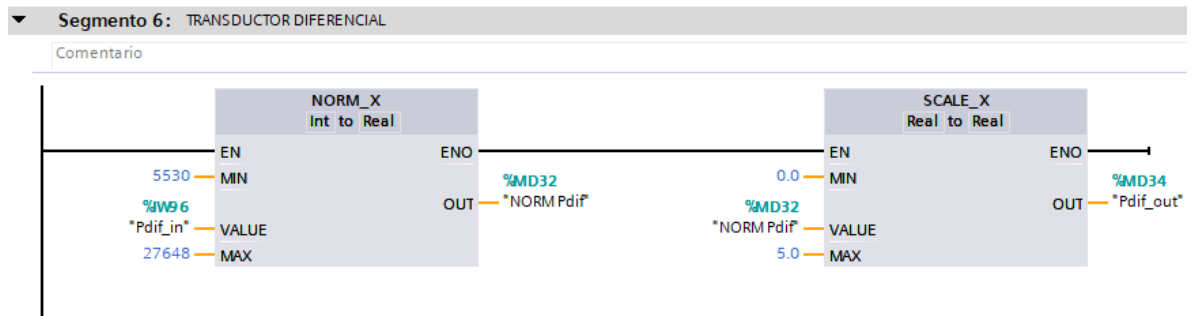
**Figura 28** Segmento para la adquisición de la presión de succión de la bomba



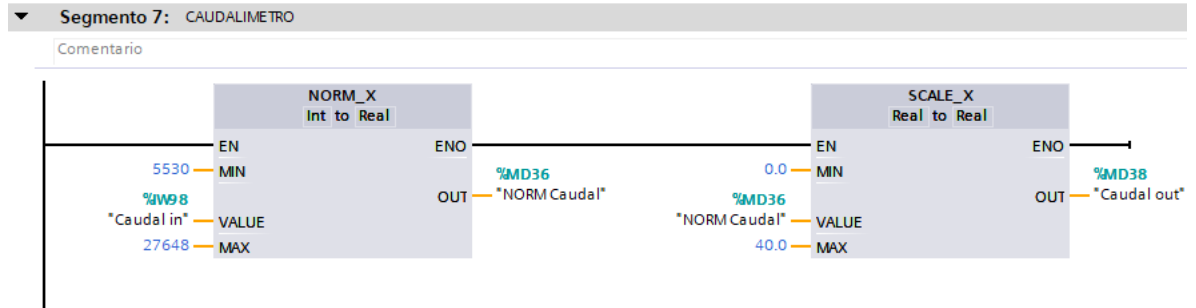
**Figura 29** Segmento para la adquisición de la presión de descarga de la bomba



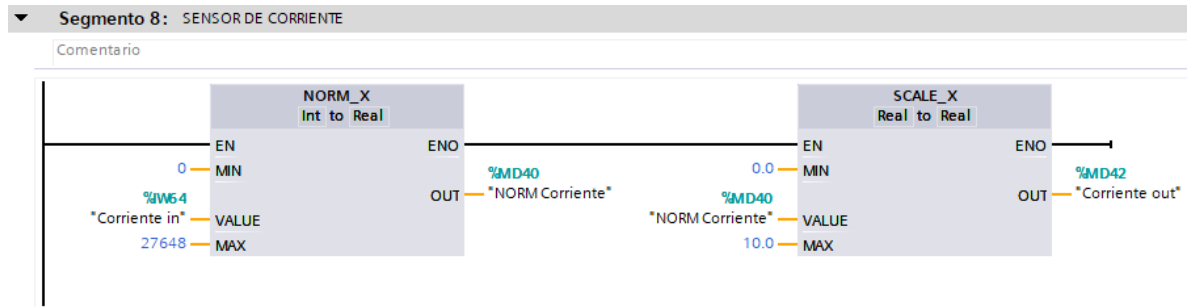
**Figura 30** Segmento para la adquisición de la presión diferencial de las líneas de trabajo



**Figura 31** Segmento para la adquisición de la señal de caudal



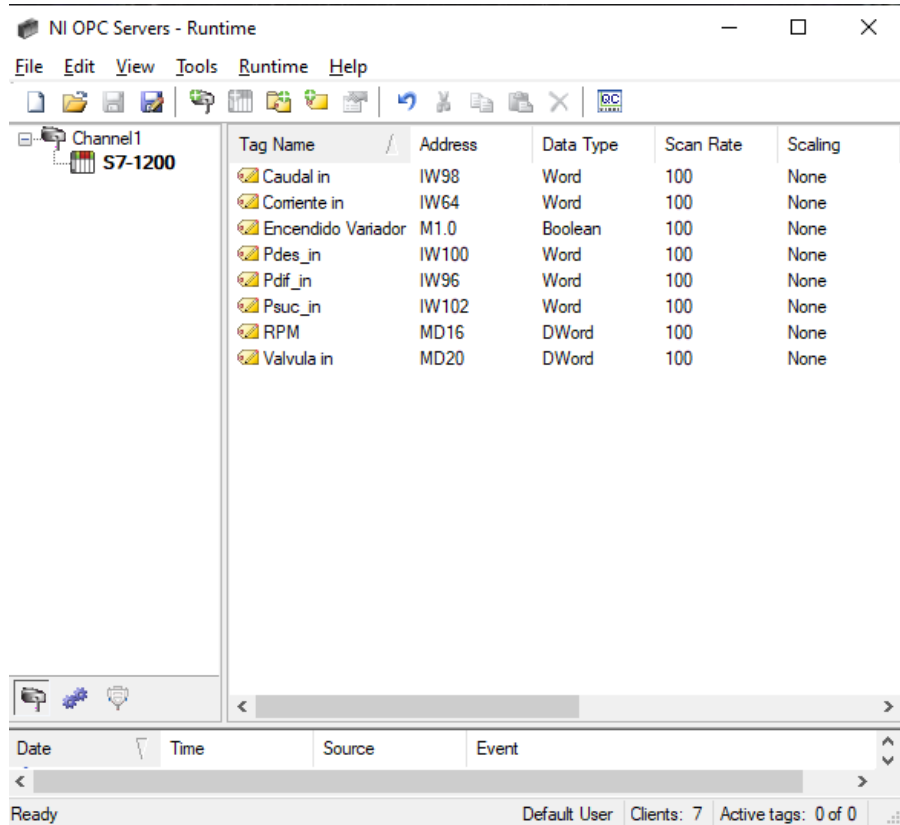
**Figura 32** Segmento para la adquisición de la señal de corriente



## 5.2 COMUNICACIÓN MEDIANTE OPC SERVER

Mediante el módulo OPC Server de National Instruments para LabVIEW se realiza la conexión entre el PLC S7-1200 y la interfaz gráfica realizada en LabVIEW.

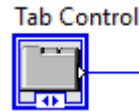
**Figura 33** Variables creadas en el NI OPC Server



### 5.3 INTERFAZ GRÁFICA EN LABVIEW

Para la interfaz de usuario que será utilizada por los estudiantes, se optó por que fuera sencilla y fácil de manejar, mostrando solo los datos necesarios para el entendimiento de las practicas. La interfaz se compone de 4 pestañas, que se realizan mediante el bloque “tab control” (figura 34), que permite navegar entre ellas para la realización de las diferentes prácticas.

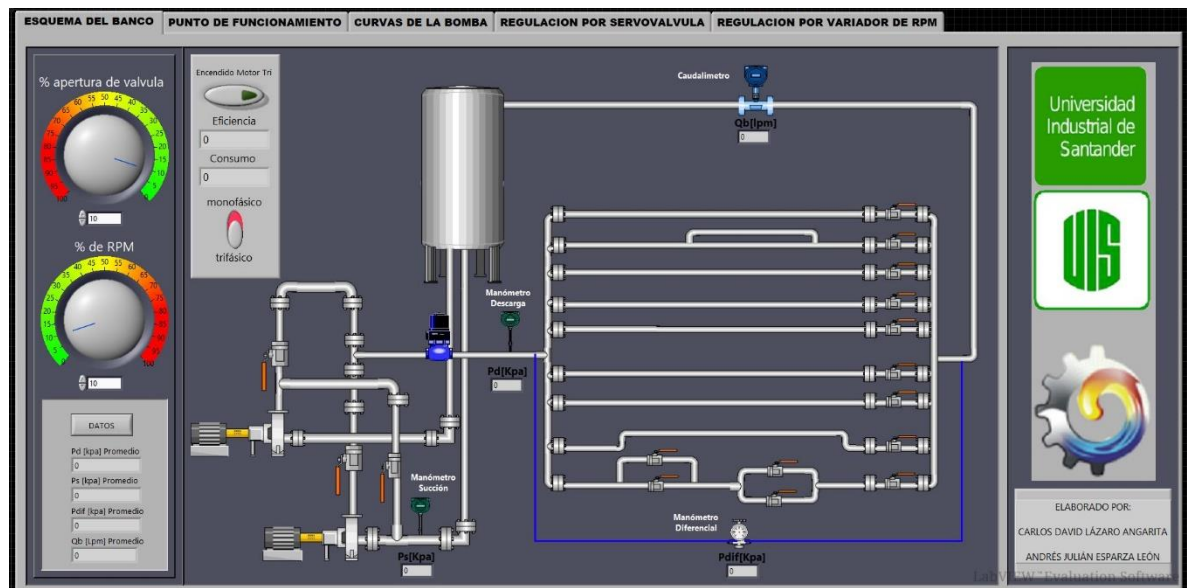
**Figura 34** Bloque de control “tab control”



En la primera pestaña, figura 35, se observa el esquema general del banco, donde se ve la configuración de las diferentes líneas de trabajo, así como también el de las bombas y las válvulas para generar la configuración en serie y paralelo. De igual forma se muestran los valores promedio que los transductores de presión y el caudalímetro están tomando, junto con el consumo y la eficiencia de las bombas en diferentes configuraciones del porcentaje de apertura de la válvula y la variación de los rpm.

### 5.3.1 Esquema del banco y obtención del consumo del sistema.

**Figura 35** Interfaz esquemático del banco



Como en el TIA Portal se usaron los bloques NORM y SCALE para el escalamiento de las variables provenientes de los transductores, en el LabVIEW se realizará este proceso mediante la ecuación de una recta que pasa por dos puntos, los cuales estarán dados por los valores que da el transductor de 4-20 [mA] y que el PLC interpreta como 5530 y 27648, respectivamente, además del valor máximo y mínimo en el rango del transductor; los puntos se agrupan de la siguiente forma:

P1 (V4mA, Pmin)

P2 (V20mA, Pmax)

Y la ecuación de una recta que pasa por dos puntos es:

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (14)$$

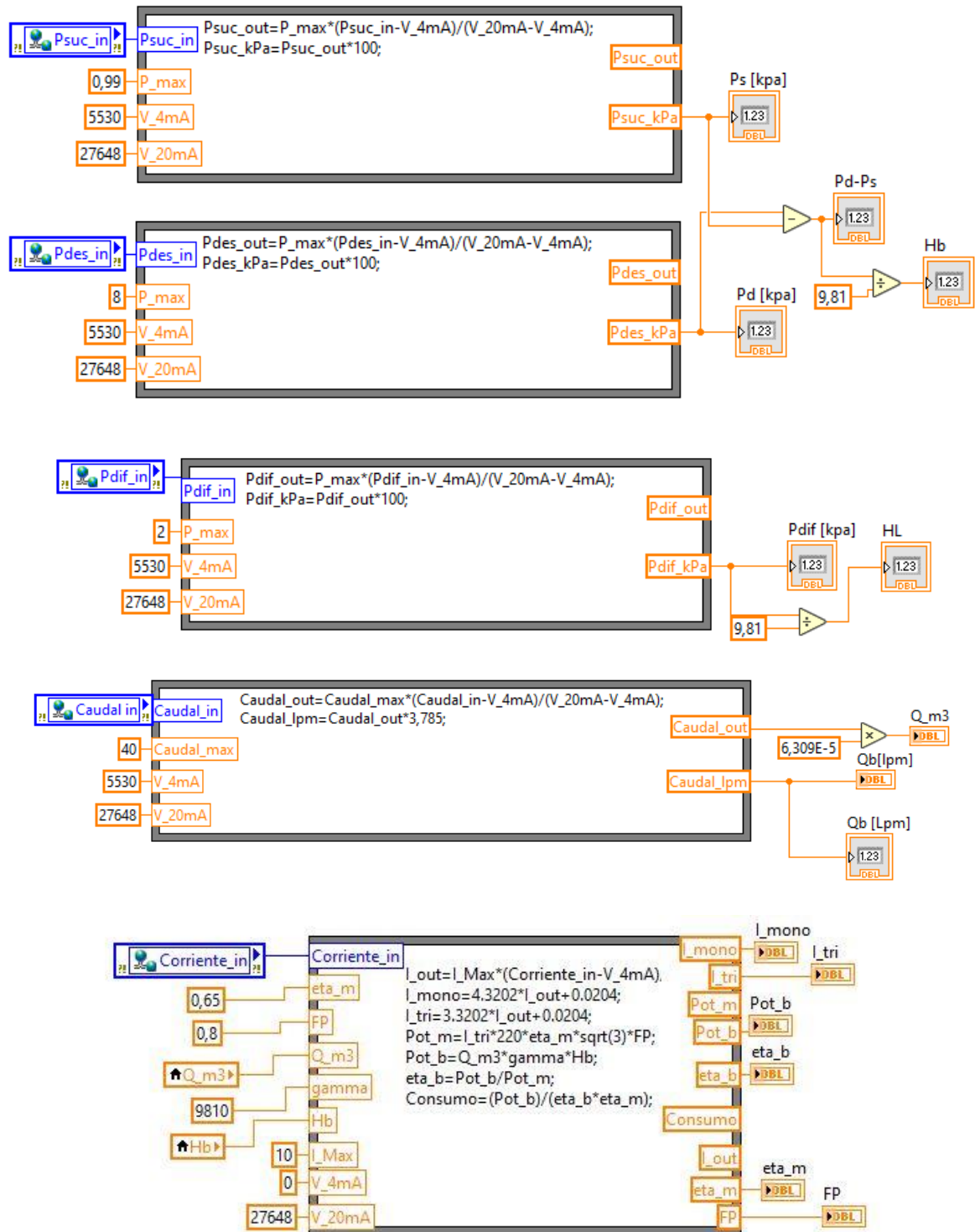
Reemplazando los valores de los puntos en donde “y” representa el valor escalado y “x” el valor analógico que da el transductor, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{P_{esc} - P_{min}}{V_{ana} - V_{4mA}} = \frac{P_{max} - P_{min}}{V_{20mA} - V_{4mA}} \quad (15)$$

