



ACONDICIONAMIENTO DEL BANCO DE BOMBAS DE LA UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS, INCORPORANDO SENSORES DE CAUDAL Y PRESIÓN PARA
LA IDENTIFICACIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE DESEMPEÑO.

Andrés Felipe Micolta Moreno
Joan Nicolás Urrego Peralta

Universidad Santo Tomás
Facultad Ingeniería Mecánica
División de ingenierías
Bogotá D.C
2019

ACONDICIONAMIENTO DEL BANCO DE BOMBAS DE LA UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS, INCORPORANDO SENSORES DE CAUDAL Y PRESIÓN PARA
LA IDENTIFICACIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE DESEMPEÑO.

ANDRÉS FELIPE MICOLTA MORENO
JOAN NICOLÁS URREGO PERALTA

Proyecto de Grado en la Modalidad de Solución a un Problema de Ingeniería para
optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director
ING. JESÚS DAVID VILLARREAL LÓPEZ
Universidad Santo Tomás

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C
2019

Dedicatoria:

Hago esta dedicatoria a mi mama Fabiola Moreno Cuevas, mi hermana Ángela Vanesa Micolta Moreno y una gran persona que quiero y considero como un papá John Alexander Betancourt por el apoyo siempre constante e incondicional, por enseñarme que hay personas por quien luchar todos los días y querer superarme día a día, me han ayudado a formarme por el buen camino hasta llegar a ser la persona que soy hoy en día, por último y no menos importante mis compañeros de clases en la universidad con los cuales pasamos muchos tiempos buenos y malos pero aun así formamos grandes amistades.

Andrés Felipe Micolta.

Quiero dedicar esta tesis en primer lugar a Dios por darme todo en la vida, a mis padres por haberme brindado su apoyo incondicional durante estos años universitarios, a mis hermanas quienes son todo para mí y quiero que sigan cumpliendo sus sueños, y por ultimo a mis compañeros universitarios con quienes pude aprender muchas cosas valiosas para mi vida personal y profesional y compartí momentos únicos que quedaran por siempre en mi memoria.

Joan Nicolás Urrego.

Agradecimientos

Gracias a Dios por permitirnos desarrollar y completar nuestros estudios de pregrado y a la universidad santo tomas en especial la facultad de ingeniería mecánica, la cual nos apoyaron en la elaboración de este proyecto de grado tanto en los materiales necesarios, especialistas, Instalaciones y el recurso técnico.

De igual manera, queremos realizar el agradecimiento a nuestro director de grado, el ingeniero Jesús David Villareal por su gran apoyo, orientación y constante dedicación con lo cual nos ayudó a completar este proyecto y a tener una mejor formación como ingenieros.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS.....	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
ESTADO DEL ARTE.....	19
MARCO CONCEPTUAL	23
Banco de bombas.	23
Bombas Centrifugas.	23
Automatización.....	25
Principios de los sistemas automatizados.....	25
Adquisición de datos (DAQ).	26
Controladores electrónicos.....	27
PLC.	27
Sensores.	27
Transductores.	28
HMI.....	29
MARCO TEORICO	30
Perdidas de carga en las tuberías.....	30
Perdidas primarias.	30
Perdidas secundarias.....	30
Curvas de rendimiento de una bomba.	31
Lenguaje de programación PLC.....	32
Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC)	32

Diagrama de Bloques de Funciones (FBD).....	32
Diagramas de Tipo Escalera (LAD).....	32
Texto Estructurado (ST).....	32
Lista de instrucciones (IL o STL).....	32
Diagrama de contactos (Ladder).....	32
Programación HMI.	33
Interfaz de usuario HMI (Human Machine interface).....	33
Criterio de usabilidad.....	33
Tipos de interfaz.....	33
Instrumentación industrial.....	34
Rango.....	34
Exactitud.	34
Precisión.	34
Resolución.	34
Calibración.	35
Sensibilidad.....	35
Linealidad.....	35
Estabilidad.....	35
CAPITULO 1. Reestructuración del banco de bombas.....	36
Análisis en CFD Autodesk.....	39
Creación modelo CAD y volumen de control.....	40
Establecer condiciones de frontera.	41
Enmallado del sistema.	42
Solución del sistema.	43