Como el rango mínimo de todos los transductores inicia desde cero, la ecuación queda:

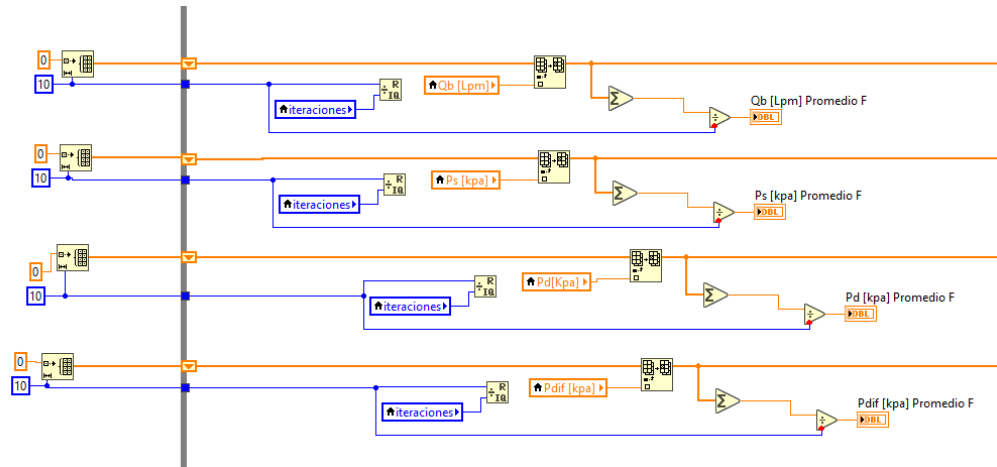
$$P_{esc} = P_{max} * \frac{V_{ana} - V_{4mA}}{V_{20mA} - V_{4mA}} \quad (16)$$

**Figura 36** Diagrama de bloques gráfico del escalado y conversión de los datos adquiridos



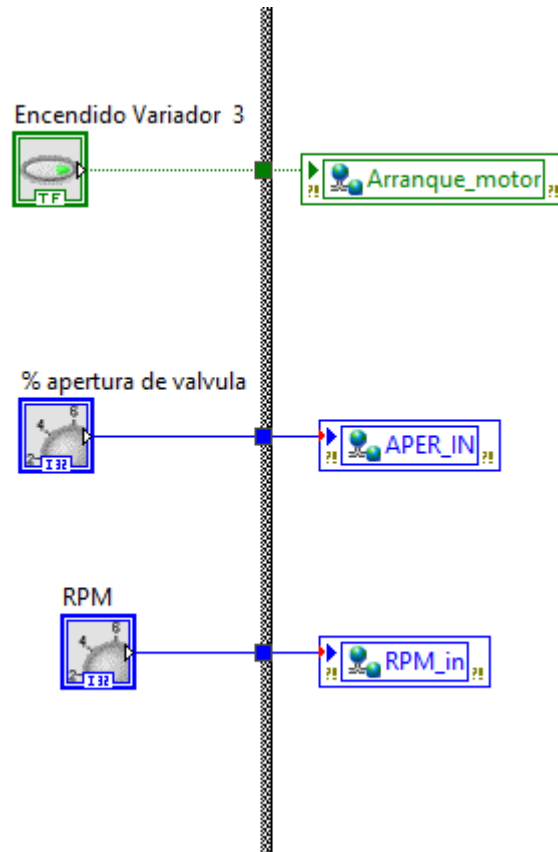
Una vez obtenidos los valores junto con su conversión se saca el promedio de estos, para finalmente mostrarlos en el panel frontal de la interfaz.

**Figura 37** diagrama de bloques grafico del cálculo de valores promedios de los datos adquiridos



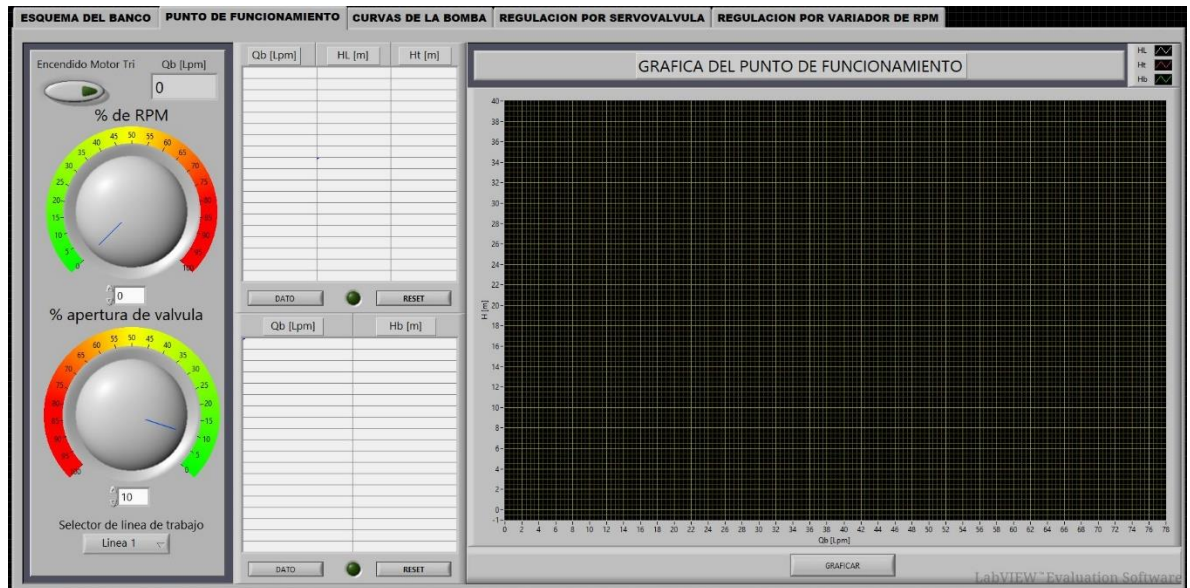
Dependiendo de la pestaña de trabajo en la cual se encuentre el usuario se creó una serie de controladores para permitir la variación de las rpm, encendido y apagado del variador y el porcentaje de apertura de la servo-válvula.

**Figura 38** diagrama de bloques para el ON/OFF del variador, RPM y porcentaje de apertura



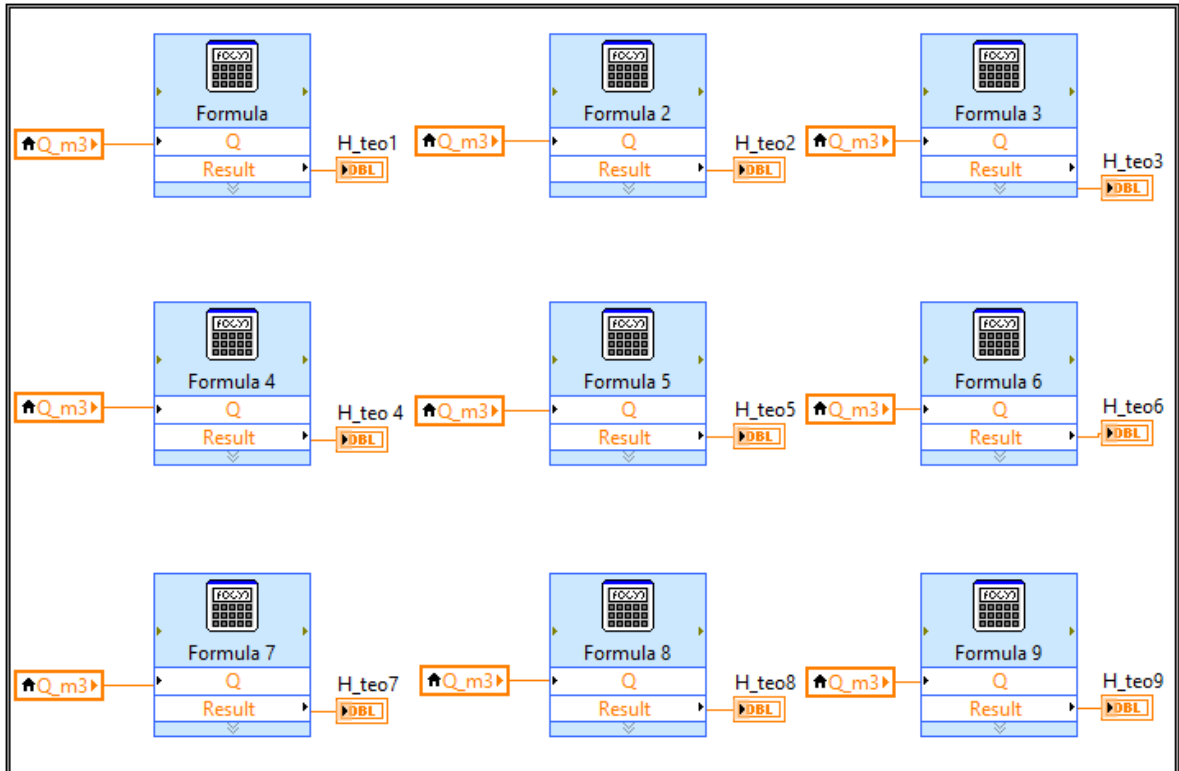
**5.3.2 Punto de funcionamiento del sistema.** En la figura 39 se observa la pestaña para obtener el punto de funcionamiento del banco, en esta, mediante la toma de datos de caudal, altura de la bomba y la del sistema se puede realizar las curvas de la bomba, la del sistema (de forma experimental y teórica), para esto se debe seleccionar la línea de trabajo que se va a analizar.

**Figura 39** Panel frontal para la obtención del punto de funcionamiento del banco



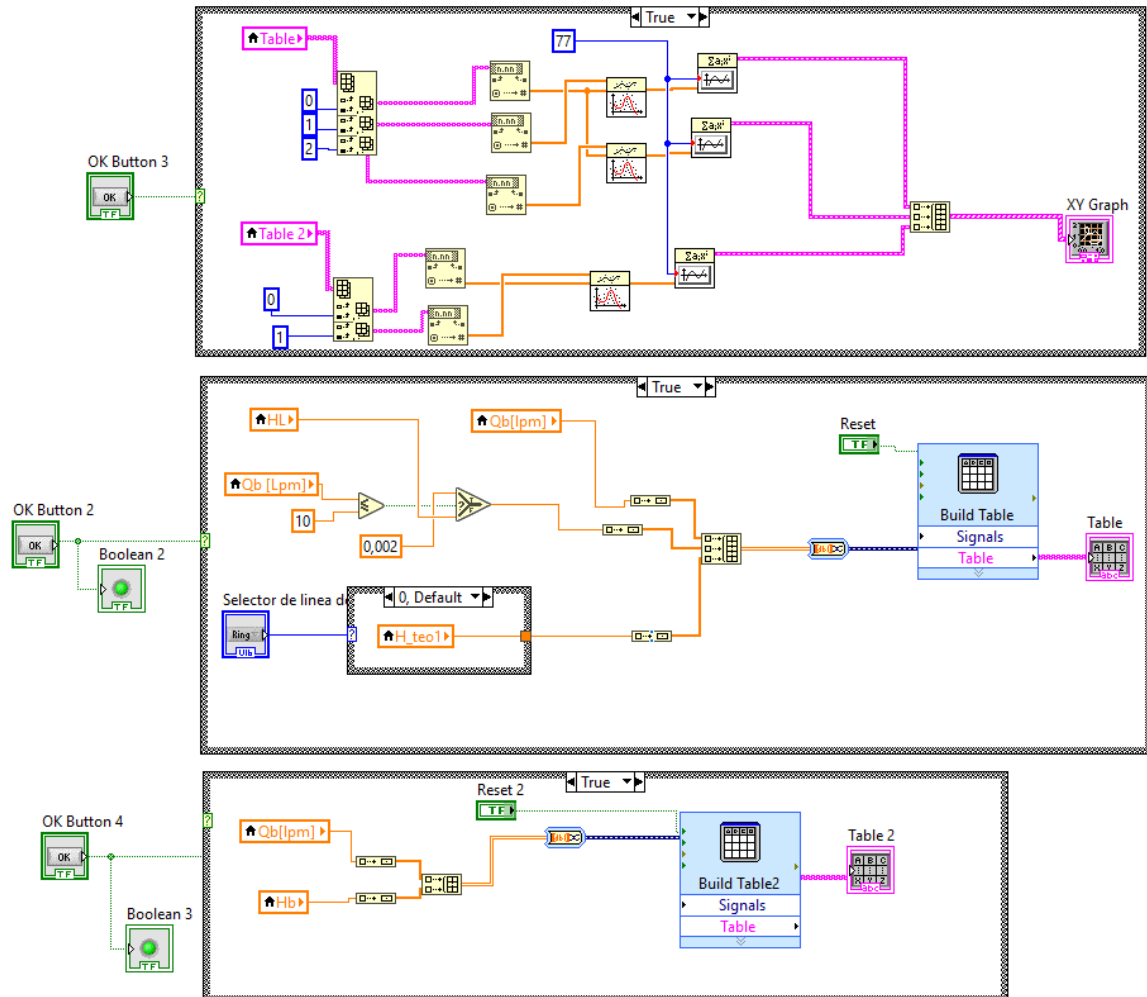
Para la obtención de la curva teórica del sistema para cada línea de trabajo, se realizaron los cálculos de pérdidas para cada una de ellas y se sacó una regresión de las pérdidas en función del caudal que se va a generar en el banco.

**Figura 40** Diagrama de bloques para el cálculo de la altura para cada línea de trabajo



Una vez se obtienen los datos, estos se acomodan en las tablas, en las columnas correspondientes y posteriormente se realiza la gráfica de los puntos obtenidos, esto se realiza como se muestra en la figura 41.

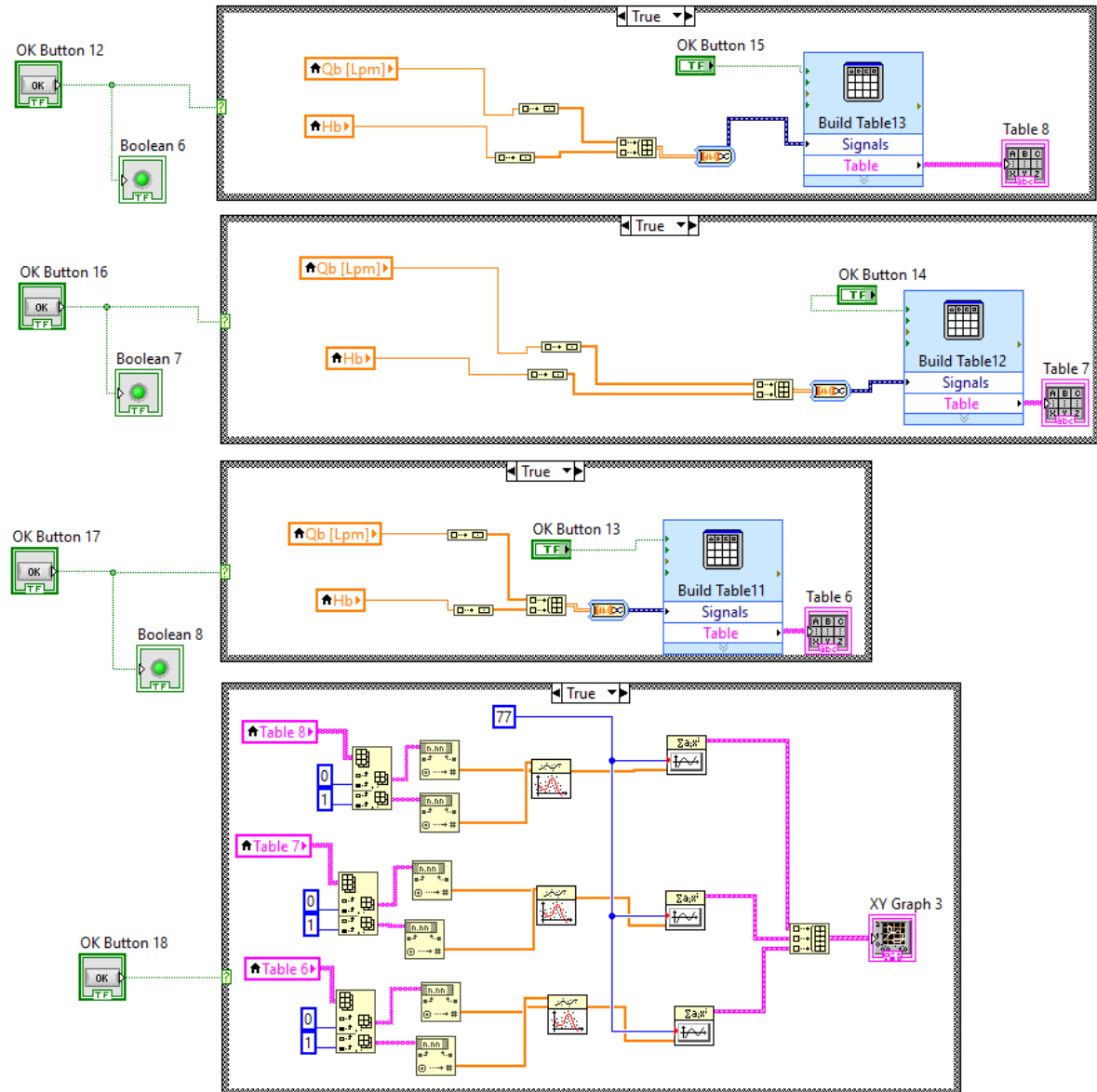
**Figura 41** Diagrama de bloque para la toma de datos y obtención de las gráficas de la bomba y la del sistema



**5.3.3 Comparación de las curvas de la bomba en serie, paralelo y sola.** En la pestaña número 3 (figura 42) se encuentra la interfaz donde se puede observar el comportamiento del sistema, dependiendo de la configuración de las bombas en serie, paralelo o sola. Allí se grafican las tres curvas, para ver el cambio que se tiene al configurar las bombas de diferentes formas.



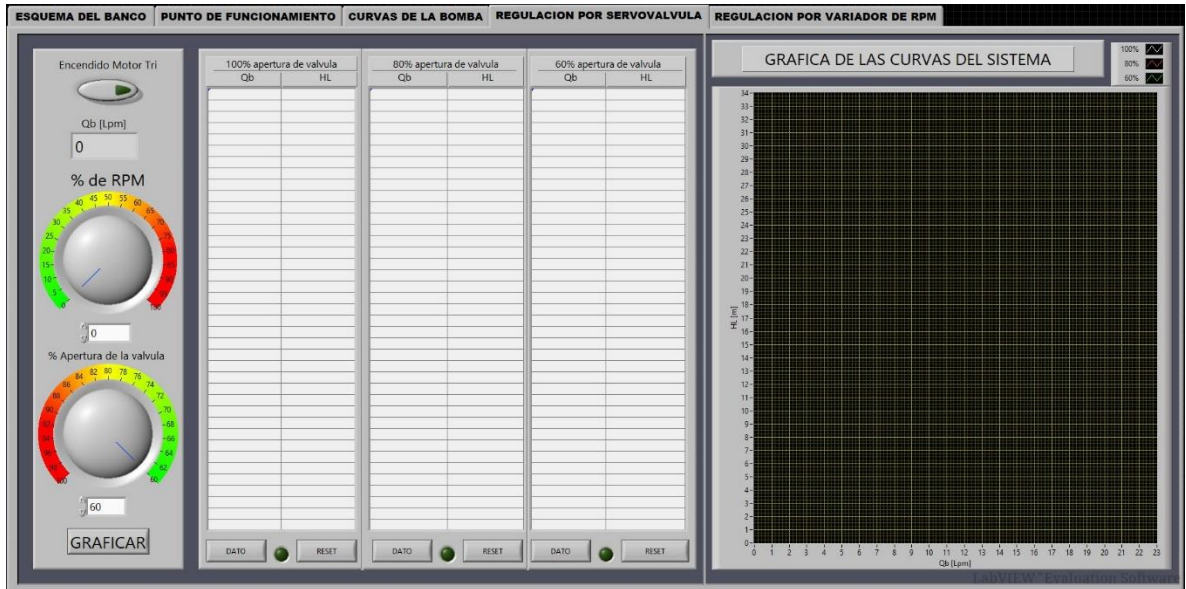
**Figura 43** Diagrama de bloques para la captura y gráfica de los datos de la bomba en serie, paralelo y sola



**5.3.4 Regulación del caudal mediante la servo-válvula.** En la pestaña número 4 (figura 44) se encuentra la interfaz donde se puede observar el comportamiento del sistema, dependiendo de la regulación aportada por el porcentaje de apertura de la

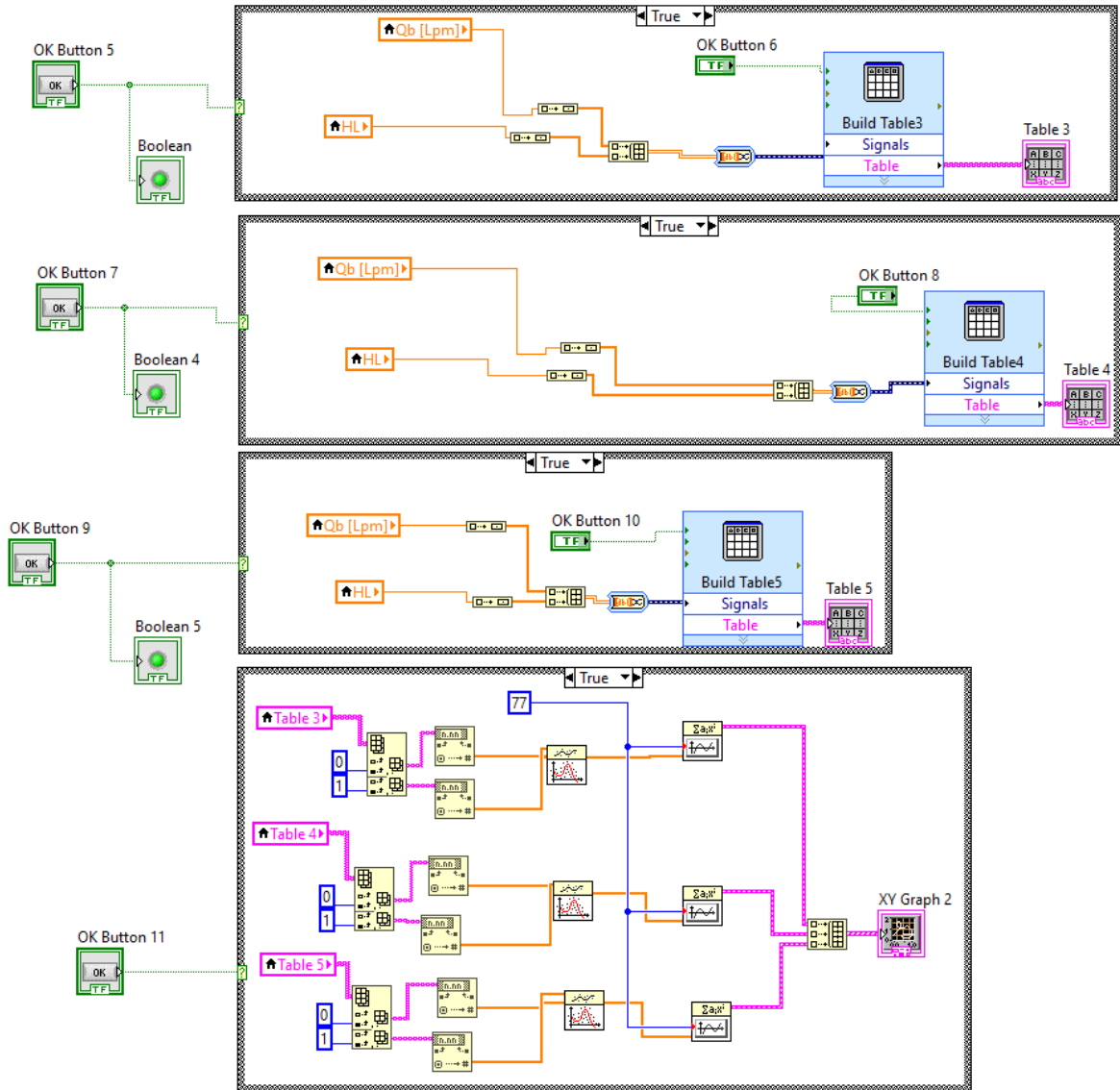
servo-válvula, que será de 100, 80 y 60%. Allí se grafican las tres curvas, para ver el cambio que se tiene al regularse el caudal por medio de una válvula.