Post Procesamiento	45
Resultados	48
CAPITULO 2. Identificación del hardware requerido	49
Introducción PLC s7 1200	49
Módulo de entradas analógicas	50
Rangos de entradas	51
Resultados	51
CAPITULO 3. Adaptación de un sistema de instrumentación para la lectura de señales.	52
Instrumentación.....	52
Sensor nivel de agua en Angulo	52
Transmisor de presión Danfoss tipo mbs 3000 (060G1106)	53
Sensor de flujo de agua 3/4 fs. 300.....	55
Programación PLC	57
Sistema programación de las bombas	59
Seguridad de las bombas.....	61
Programación medidor de frecuencia	62
Programación HSC (High Speed Counters)	62
Programación sensores presión.....	64
Crear data log	65
Data log write (Para registrar los datos)	69
Programación HMI (Human Machine Interface)	71
Resultados	74
CAPITULO 4. Determinación de la curva característica	75

Resultados	79
Conclusiones	80
Proyecciones	81
Bibliografía.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexos.....	86

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 Diseño final del banco de pruebas para bombas centrífugas.	19
Figura 2 Banco de bombas utilizado para automatización.....	20
Figura 3 Estado actual del banco de bombas de la Universidad Santo Tomás.	21
Figura 4 Banco de Bombas.....	23
Figura 5 Partes de una bomba centrífuga.	24
Figura 6 Bomba Centrífuga.....	25
Figura 7 Importancia de los sistemas de control.....	26
Figura 8 funcionamiento DAQ.....	26
Figura 9 PLC Siemens S7 1200.....	27
Figura 10 Sensor de caudal.....	28
Figura 11 Transductor de presión Danfoss.....	28
Figura 12 HMI Siemens 2nd generación.....	29
Figura 13 Ejemplo de tubería con pérdidas primarias.....	30
Figura 14 Ejemplo de tubería con pérdidas secundarias.	30
Figura 15 Curva de rendimiento de una bomba centrífuga.	31
Figura 16 Exactitud y precisión en una medición.....	34
Figura 17 Grafica de linealidad.	35
Figura 18 Estado anterior del banco de bombas.	36
Figura 19 Desmontaje e identificación de elementos dañados.	37
Figura 20 Primer diseño del banco de bombas.....	38
Figura 21 Diseño final del banco de bombas.	38
Figura 22 Vista superior configuración de las bombas.	39
Figura 23 Modelo CAD de la tubería.....	40
Figura 24.Creación del volumen.	40
Figura 25 Definir el material y tipo de fluido.	41
Figura 26 Condiciones de frontera del sistema.....	42
Figura 27 Parámetros del enmallado.	43

Figura 28 Puntos críticos de la simulación.....	43
Figura 29 Parámetros de solución del sistema.	44
Figura 30 Enmallado de la geometría.	45
Figura 31 Análisis del flujo en la tubería utilizando CFD	46
Figura 32 Banco de bombas reestructurado.	46
Figura 33 Banco de bombas actualmente.	47
Figura 34 PLC Siemens S7 1200.....	50
Figura 35 Modulo de entradas analógicas compatible con el PLC	51
Figura 36 Rangos de entrada empleados en el PLC.	51
Figura 37 Sensor de nivel de agua.	52
Figura 38 Funcionamiento de un sensor de nivel.	53
Figura 39 Posiciones del sensor de nivel.....	53
Figura 40 Transductor de presión Danfoss.....	54
Figura 41 Partes principales de un sensor de presión.	54
Figura. 42 Especificaciones tecnicas del transductor de presión.....	54
Figura 43 Sensor de flujo.....	55
Figura 44 Funcionamiento del sensor de cauda efecto Hall.	56
Figura 45 Esquema del PLC y sus modulos en TIA Portal.	57
Figura 46 Listado de las variables que componen el programa.....	57
Figura 47 Diagrama Ladder funcionamiento de las bombas.....	59
Figura 48 Cambio de estado en las bobinas de funcionaiento.	60
Figura 49 Activación del paro en alguna de las bombas.....	60
Figura 50 Implementación de Sensor de nivel en tanque.	61
Figura 51 Activación del sistema de seguridad de las bombas.	61
Figura 52 Activación del contador rápido en TIA Portal.	62
Figura 53 Cambios en las entradas digitales.	63
Figura 54 Configuración de la variable HSC.....	63
Figura 55 Configuración de variables para lectura del sensor.	64
Figura 56 Configuración de los sensores de presión.....	64

Figura 57 Conversión de datos Int a Real.....	65
Figura 58 Variables necesarias para la creacion del DataLog.	67
Figura 59 Conversión de variables Reales a UDint.	68
Figura 60 Configuración para la toma de datos en el PLC.	68
Figura 61 Diagrama Ladder para la toma de datos cada segundo.	70
Figura 62 Cabio de estado durante la toma de datos.	70
Figura 63 Variables a mostrar en la pantalla HMI.	71
Figura 64 Pantalla de inicio en el HMI.	72
Figura 65 Pantalla para activar y desactivar las bombas.	72
Figura 66 Pantalla de visualizacion de recorrido del fluido.	73
Figura 67 Pantalla visualización datos presión y caudal.	73
Figura 68 Pantalla visualización grafica presion y caudal.....	74
Figura 69 Transferencia de datos para generar la curva característica.	75
Figura 70 Ingresar al servidor de Siemens para descargar los datos del PLC.	76
Figura 71 Menu principal del servidor web de Siemens.....	76
Figura 72 Link archivo corregido de excel.	77
Figura 73 Reemplazamiento de datos entre los archivos de excel.	77
Figura 74 Reemplazar los archivos dentro de la hoja de calculo.	78
Figura 75 Curva característica de desempeño de la bomba.	79

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1 Especificaciones técnicas PLC S7 1200	50
Tabla 2 Especificaciones tecnicas sensor de nivel de agua.	52
Tabla 3 Especificaciones tecnicas del sensor de flujo.	55
Tabla 4 Descripción de cada variable.	58
Tabla 5 Parametros para la realizacion del DataLog.	66
Tabla 6 Parametros necesarios para escribir datos del PLC.	69
Tabla 7 Ingreso de datos en Excel para crear la grafica.	78

ANEXOS.

Anexo A. Diagrama P&ID banco de bombas.86

Anexo B. Planos tubería y accesorios banco de bombas.86

Anexo C. Planos estructura banco de bombas.86

Anexo D. Programación PLC banco de bombas.....86

Anexo E. Instructivo de uso.....86

Anexo F. Plano conexión eléctrica.86

Anexo G. Manual de usuario PLC S7 1200.86

Anexo H. Manual sensor mbs3000.86

Anexo I. Manuel sensor de flujo.86

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo realizar el acondicionamiento del banco de bombas de la Universidad Santo Tomas y generar la curva característica de desempeño de las bombas centrifugas incorporando elementos de medición y control, logrando un banco didáctico para los estudiantes de la Universidad combinando las áreas de automatización industrial, máquinas hidráulicas y mecánica de fluidos. Durante la realización de este proyecto; se encontraron varios problemas que afectan el funcionamiento del banco existente los cuales fueron: una toma de datos más exacta, automatización del banco y el área libre del laboratorio. Estos problemas se resolvieron mediante el uso de Software CAD para realizar la reestructuración y el reacondicionamiento del banco de bombas, se empleó un PLC, una pantalla HMI y el software TIA Portal para lograr la programación, control y toma de datos del banco de bombas, adicionando los datos que recolecta el PLC se pueden exportar a un archivo en Excel en cualquier computador que tenga entrada Ethernet y se puede visualizar la curva de desempeño de las bombas centrifugas.

Los resultados del proyecto confirman que es posible realizar mejores prácticas en este tipo de banco al combinar varias áreas de la ingeniería ya que al ser más didáctico los estudiantes pueden tener una mejor interacción con los elementos y las herramientas de la industria.

Palabras clave

Banco de bombas, Transductores, hardware, toma de datos, curva característica, bomba centrifuga, PLC.

INTRODUCCIÓN

En la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Santo Tomás, es necesario generar prácticas experimentales en las asignaturas de mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas para facilitar el aprendizaje de los estudiantes, puesto que se encuentran relacionadas con temas que requieren toma de datos experimentales, por ejemplo: pérdidas primarias, accesorios y configuraciones de bombas en serie y paralelo. Para ello se pueden tomar como variables caudal y presión con el fin de poder comparar prácticas experimentales con la teoría de forma adecuada.

Actualmente, en la sede central de la Universidad Santo Tomás existe un banco de bombas realizado por estudiantes de ingeniería mecánica con el objetivo de identificar el comportamiento de las bombas centrífugas, las pérdidas en tuberías y accesorios hidráulicos. Con el paso del tiempo la máquina presentó complicaciones al momento de ser utilizada por los docentes, ejemplo de ello son las fugas en las tuberías, fallas en el funcionamiento de las bombas, ocupación excesiva de espacio en el laboratorio de máquinas hidráulicas, la falta de dispositivos de medición en cada punto que era requerido (manómetros, vacuómetros, caudalímetro), y no contar con un suministro independiente de agua dejando la máquina en desuso.