**Figura 44** Panel frontal para la regulación de la apertura de la servo-válvula



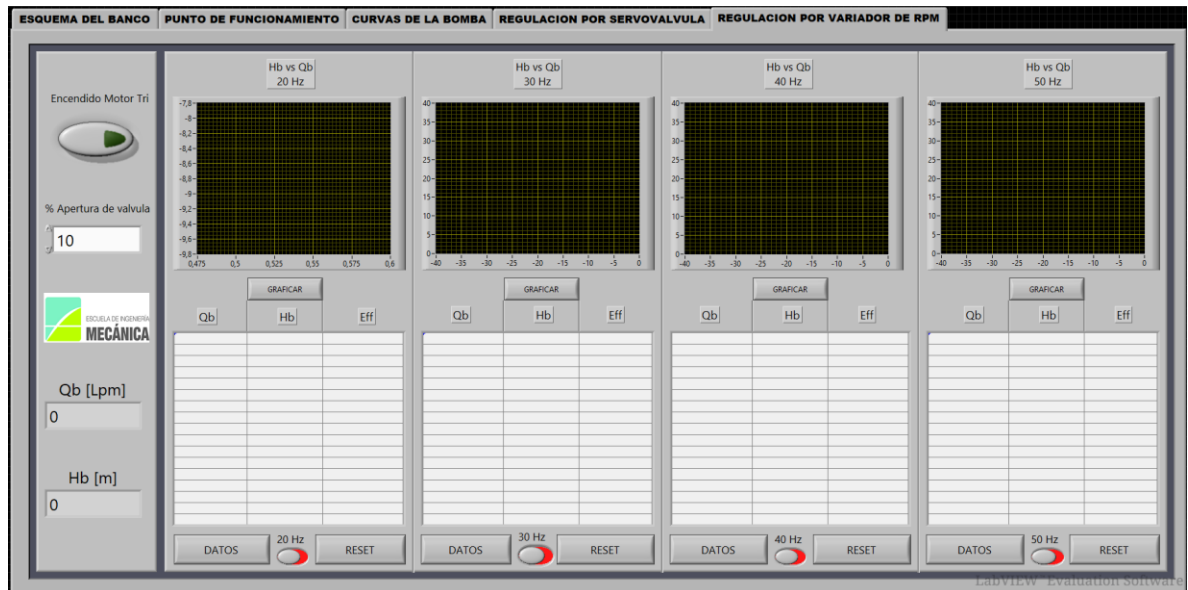
Para la obtención del panel frontal se realiza la programación que se muestra en la figura 45

**Figura 45** Diagrama de bloques para la captura y gráfica de los datos



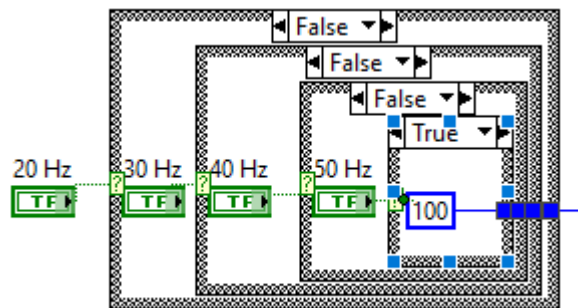
**5.3.5 Obtención de las curvas de la bomba.** En la última pestaña del tab\_control (figura 46) se encuentra la interfaz donde se realiza la gráfica de las curvas de la bomba junto con la de su eficiencia para diferentes frecuencias y por ende diferentes RPM.

**Figura 46** Interfaz para la obtención de las diferentes curvas de la bomba



El diagrama de bloques se programó de tal forma que solo se pueden seleccionar cuatro tipos de velocidades, para 20, 30, 40 y 50 [Hz] a un porcentaje de apertura de válvula cualesquiera.

**Figura 47** Diagrama de bloques tipo case para la variación de rpm por Hz

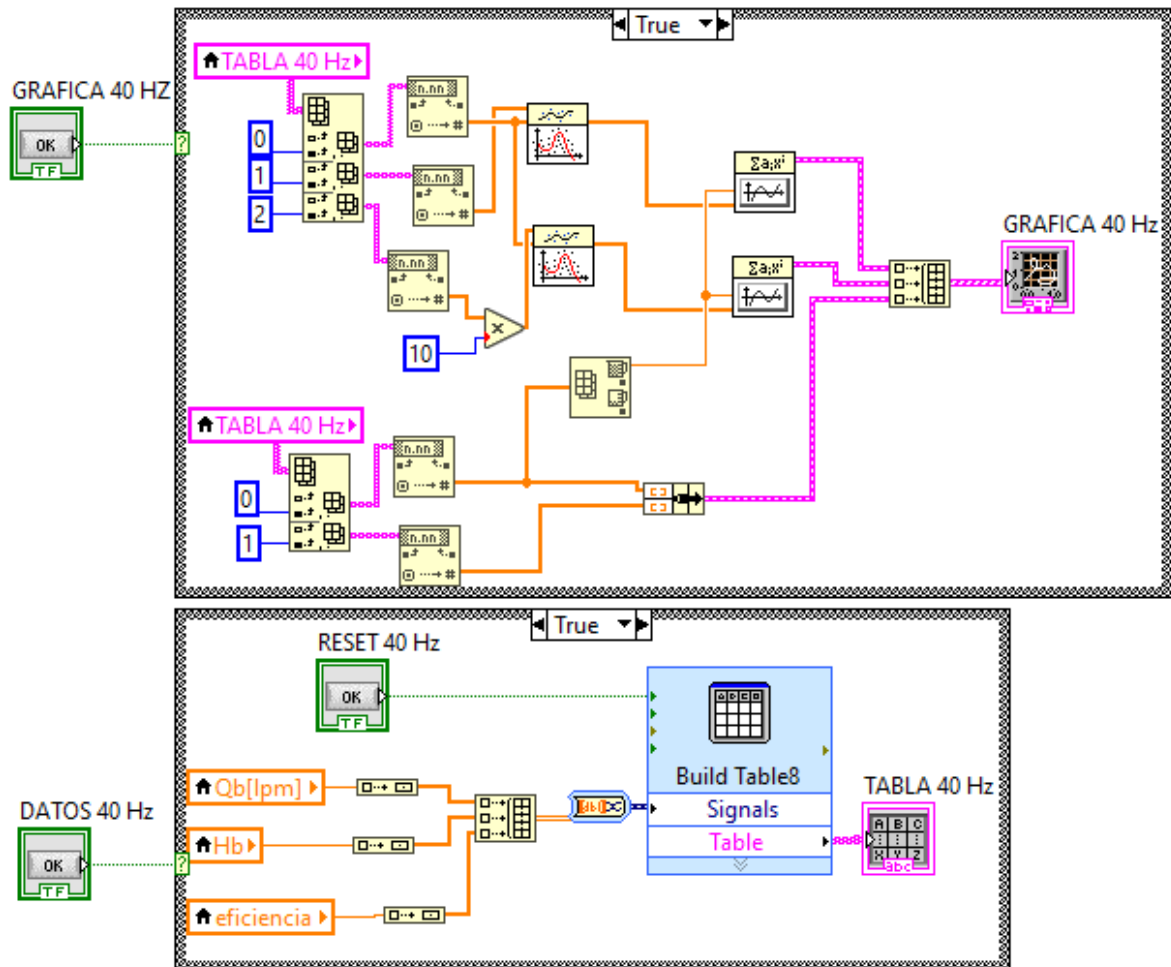


Una vez seleccionada la velocidad a la que se desea realizar la gráfica de la curva de la bomba, se activa la parte para la adquisición y posterior graficación. Se debe

tener en cuenta que la eficiencia se multiplicó solo por 10 en lugar de 100, esto con el fin de obtener una mejor visualización de ambas curvas en una misma gráfica.

En la figura 46 se muestra cómo se realiza la captura y gráfica de los datos a 40[Hz], para las demás frecuencias se realiza la misma programación.

**Figura 48** Diagrama de bloques para la obtención y graficación de los datos



## **6. PRÁCTICAS**

A continuación, se enlistan las prácticas que se pueden llevar a cabo en el banco de evaluación de consumo energético en transporte de líquidos en tuberías. el procedimiento que se debe seguir se encuentra en el anexo B.

### **6.1 DETERMINAR LAS DIFERENCIAS DE CONSUMO ENERGETICO AL REGULAR EL CAUDAL**

Se tienen tres casos diferentes, para cada uno de estos se debe mirar el consumo y la eficiencia que se esté registrando, y así establecer la mejor configuración, tanto de RPM como de apertura de la válvula.

Los casos de estudio son:

- Manteniendo fija la velocidad del motor de la bomba y variando la apertura de la válvula.
- Manteniendo fija la apertura de la válvula y variando las RPM de la bomba.
- Variando tanto la apertura de la válvula como la velocidad del motor de la bomba.

### **6.2 OBTENER LAS CURVAS DEL SISTEMA Y EL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO**

En este apartado se pretende estudiar el efecto que tienen cada una de las variables que influyen en las pérdidas de energía del fluido en un sistema de tuberías, ya sea en serie o en paralelo, para esto se realiza una gráfica con las curvas del sistema

(teórica y experimental) para cada línea de trabajo junto con la curva de la bomba, en el cruce de estas dos curvas se establece también el punto de funcionamiento.

### **6.3 OBTENER LAS CURVAS DE BOMBAS CONFIGURADAS EN SERIE, PARALELO O SOLA**

Por medio de la distribución de unas válvulas de bola (figura 11) se puede obtener las curvas de una bomba sola, dos bombas en serie o paralelo, y así observar experimentalmente como varía tanto el flujo como la cabeza que pueden aportar las bombas en cada una de estas configuraciones.

### **6.4 EVALUAR LOS METODOS DE REGULACION EN UN SISTEMA DE BOMBEO**

De los posibles métodos de regulación descritos en el marco teórico, es posible evaluar el comportamiento que tiene un sistema al variar la apertura de una válvula a la salida de la bomba y al regular por variación de velocidad del rodete de la bomba.

**6.4.1 Regulación mediante una válvula en la descarga de la bomba.** Se han establecido tres porcentajes de apertura a analizar, 60, 80 y 100%, para cada una de estas se realiza en la gráfica la curva del sistema; de esta forma se observará como el cambio de apertura afecta esta curva y por ende el punto de funcionamiento.

#### **6.4.2 Regulación mediante la variación de la velocidad del rodete de la bomba.**

Se realiza la curva típica de una bomba junto con la de la eficiencia para cuatro velocidades del rodete definidas en Hz, 20, 30, 40 y 50 Hz; de esta forma se observará, como cambia el punto de funcionamiento cambiando la curva de la bomba, mientras que la del sistema permanece inmutable.

## 7. CONCLUSIONES

- Se logró el funcionamiento del banco de consumo energético en transporte de líquidos en tuberías, mediante: el mantenimiento y corrección de las fallas que presentaban las bombas, la instalación del motor trifásico, el cableado y conexión del tablero de control junto con los transductores y sensores que lo conforman, la añadidura del tramo de tubería que hacía falta en la línea de retorno a tanque, el cambio de las válvulas de globo que se encontraban dañadas y la reparación de las fugas que se localizaban en la tubería.
- Se desarrolló un programa interactivo y de fácil comprensión para la toma de datos y control de los actuadores mediante el software computacional LabVIEW, el cual refleja la tecnología SCADA con la adquisición en tiempo real de las variables que intervienen en el sistema.
- Por medio del manual de utilización del banco, se logra explicar detalladamente el procedimiento a seguir para realizar las prácticas que se llevan a cabo para el análisis de los parámetros que influyen en una red de tuberías.
- Se logra desarrollar una práctica para determinar cómo varía el consumo energético y la eficiencia de una bomba al modificar el caudal del sistema.
- Se realiza una práctica para determinar cómo las pérdidas generadas por el uso de diferentes accesorios, diámetros, longitudes y materiales (rugosidad)

influyen en la caída de presión de un sistema de tuberías (ya sea que estén en serie o paralelo), por medio de la curva del sistema.

- Llevando a cabo una práctica, se evalúa de forma gráfica como se modifica el punto de funcionamiento de una bomba al regular el caudal mediante el cierre o apertura de una válvula a la descarga de esta y mediante la variación de la velocidad del rodete.

## 8. RECOMENDACIONES

A finales del año 2019, el sars-cov-2 (covid-19) fue descubierto y a lo largo de los meses consecuentes se extendió alrededor del mundo, causando una pandemia la cual obligo a distintas instituciones a cerrar sus puertas para evitar la propagación de la enfermedad, entre ellas la Universidad Industrial de Santander.

Debido a lo planteado anteriormente el laboratorio de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos, de la Escuela de Ingeniería Mecánica se vio en la necesidad de cerrar sus puertas por tiempo indefinido, y a pesar de las ayudas prestadas por la universidad para el ingreso a finales del año 2020, las limitaciones de tiempo impidieron la realización de algunas actividades, en consecuencia, se recomienda la realización de la siguiente tarea en el momento que el laboratorio pueda continuar con su funcionamiento normal:

- Adquirir e instalar un motor trifásico de 1 [hp] a 3600 [RPM], puesto que las cargas del motor comprado no estaban equilibradas y esto estaba ocasionando que el caudalímetro no funcionara como debía. Se recomienda que el motor a adquirir sea un motor Siemens, para que no exista ninguna incompatibilidad con el variador de frecuencia que es de esta misma marca.

## BIBLIOGRAFÍA

ACADENAS. Aprende a programar con LabVIEW. Curso GRATIS desde cero. [en línea]. (recuperado en 9 noviembre 2020). Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=CXPbDnltzpo&list=PLb\\_ph\\_WdILDkiwqtPD6kv7OfchsD819ss](https://www.youtube.com/watch?v=CXPbDnltzpo&list=PLb_ph_WdILDkiwqtPD6kv7OfchsD819ss)

CESAR AUGUSTO, Sanabria Guauque y SÁNCHEZ BARRERA, Ricardo. Diseño de un banco de pruebas para la evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2004. 465 p.

CHEMENG IQA. OTM36: Constante K para válvulas. [en línea]. (recuperado en 15 junio 2020). Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_wXKFcJj4xE](https://www.youtube.com/watch?v=_wXKFcJj4xE)

DANFOSS. Válvulas solenoides proporcionales servo-accionadas de 2 vías tipo EV260B. 2014. 7p. IC.PD 200.O3.05 / 520B6314.

GUANO, Andrés y FRANCISCO, Jijón. Obtención de las curvas de la bomba y sistema, para encontrar el punto de operación entre la interacción bomba-sistema, en un banco de pruebas para bombas centrifugas. Departamento de eléctrica y electrónica de la universidad de las fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga, Ecuador; 7p.

MARTÍNEZ 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 para optar al título de ingeniero mecánico. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico-mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2013. 143 p.