Para que la toma de datos sea adecuada, es necesario estudiar el comportamiento del fluido al pasar por los accesorios, con el fin de asegurar que cuando llegue a los instrumentos de medición el fluido se encuentre en desarrollo garantizando una medición adecuada del mismo. Para este propósito resulta más adecuado utilizar instrumentos de medición digital a la salida de las bombas. Empleando datos de caudal y presión, se genera la curva característica de las bombas por medio de un software, ya que a comparación de los instrumentos análogos la calidad de señal que reciben es mejor y mucho más clara obteniendo una medición más concreta y exacta del fluido que está pasando por ese punto.

Por lo anterior; este trabajo de grado opto por realizar un cambio en la estructura física del banco de bomba, con el objetivo de disminuir las dimensiones del equipo,

la cantidad de tubería que este empleaba, estandarizar el diámetro de las tuberías e implementar un sistema de automatización y control compuesto por un PLC Siemens S7 1200, una pantalla HMI Siemens KTP 700, transductores de presión Danfoss, un sensor de caudal y un sensor de nivel en el tanque de agua que funciona como un seguro en caso de que el tanque no cuente con la cantidad de agua suficiente para asegurar la protección de las bombas y evitar que trabajen en vacío.

Finalmente, se obtuvo un banco con mejores prestaciones el cual aparte de tener menos área tiene mejores experiencias a la hora de obtener prácticas por medio de un sistema de control y automatización eficiente, debido a que este puede ser controlado directamente desde la pantalla HMI, el cual nos permite observar en tiempo real la presión y caudal de cada una de las bombas y a la vez permite obtener los datos de la práctica en un archivo aparte para generar la curva característica de cada bomba.

OBJETIVOS.

Objetivo general

Acondicionar el banco de bombas de la Universidad Santo Tomás incorporando sensores de presión y caudal para la identificación de la curva característica de desempeño.

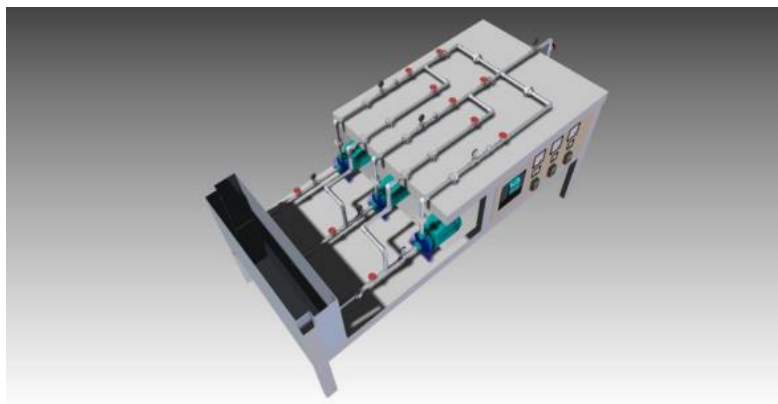
Objetivos específicos

- Reestructurar el banco de bombas para que funcione de manera adecuada y ocupe menos espacio en el laboratorio.
- Identificar el tipo de hardware requerido para realizar una toma de datos confiable en el banco de bombas.
- Adaptar un sistema de instrumentación para la lectura de las señales proveniente del banco de bombas como presión y caudal
- Determinar la curva característica.

ESTADO DEL ARTE.

En Colombia se han realizado distintas investigaciones que ayudan a proponer formas de mejoramiento de los bancos de bombas. Uno de estos planteamientos es de García y Suarez (2010) con su trabajo de grado de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Bucaramanga : *“Diseño, construcción y puesta a prueba de un banco de bombas centrífugas en serie, paralelo y mixto”* , donde el objetivo principal de esta investigación es diseñar, construir e implementar un banco de pruebas de bombas centrífugas para realizar el respectivo análisis, relacionar la parte teórica con la experimental y mejorar el laboratorio de máquinas hidráulicas. A lo largo de este trabajo los investigadores diseñaron y construyeron un prototipo funcional de un banco de bombas, con lo cual se procedió a determinar las curvas de desempeño y realizar una comparación con los datos experimentales y los provenientes del fabricante. Finalmente desarrollaron un manual para los estudiantes de esta universidad y realizaron prácticas de laboratorio con este instrumento [1]. A continuación, se presenta una ilustración de cómo quedó diseñado dicho banco de bombas [Figura 15].

Figura 1 Diseño final del banco de pruebas para bombas centrífugas.

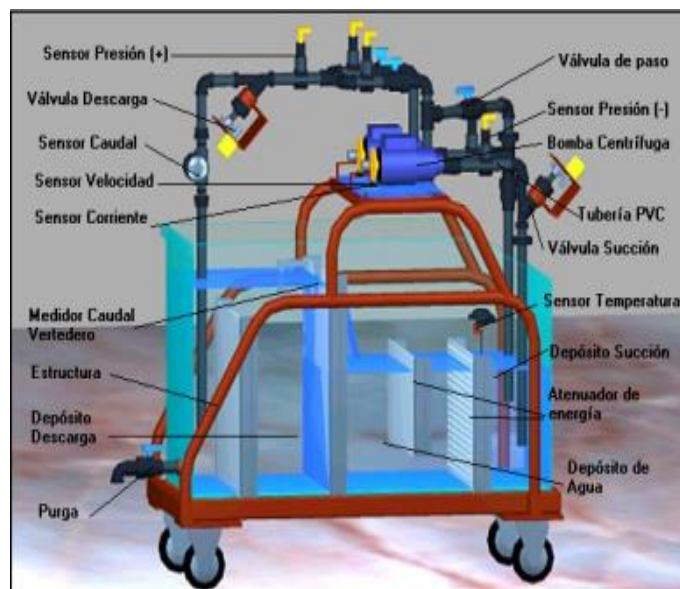


Fuente [1]

A su vez se encontró un trabajo de grado de realizado en la Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca, Ecuador de Pedrosa y Campoverde (2011) *“Automatización del banco de pruebas para bombas centrífugas del laboratorio de*

máquinas hidráulicas de la Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca". Este trabajo tiene como objetivo principal realizar un proceso de automatización al dispositivo que se encuentra en esta universidad, con el fin de visualizar el comportamiento de las bombas en diferentes situaciones. Para esto se miden magnitudes físicas como la presión, caudal y velocidad en magnitudes eléctricas, utilizando sensores de presión ENDRESS+HAUSER CERABAR TPMP 131, ubicados a la salida de las bombas y antes para medir la presión negativa, utilizando también un sensor de caudal electrónico con ruedas de paleta, ya que este tipo de sensor funciona en medios como el agua y líquidos de baja viscosidad [2]. A continuación, se ilustra el modelo final empleado en este trabajo en el cual se realizaron las distintas mediciones utilizando los sensores anteriormente mencionados [Figura 16].

Figura 2 Banco de bombas utilizado para automatización

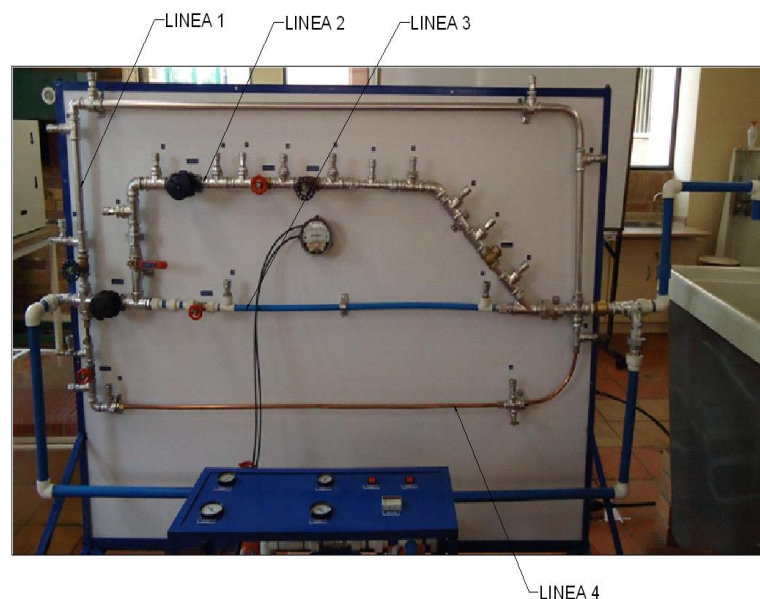


Fuente [2]

Es así como el banco de bombas ubicado en la Universidad Santo Tomás en el laboratorio de máquinas hidráulicas está constituido por dos bombas que al momento de ser construido sólo podían operar de manera simultánea, ya sea en paralelo o en serie, sin embargo, no funcionaban de manera independiente debido

a la configuración de las tuberías que se encontraban a la entrada de estas. Este equipo también cuenta con cuatro líneas de operación donde se podían realizar mediciones de presión y mirar las pérdidas por fricción debido al material y al diámetro que tenían las tuberías. En principio había una línea de hierro galvanizado, otra que era netamente de accesorios (válvulas, cambios de sección, etc.), la tercera línea era de PVC y la cuarta de cobre [Figura 17]. Este instrumento de trabajo fue realizado como proyecto de grado bajo el nombre de *“Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas, pérdidas en tuberías y accesorios para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás”* en el año 2011 [3]. A continuación, se presenta una imagen del banco de bombas construido en esa época, el cual en este trabajo será sometido a un acondicionamiento, disminuyendo el espacio que este ocupa en el laboratorio [Figura 17].