MOLINA MARTÍNEZ, José Miguel y JIMÉNEZ BUENDIA, MANUEL. Programación grafica para ingenieros. 1 ed. México D.F.: Alfaomega, 2012. 251p. ISBN 978-607-707-155-6.

PCE. Transductores. [en línea]. (recuperado en 15 junio 2020). Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>

QUIROGA PINEDA, Anderson Gerardo. Construcción y montaje del banco de evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos para el laboratorio de transporte y aprovechamiento de fluidos adscrito a la escuela de ingeniería mecánica. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico-mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2010. 130 p.

ROJAS TROYA, Bryan Marcelo. Control del variador de frecuencia Sinamics G110 a través del puerto serial RS-485. Proyecto de grado. Tecnólogo en electricidad y control industrial. Loja. Universidad nacional de Loja. Área de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables. 2013. 90 p.

SIEMENS. SIMATIC Programar con STEP 7 Manual. Nürnberg: Siemens AG, 2006. 644 p.

SIEMENS. Simatic, S7 Controlador programable S7-1200 Manual de sistema. Nürnberg: Siemens AG, 2011. 378 p.

SIEMENS. Transmisor de presión SITRANS p, serie DS III con HART. Nürnberg: Siemens AG, 2011. 248 p.

TÉLLEZ FLÓREZ, Carlos Andrés y VÁSQUEZ HENAO, Gabriel Augusto. Implementación de un esquema de regulación automática basados en la variación de apertura de la servo-válvula y la velocidad de giro en la bomba, para el banco de caracterización de sistemas de transporte de líquidos del laboratorio de STAF UIS. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico. Bucaramanga. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico-mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2016. 92 p.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A. MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA**

Se ajustaron los siguientes parámetros:

P0010 = 30 REINICIO DE FABRICA

P0010 = 1 PUESTA EN SERVICIO RAPIDA

P0100 = 1 POTENCIA EN HP Y 60 HZ

P0304 = 220 TENSION DEL MOTOR

P0305 = 3.4 CORRIENTE DEL MOTOR

P0307 = 1 [HP] POTENCIA DEL MOTOR

P0310 = 60 FRECUENCIA DEL MOTOR

P0311 = 3400 RPM

P0700 = SELECCIÓN FUENTE DE ORDENES

2 CONTROL CON TERMINAL

P1000 = CONSIGNA DE FRECUENCIA

2 CONSIGNA ADC

P1080 = 10 [HZ] FRECUENCIA MÍNIMA DEL MOTOR [HZ]

P1082 = 60 [HZ] VELOCIDAD MÁXIMA

P1120 = 10 (s) TIEMPO DE ACELERACIÓN

P1121 = 10 (S) TIEMPO DE DESACELERACIÓN

P3900 = 2 FIN DE LA PUESTA EN SERVICIO

P0010 = 0 PREPARADO

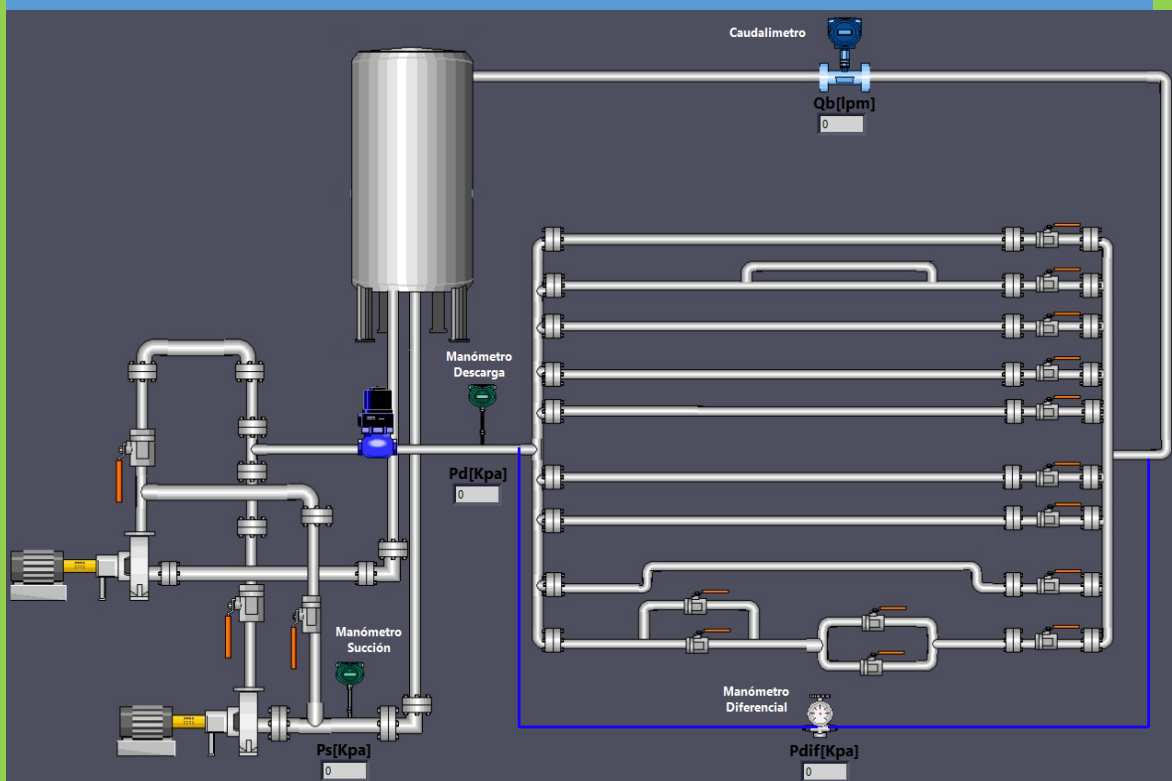
FUNCIÓN FN = 0

BOTÓN VERDE

# **ANEXO B. MANUAL DE USO**

# MANUAL DE USO

MANUAL DE UTILIZACIÓN DEL BANCO DE  
EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN  
TRANSPORTE DE LÍQUIDOS EN TUBERÍAS



*UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2021*

MONTAJE ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y CONTROL COMPUTARIZADO DEL  
BANCO DE EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN TRANSPORTE DE  
LÍQUIDOS EN TUBERÍAS DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE  
TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ANDRÉS JULIÁN ESPARZA LEÓN  
CARLOS DAVID LÁZARO ANGARITA

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

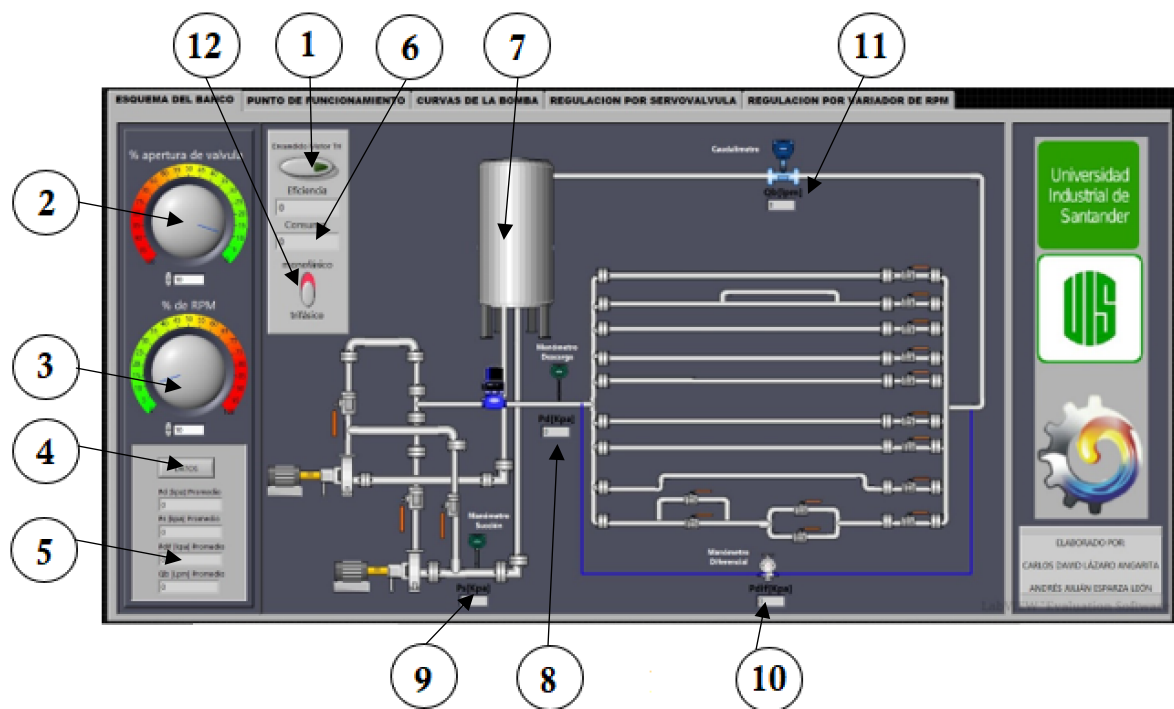
2021

A continuación, se describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de cada una de las prácticas planteadas.

## 1. DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE CONSUMO ENERGÉTICO AL VARIAR EL CAUDAL

Esta práctica se lleva a cabo mediante la pestaña número 1 de la interfaz gráfica desarrollada “ESQUEMA DEL BANCO”

### COMPONENTES



1. Encendido y apagado del motor trifásico

2. Dial selector del % de apertura de válvula

3. Dial selector del % de RPM

4. Botón de toma de datos

5. Datos promedio del sistema

6. Eficiencia y consumo del sistema

7. Esquema del banco

8. Presión de descarga

9. Presión de succión

11. Caudal del sistema

10. Presión diferencial

12. selector de motor trifásico y monofásico

## PROCEDIMIENTO

1. encienda el banco, primero active los breakers dentro del tablero de control de izquierda a derecha, empezando por el que se señala:

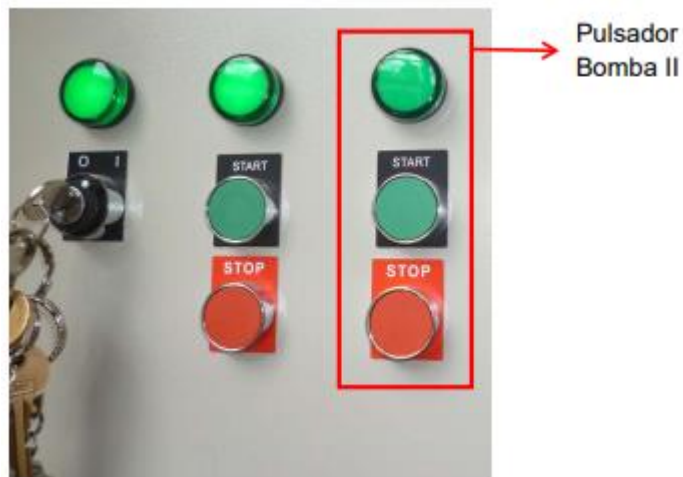


2. luego active el tablero de control con la llave que se encuentra en la puerta del tablero.

3. encienda el PLC junto a los demás instrumentos del tablero de control.



4. Conecte el cable Ethernet al PLC S7-1200 y verifique que se encuentre en modo "RUN" (es el led verde en la CPU del PLC), de lo contrario ejecute el TIA Portal y ejecute el programa.
5. en el flujómetro configure los valores del set k en 159 y el set 20 en 18.
6. verifique que las válvulas de succión, descarga y conexión de los transductores se encuentren totalmente abiertas.
7. seleccione la línea de trabajo y si esta contiene alguna válvula asegúrese de que esté totalmente abierta, en las demás líneas de trabajo las válvulas de globo o bola deben permanecer totalmente cerradas.
8. abra las válvulas de la toma del valor de presión del transductor diferencial para la línea de trabajo en donde va a realizar el análisis.
9. energice el variador de frecuencia oprimiendo el pulsador de la bomba II



10. selección la configuración a usar (motor monofásico o motor trifásico)



11. sí se selecciona el motor monofásico en el paso anterior, ubique el sensor de corriente en la última línea del contactor KM1 a la salida del término.

12. encienda el pulsador de la bomba 1 y anote el valor de consumo y eficiencia que se está registrando.

13. sí se selecciona el motor trifásico en el paso 10, ubicar el sensor de corriente en una de las fases que ingresan al variador de frecuencia, A continuación, seguir los siguientes pasos:

### **PARA LA VELOCIDAD DEL RODETE CONSTANTE**

14. establezca el porcentaje de apertura de la válvula en 100%



15. encienda el motor trifásico y seleccione una velocidad para el rodete de la bomba.



16. vaya cerrando progresivamente la apertura de la servo-válvula hasta llegar a 0%, para cada variación pulse el botón DATOS y registre los valores de las tablas. Al llegar a cero vuelva a abrir la servo-válvula rápidamente, ya que se aumente la presión en la descargar de la bomba y podría ocasionar algún daño en los elementos del banco.



17. repita los pasos del 15 y 16 por lo menos con cuatro velocidades diferentes

**PARA UN PORCENTAJE DE APERTURA DE LA VÁLVULA CONSTANTE**

18. establezca el porcentaje de apertura de la válvula en 100%



19. inicie estableciendo la velocidad del rodete en 100 [% de RPM], varíe progresivamente la velocidad hasta llegar a 0 [% de RPM], para cada variación oprima el botón DATOS y registre los valores que da la tabla.