Figura 3 Estado actual del banco de bombas de la Universidad Santo Tomás.



Fuente [3]

El banco de bombas anteriormente mencionado se encuentra en una etapa de obsolescencia, debido a que con el paso del tiempo los componentes eléctricos del dispositivo comenzaron a presentar fallas en su funcionamiento, se presentaron

fugas en las tuberías, hasta el punto de que los docentes de Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas dejaron de utilizar este dispositivo.

Por lo tanto, en este trabajo de grado se pretende colocar nuevamente este dispositivo en funcionamiento. Adicionalmente se desea implementar sensores de presión y de caudal a la salida de las bombas, con el fin de determinar la curva característica de estas, implementando un hardware de programación; como por ejemplo PLC, ARDUINO o GMP 430, para obtener esta gráfica en el computador.

MARCO CONCEPTUAL

Banco de bombas.

Un banco de bombas es un instrumento didáctico, generalmente utilizado en instituciones educativas, con el fin de comprobar el funcionamiento de estas. Este se encuentra compuesto por bombas centrífugas, que pueden funcionar en serie o en paralelo, cambiando la configuración de las tuberías por medio de válvulas. [4].

Figura 4 Banco de Bombas.



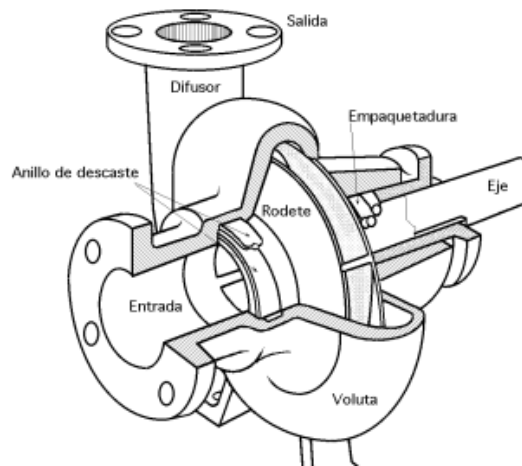
Fuente. Autor

Bombas Centrifugas.

Las bombas centrifugas sirven para impulsar cierto volumen de líquido entre dos niveles, son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en un tipo de trabajo hidráulico. Consta de dos elementos constructivos principales los cuales son:

- Tubería de aspiración
- El impulsor o rodete

Figura 5 Partes de una bomba centrífuga.



Fuente. [5]

Formado por una serie de alabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular, el rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra de manera axial por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, el cual está girando a altas velocidades accionado por un motor; experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, saliendo de la bomba de manera radial adquiriendo una aceleración y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje [5].

Figura 6 Bomba Centrífuga



Fuente. [6]

Automatización.

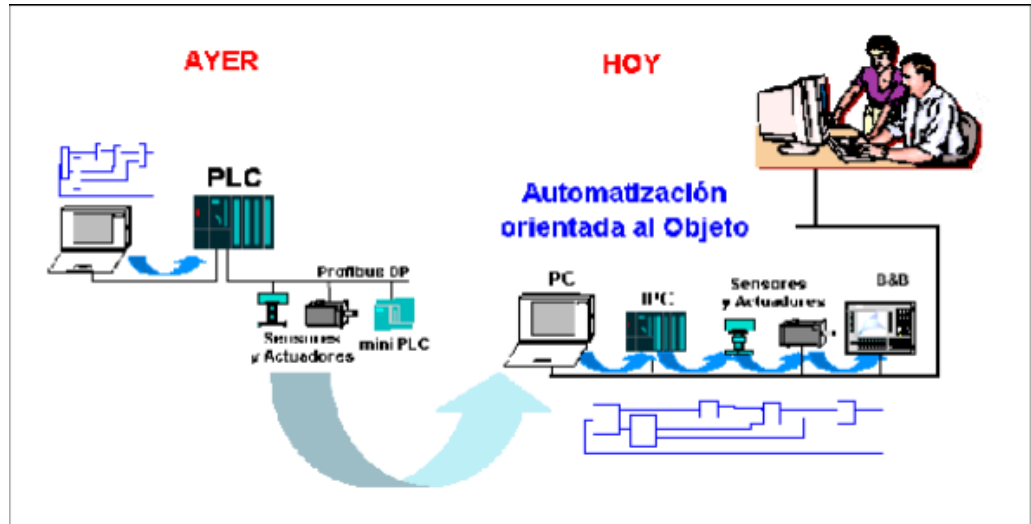
Se refiere a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano. En los más modernos sistemas de automatización, el control de las máquinas es realizado por ellas mismas gracias a sensores de control que les permiten percibir cambios en sus alrededores de ciertas condiciones [7]

Principios de los sistemas automatizados.

Un sistema automatizado ajusta sus operaciones en respuesta a cambios en las condiciones externas en tres etapas: medición, evaluación y control.

- Medición: Para que un sistema automatizado reaccione ante los cambios en su alrededor debe estar apto para medir aquellos cambios físicos.
- Evaluación: La información obtenida gracias a la medición es evaluada para así poder determinar si una acción debe ser llevada a cabo o no.
- Control: El último paso de la automatización es la acción resultante de las operaciones de medición y evaluación [7].

Figura 7 Importancia de los sistemas de control.



Fuente. [7]

Adquisición de datos (DAQ).

Teniendo en cuenta que la adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con un computador un fenómeno físico como corriente, temperatura o presión, se precisa de sensores, hardware de medidas y un computador con software comparable, los cuales aprovechan la potencia de procesamiento y las habilidades de conectividad de los computadores para proporcionar una medida más potente flexible y rentable [8].

Figura 8 funcionamiento DAQ



Fuente. [8]

Controladores electrónicos

El propósito del control de procesos es mantener dentro de un valor preestablecido una determinada variable en un proceso industrial. Los sistemas de control deben tener la habilidad de arrancar, regular y parar un proceso en respuesta a la medición de variables monitoreadas dentro de él, con el objetivo de obtener la salida deseada. Dentro de los controladores electrónicos existen los controladores analógicos y digitales. Actualmente los más usados son los digitales, debido a su similitud con las computadoras actuales, las ventajas de eliminación de ruidos, y las mayores velocidades de transmisión de datos [7].

PLC.

Se define como un sistema electrónico digital diseñado para trabajar en ambientes industriales, que usa memorias programables para el almacenamiento de instrucciones, con las que implanta funciones específicas (lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas) para controlar diversos tipos de proceso, a través de módulos de entrada/ salida analógicos y digitales [7].

Figura 9 PLC Siemens S7 1200



Fuente. [9]

Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar diferentes tipos de materiales, con el objetivo de mandar una señal y permitir que continúe un proceso, o bien detectar un cambio, dependiendo del caso que éste sea.

Es un dispositivo que a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir [10].

Figura 10 Sensor de caudal.



Fuente. [11]

Transductores.

Son elementos que cambian señales, para la mejor medición de variables en un determinado fenómeno. Un transductor es el dispositivo que transforma una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica [12].

Figura 11 Transductor de presión Danfoss



Fuente. [13]

HMI.

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es la interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable.

La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real y casi en tiempo real. Proporcionan gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del motor y de la válvula, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso. Suministran información operativa al proceso, permitiendo controlar la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso [14].

Figura 12 HMI Siemens 2nd generación



Fuente. [15]

MARCO TEORICO

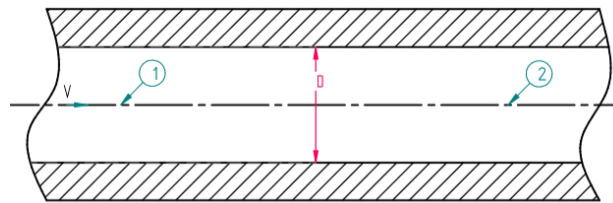
Perdidas de carga en las tuberías.

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases; primarias y secundarias.

Perdidas primarias.