The image shows a control panel interface. At the top, there is a button labeled 'DATOS' which is circled in red. Below this button are four data input fields, each with a label and a numerical value of 0: 'Pd [kpa] Promedio', 'Ps [kpa] Promedio', 'Pdif [kpa] Promedio', and 'Qb [Lpm] Promedio'. To the right of these fields is a separate panel with two more data input fields, also showing 0: 'Eficiencia' and 'Consumo'.

20. repita los pasos 18 y 19 por lo menos con cuatro aperturas diferentes.

### **VARIANDO EL PORCENTAJE DE APERTURA DE LA VÁLVULA Y LA VELOCIDAD DEL RODETE**

19. establezca el porcentaje de apertura de la válvula en 100%

20. encienda el variador de frecuencia

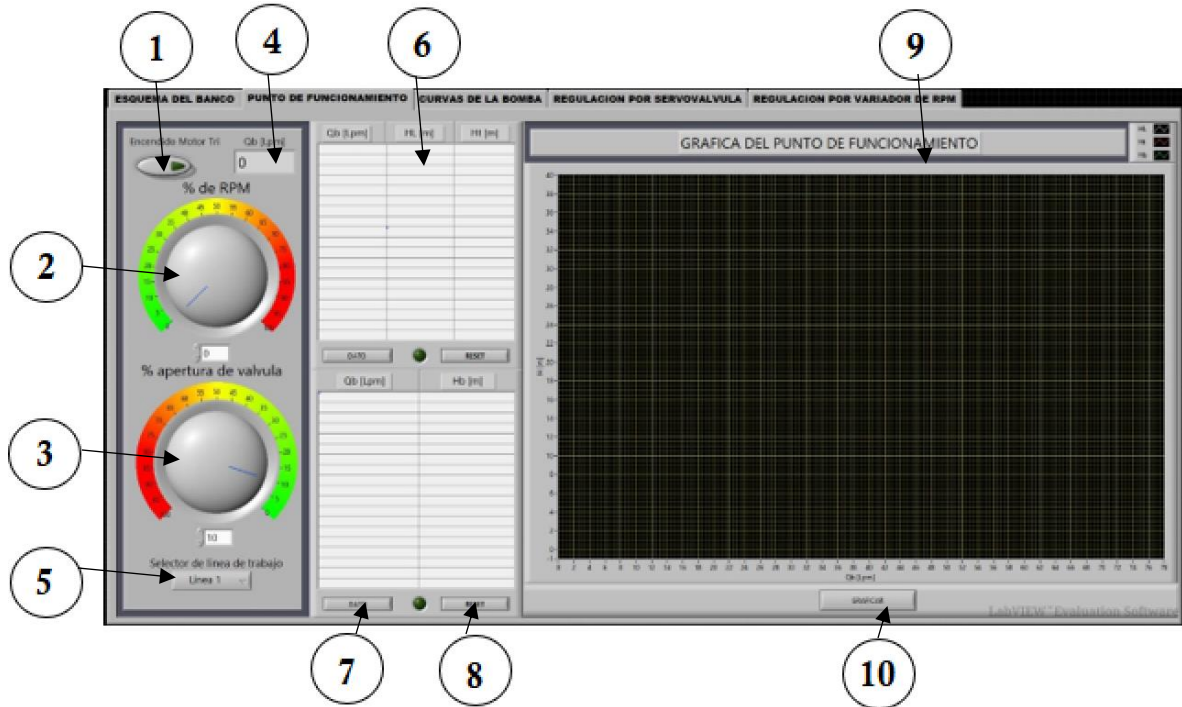
21. establezca una velocidad para el rodete de la bomba

22. varíe tanto el dial de % de RPM como el de % de apertura en los valores que desee, para cada configuración oprima el botón DATOS y regístrelos.

23. compare los resultados y establezca cual es la configuración de menor consumo y cual la de mejor eficiencia. ¿Para ambos casos son el mismo?

## 2. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DEL SISTEMA Y EL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO

Esta práctica se lleva a cabo mediante la pestaña número 2 de la interfaz gráfica desarrollada “PUNTO DE FUNCIONAMIENTO”



### COMPONENTES

- |   |  |
|---|--|
| 1. Encendido y apagado del motor trifásico    | 6. Tablas de toma de datos             |
| 2. Dial selector de % de RPM                  | 7. Botón de toma de datos              |
| 3. Dial selector del % de apertura de válvula | 8. Botón de reset de las tablas        |
| 4. Caudal del sistema                         | 9. Gráfica del punto de funcionamiento |

5. Selector de línea de trabajo

10. Botón para graficar

## PROCEDIMIENTO

1. encienda el banco, primero active los brakers dentro del tablero de control de izquierda a derecha, empezando por el que se señala:



2. luego active el tablero de control con la llave que se encuentra en la puerta del tablero.

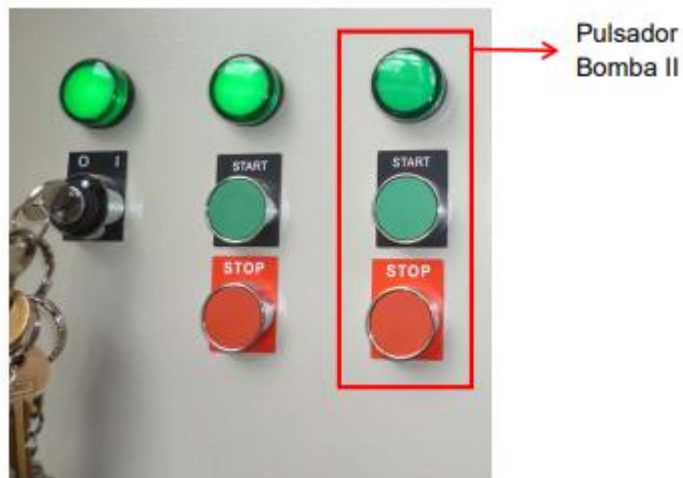
3. encienda el plc junto a los demás instrumentos del tablero de control.



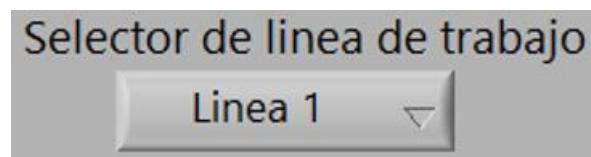
4. Conecte el cable Ethernet al PLC S7-1200 y verifique que se encuentre en modo "RUN" (es el led verde en la CPU del PLC), de lo contrario ejecute el TIA Portal y ejecute el programa.

5. en el flujómetro configure los valores del set k en 159 y el set 20 en 18.

6. verifique que las válvulas de succión, descarga y conexión de los transductores se encuentren totalmente abiertas.
7. seleccione la línea de trabajo y si esta contiene alguna válvula asegúrese de que esté totalmente abierta, en las demás líneas de trabajo las válvulas de globo deben permanecer totalmente cerradas.
8. abra las válvulas de la toma del valor de presión del transductor diferencial para la línea de trabajo en donde va a realizar el análisis.
9. energice el variador de frecuencia oprimiendo el pulsador de la bomba II

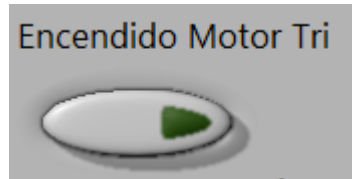


10. Proceda a elegir la línea con la cual se va a trabajar

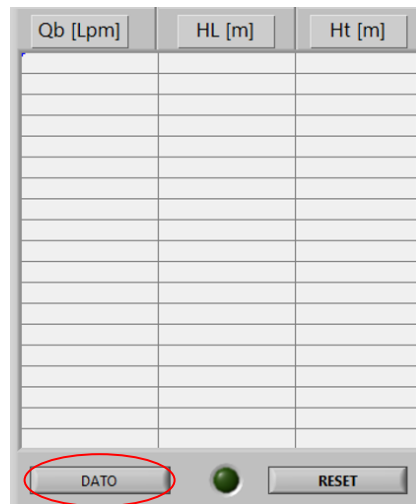


## Realizando la curva del sistema

11. configure el dial de % de apertura de válvula fijo en 100%
12. encienda el motor trifásico

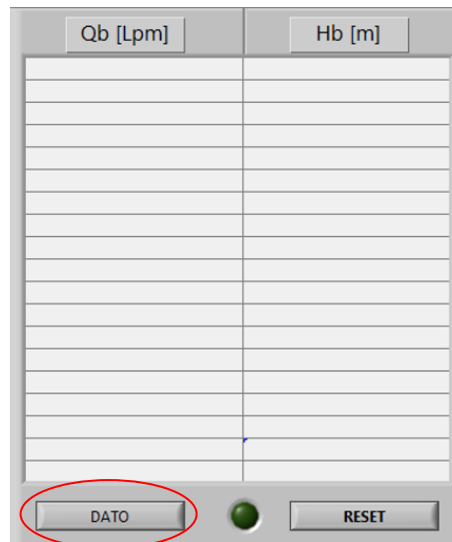


13. empiece a tomar datos en la primera tabla (superior) usando el botón DATOS mientras varía los rpm con su respectivo dial, empezando en 100 hasta llegar a 0.



## Curva de la bomba

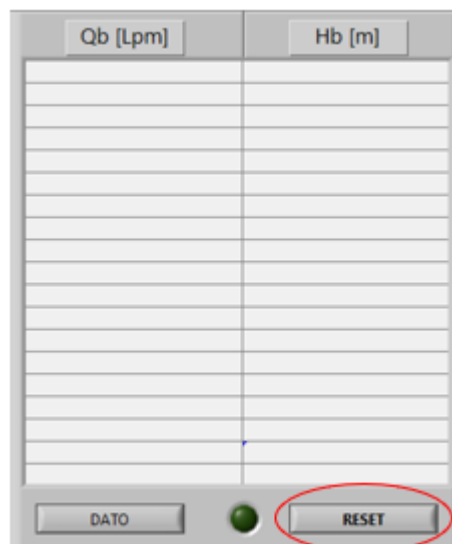
14. configure el dial de % de apertura de válvula en 100%
15. seleccione con el dial de variación de % de RPM un porcentaje fijo de 100 [% de RPM]
16. proceda a tomar datos en la segunda tabla (inferior) variando el % de apertura de la válvula hasta llegar a 0%, para cada variación oprima el botón DATOS



17. oprima el botón “GRAFICAR” para realizar la gráfica de los datos tomados en ambas tablas

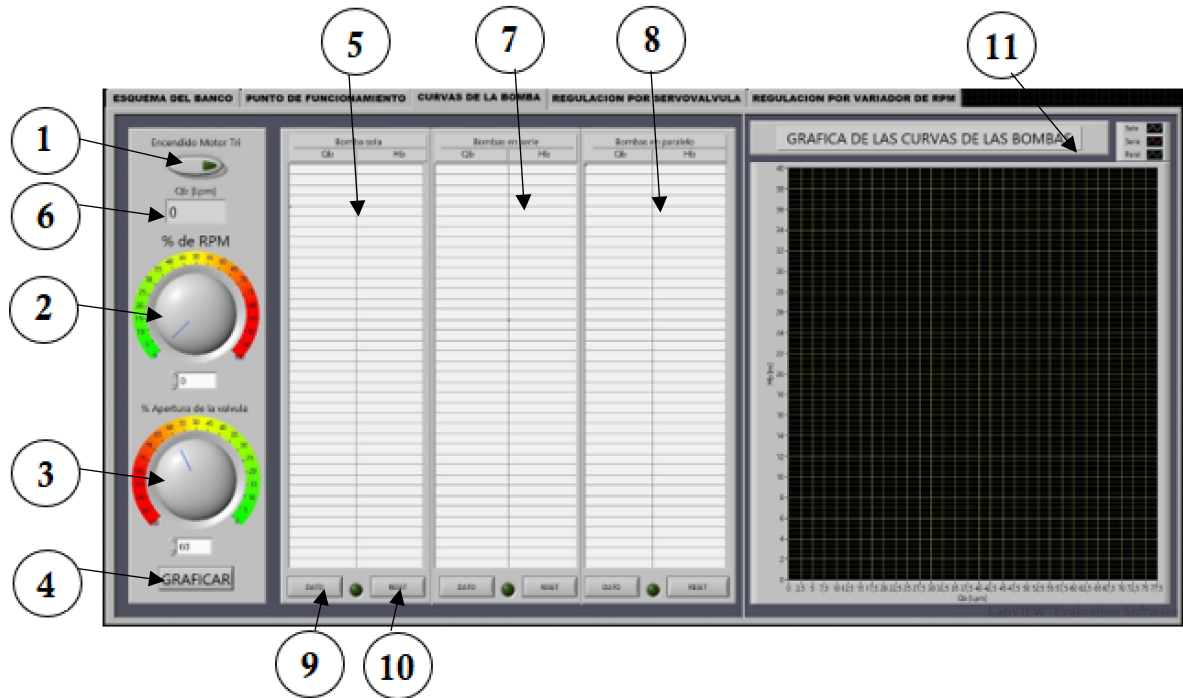


18. para realizar el análisis de otra línea de trabajo oprima el botón RESET y repita los pasos del 10 al 17



### 3. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE BOMBAS CONFIGURADAS EN SERIE Y PARALELO

Esta práctica se lleva a cabo mediante la pestaña número 3 de la interfaz gráfica desarrollada “CURVAS DE LA BOMBA”



#### COMPONENTES

1. Encendido y apagado del motor trifásico
2. Dial selector de % de RPM
3. Dial selector del % de apertura de válvula
4. Botón para graficar
5. Tabla de datos para bombas en serie
6. Tabla de datos para bombas en paralelo
7. Botón de toma de datos
8. Botón de reset de tabla
9. Botón de toma de datos
10. Botón de reset de tabla
11. Grafica de las curvas de las bombas

5. Tabla de datos para bomba sola

11. Gráfica de curva de las bombas

6. Caudal del sistema

## PROCEDIMIENTO

1. encienda el banco, primero active los breakers dentro del tablero de control de izquierda a derecha, empezando por el que se señala:



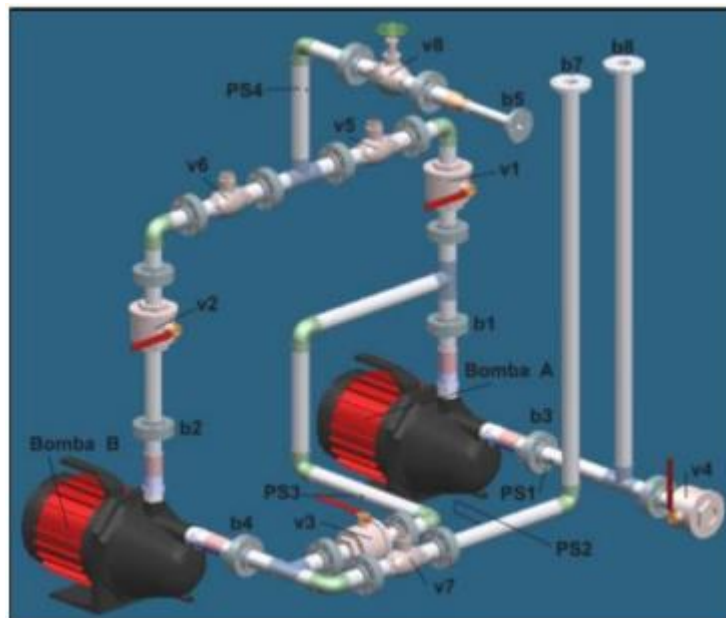
2. luego active el tablero de control con la llave que se encuentra en la puerta del tablero.

3. encienda el plc junto a los demás instrumentos del tablero de control.



4. Conecte el cable Ethernet al PLC S7-1200 y verifique que se encuentre en modo "RUN" (es el led verde en la CPU del PLC), de lo contrario ejecute el TIA Portal y ejecute el programa.

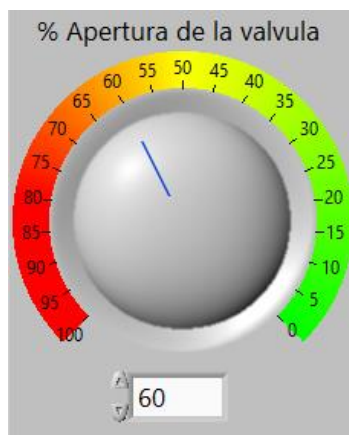
5. en el flujómetro configure los valores del set k en 159 y el set 20 en 18.
6. verifique que las válvulas de succión, descarga y conexión de los transductores se encuentren totalmente abiertas.
7. seleccione la línea de trabajo y si esta contiene alguna válvula asegúrese de que esté totalmente abierta, en las demás líneas de trabajo las válvulas de globo deben permanecer totalmente cerradas.
8. abra las válvulas de la toma del valor de presión del transductor diferencial para la línea de trabajo en donde va a realizar el análisis.
9. configure las válvulas del subsistema de impulsión para la configuración de bomba que desea graficar, (sola, serie o paralelo). Tal como se muestra a continuación:
  - Para una sola bomba: V1 abierta, V2 y V3 cerrada, en este caso solo queda funcionando la bomba A.
  - Para las dos bombas en serie: V1 cerrada, V2 y V3 abiertas.
  - Para bombas en paralelo: V3 cerrada, V1 y V2 abiertas.



10. energice el variador de frecuencia oprimiendo el pulsador de la bomba II



11. seleccione la apertura de válvula al 100% con el dial respectivo

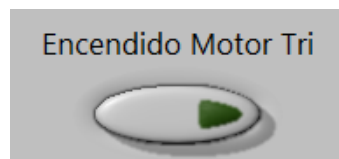


12. para realizar la curva de una bomba sola, encienda la bomba A, la cual es la que tiene el motor monofásico, para esto encienda el botón verde de la botonera.

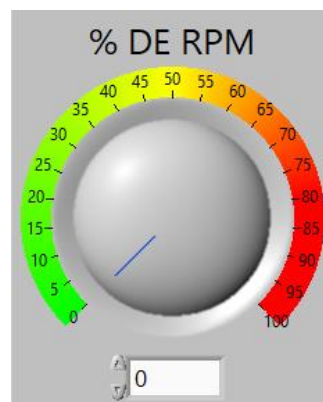
13. varíe el porcentaje de apertura de la servoválvula hasta llegar a 0, para cada variación tome el dato en la primera tabla.



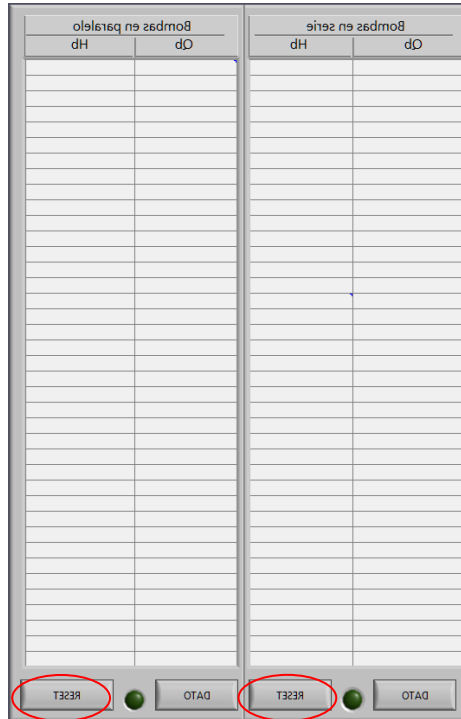
14. sí va a realizar las curvas de las dos bombas configuradas en serie o paralelo, encienda ambas bombas, la bomba con el motor monofásico directamente desde el tablero de control y la bomba con el motor trifásico desde el programa



15. establezca la velocidad del rodete en 100 [% de RPM]



16. varíe el porcentaje de apertura de la servoválvula hasta llegar a 0, para cada variación tome el dato en la tabla correspondiente a la configuración de bombas que está realizando.



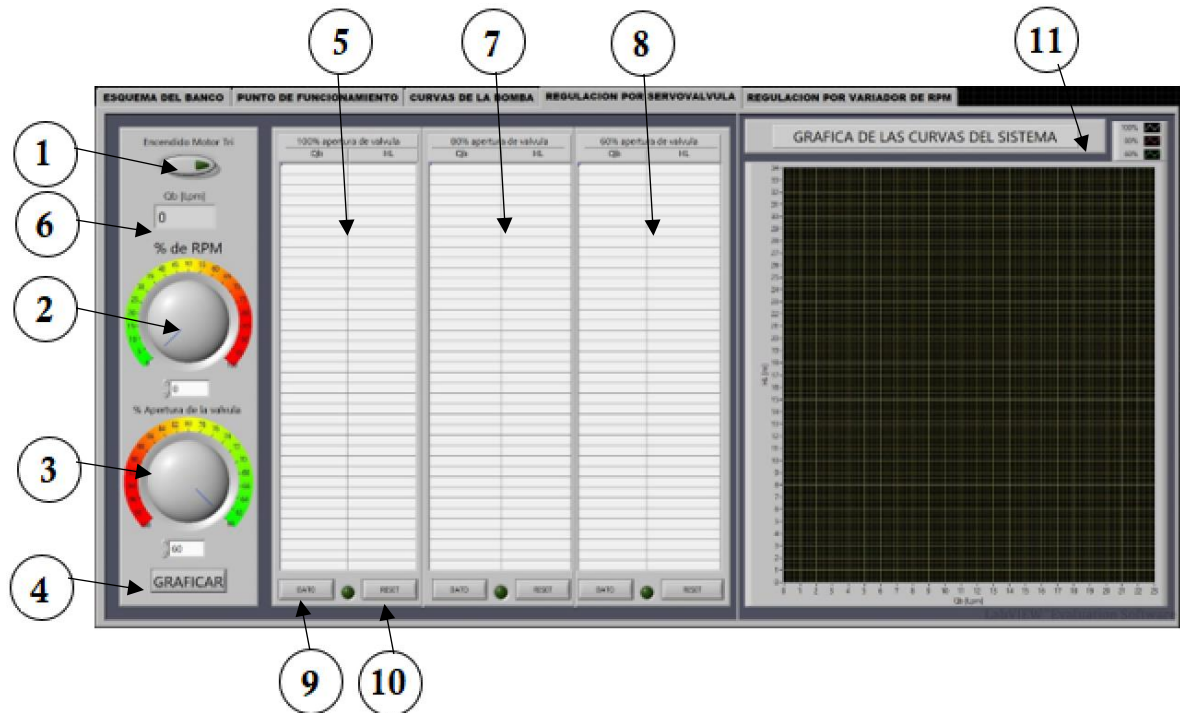
17. una vez llenada las tablas, oprima el botón graficar



18. oprima el botón RESET de las tres tablas para limpiarlas

## 4. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE REGULACIÓN EN UN SISTEMA DE BOMBEO

Esta práctica se lleva a cabo mediante la pestaña número 4 de la interfaz gráfica desarrollada “REGULACIÓN POR SERVO-VÁLVULA”



### COMPONENTES

- |   |   |
|---|---|
| 1. Encendido y apagado del motor trifásico    | 7. Tabla de datos a un porcentaje de apertura del 80% |
| 2. Dial selector de % de RPM                  | 8. Tabla de datos a un porcentaje de apertura del 60% |
| 3. Dial selector del % de apertura de válvula | 9. Botón de toma de datos                             |
| 4. Botón para graficar                        | 10. Botón de reset de tabla                           |

5. Tabla de datos a un porcentaje de 11. Gráfica de curva del sistema  
apertura del 100%

6. caudal del sistema

## PROCEDIMIENTO

1. encienda el banco, primero active los breakers dentro del tablero de control de izquierda a derecha, empezando por el que se señala:



2. luego active el tablero de control con la llave que se encuentra en la puerta del tablero.

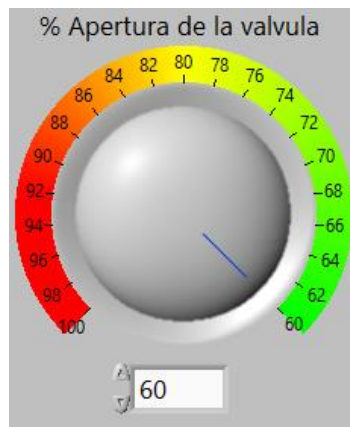
3. encienda el plc junto a los demás instrumentos del tablero de control.



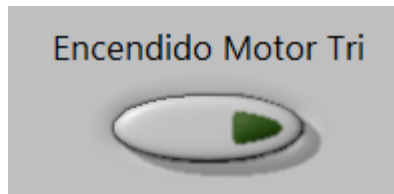
4. Conecte el cable Ethernet al PLC S7-1200 y verifique que se encuentre en modo "RUN" (es el led verde en la CPU del PLC), de lo contrario ejecute el TIA Portal y ejecute el programa.
5. en el flujómetro configure los valores del set k en 159 y el set 20 en 18.
6. verifique que las válvulas de succión, descarga y conexión de los transductores se encuentren totalmente abiertas.
7. seleccione la línea de trabajo y si esta contiene alguna válvula asegúrese de que esté totalmente abierta, en las demás líneas de trabajo las válvulas de globo deben permanecer totalmente cerradas.
8. abra las válvulas de la toma del valor de presión del transductor diferencial para la línea de trabajo en donde va a realizar el análisis.
9. energice el variador de frecuencia oprimiendo el pulsador de la bomba II



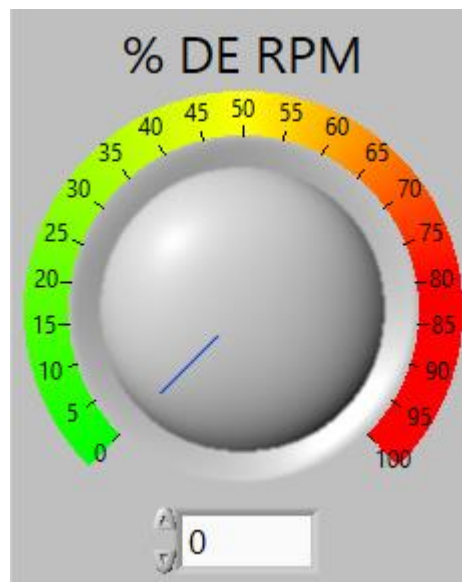
10. seleccione la apertura de válvula al 100% con el dial respectivo



11. encienda el motor trifásico



12. establezca la velocidad del rodete en 100 [% de RPM]



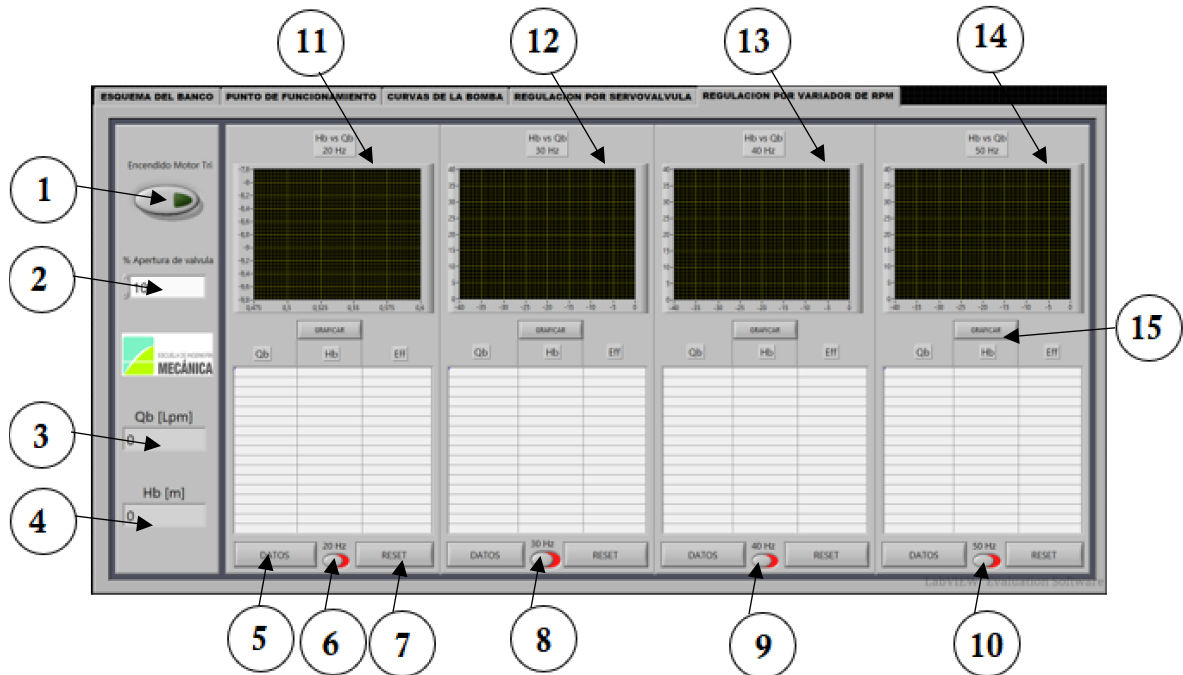
13. varíe las RPM hasta llegar a 0, para cada cambio oprima el botón DATOS en la tabla respectiva





## 5. REGULACIÓN MEDIANTE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL RODETE DE LA BOMBA

Esta práctica se lleva a cabo mediante la pestaña número 4 de la interfaz gráfica desarrollada “REGULACIÓN POR VARIADOR DE RPM”



### COMPONENTES

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. Encendido y apagado del motor trifásico | 8. Selector de 30 Hz    |
| 2. % de apertura de la válvula             | 9. Selector de 40 Hz    |
| 3. Indicador de caudal                     | 10. Selector de 50 Hz   |
| 4. Indicador de altura de bomba            | 11. grafica de 20 Hz    |
| 5. Botón de toma de datos                  | 12. grafica de 30 Hz    |
| 6. Selector de 20 Hz                       | 13. grafica de 40 Hz    |
| 7. Botón de reseteo de tablas              | 14. grafica de 50 Hz    |
|  | 15. Botón para graficar |

## PROCEDIMIENTO

1. encienda el banco, primero active los breakers dentro del tablero de control de izquierda a derecha, empezando por el que se señala:



2. luego active el tablero de control con la llave que se encuentra en la puerta del tablero.

3. encienda el plc junto a los demás instrumentos del tablero de control.



4. Conecte el cable Ethernet al PLC S7-1200 y verifique que se encuentre en modo "RUN" (es el led verde en la CPU del PLC), de lo contrario ejecute el TIA Portal y ejecute el programa.

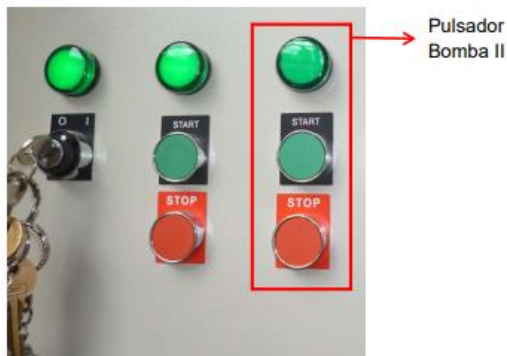
5. en el flujómetro configure los valores del set k en 159 y el set 20 en 20.

6. verifique que las válvulas de succión, descarga y conexión de los transductores se encuentren totalmente abiertas.

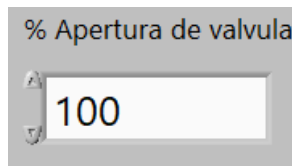
7. seleccione la línea de trabajo y si esta contiene alguna válvula asegúrese de que esté totalmente abierta, en las demás líneas de trabajo las válvulas de globo deben permanecer totalmente cerradas.

8. abra las válvulas de la toma del valor de presión del transductor diferencial para la línea de trabajo en donde va a realizar el análisis.

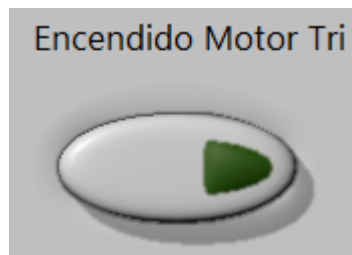
9. energice el variador de frecuencia oprimiendo el pulsador de la bomba II



10. seleccione la apertura de la válvula al 100%



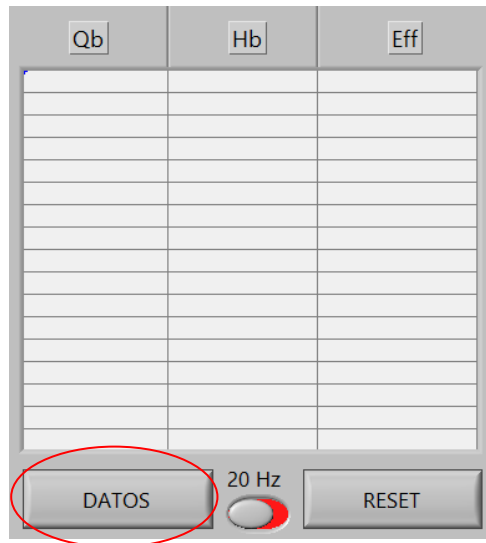
11. encienda el motor trifásico



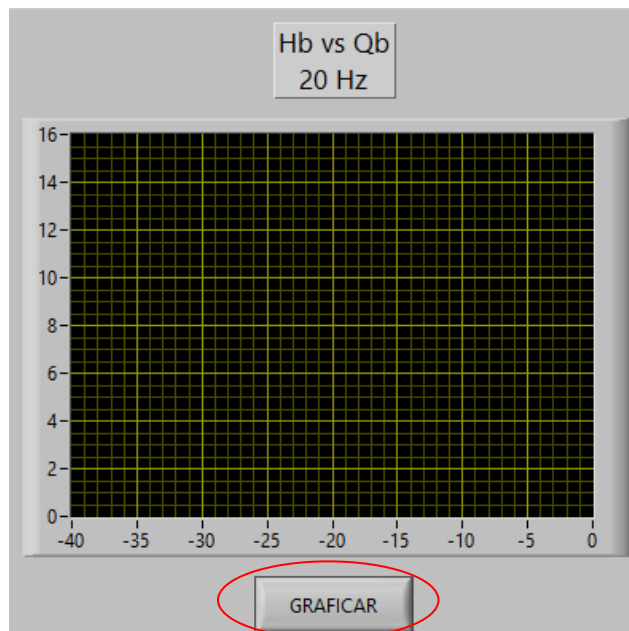
12. seleccione la configuración a 20 Hz



13. varíe la apertura de la válvula hasta llegar a 0%, para cada variación oprima el botón DATOS de la tabla correspondiente de la frecuencia seleccionada



14. grafique los datos obtenidos en la tabla opriumiendo el botón GRAFICAR



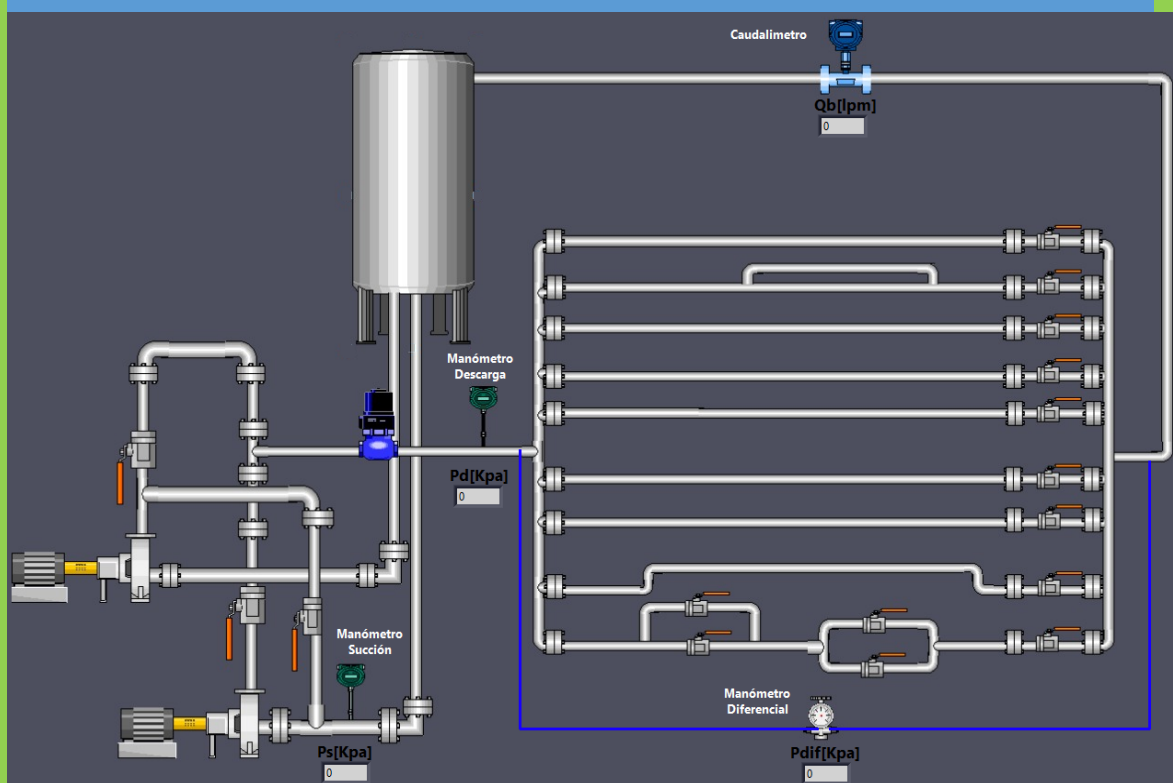
13. repita los pasos del 10 al 14 para las configuraciones de 30, 40, 50 [Hz]

14. oprima el botón RESET de cada tabla para limpiarlas

## **ANEXO C. MANUAL DE MANTENIMIENTO**

# MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL BANCO DE  
EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN  
TRANSPORTE DE LÍQUIDOS EN TUBERÍAS



*UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2021*

MONTAJE ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y CONTROL COMPUTARIZADO DEL  
BANCO DE EVALUACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN TRANSPORTE DE  
LÍQUIDOS EN TUBERÍAS DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE  
TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ANDRÉS JULIÁN ESPARZA LEÓN  
CARLOS DAVID LÁZARO ANGARITA

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

2021

Lo siguiente son un conjunto de recomendaciones para lograr mantener el banco en un estado óptimo y funcional.

### **Semanal**

Cada 7 días se aconseja realizar una revisión en búsqueda de algún contaminante o anomalía en el sistema de tuberías:

- En caso de polvo y/o suciedad: lavar con agua y/o detergente, de ser necesario hacer uso de agua a presión.
- Aceite y grasa: eliminar los contaminantes con solventes adecuados.
- Rasguños: eliminar los rasguños con lija número 220.
- Rugosidad: eliminar la rugosidad con abrasivo de grano fino número 440.

En caso de un posible depósito de agua debajo del banco se debe limpiar

### **Trimestral**

Cada 3 meses se recomienda realizar una revisión completa de las uniones que componen el banco de evaluación de consumo energético en transporte de líquidos en tuberías y su respectiva caja de control, junto a sus componentes como válvulas, motores, bombas, entre otros:

- Fugas: en caso de presentarse fugas inspeccionar los pernos que unen las juntas por un posible desajuste, si la fuga es persistente cambiar los sellos de las uniones respectivas.
- Válvulas: proceder a abrir y cerrar las válvulas para comprobar la integridad externa e interna de esta, de ser necesario lubricarla para facilitar su manejo.
- Cableado: en caso de alguna deformación por calentamiento o aprisionamiento de los cables, remplazarlos por un cable del mismo calibre que el afectado.

- Banco: poner en funcionamiento en búsqueda de alguna anomalía como lo son ruidos inusuales, vibraciones y/o calentamientos de los componentes del sistema.

## **Anual**

Cada año se deberá hacer una revisión de mantenimiento completa del banco y todos los componentes que este posee, para evitar posibles averías a futuro:

- Sensores: comparar los valores de los sensores con los de funcionamiento normal del banco en busca de fallas de medida, en caso de encontrarse fallas, revisar la configuración junto a la calibración y/o alimentación de estos.
- Red de suministro: realizar una revisión de los valores de tensión y corriente suministrados por la red, puesto que todo sistema eléctrico es susceptible a estos cambios.
- Equipos de impulsión: revisar en búsqueda de cavitación, fugas, desgaste acelerado, obstrucciones, integridad de los rodamientos, y/o alimentación del sistema; para proceder con el mantenimiento adecuado de ser necesario y según requiera la situación.