Son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por lo tanto, principalmente se encuentran en los tramos de tubería de sección constante. [16]

Figura 13 Ejemplo de tubería con pérdidas primarias

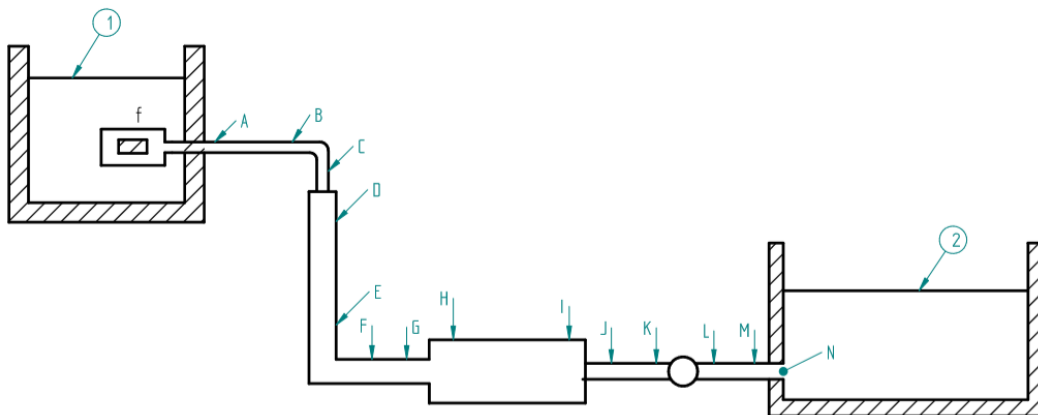


Adaptado de fuente. [16]

Perdidas secundarias.

Son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechas o expansiones de corriente), codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de una tubería. [16]

Figura 14 Ejemplo de tubería con pérdidas secundarias.



Adaptado de Fuente. [16]

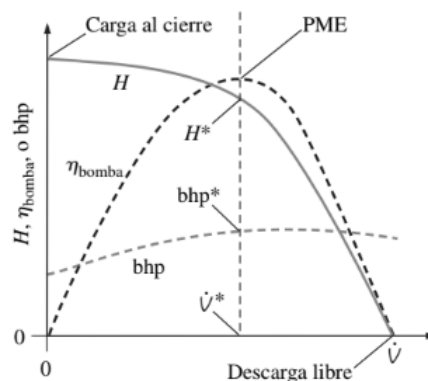
Curvas de rendimiento de una bomba.

El máximo flujo volumétrico en una bomba ocurre cuando la carga hidrostática neta es cero, ($H=0$); este flujo se llama descarga libre de la bomba. La condición de descarga libre se logra cuando es inexistente la restricción de flujo en la entrada o la salida de la bomba, en otras palabras, cuando no hay carga en la bomba. En este punto de operación, el flujo volumétrico es grande, pero $H=0$, entonces la eficiencia de la bomba es cero porque la bomba no está haciendo trabajo útil.

En el otro extremo, la carga al cierre es la presión hidrostática neta que se presenta cuando el flujo volumétrico es cero, y se obtiene cuando la abertura de descarga de la bomba está bloqueada. En estas condiciones, H es máximo pero el flujo volumétrico es igual a cero; la eficiencia de la bomba es otra vez cero porque la bomba no realiza trabajo útil.

Entre estos dos extremos, desde el cierre hasta la descarga libre, la carga hidrostática neta de la bomba, al incrementar el flujo volumétrico, podría incrementarse un poco desde su valor al cierre, pero definitivamente H debe disminuir a cero a medida que el gasto volumétrico aumenta hasta su valor de descarga libre. La eficiencia de la bomba alcanza su valor máximo en algún punto entre la condición de cierre y la condición de descarga libre [17].

Figura 15 Curva de rendimiento de una bomba centrífuga.



Fuente [17]

Lenguaje de programación PLC.

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como puede ser un ordenador. En el caso de los PLC, se definieron los siguientes cinco lenguajes [18]:

Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC) es un lenguaje de bloques de funciones secuenciales;

Diagrama de Bloques de Funciones (FBD) comprende un lenguaje de diagramas de bloques secuenciales

Diagramas de Tipo Escalera (LAD) es un lenguaje de diagramas de relés (denominado de tipo escalera)

Texto Estructurado (ST) se define como un lenguaje de alto nivel como el del tipo de texto estructurado (similar a C y, sobre todo a Pascal)

Lista de instrucciones (IL o STL) comprende un lenguaje de tipo ensamblador con uso de acumuladores Ladder [18].

Diagrama de contactos (Ladder) es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés. Mediante símbolos representa contactos, bobinas, etc. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según el estándar IEC y son empleados por todos los fabricantes. Los símbolos básicos son: Contacto Normalmente Abierto, Contacto Normalmente Cerrado Asignación de Salida. En estos diagramas la línea vertical a la izquierda representa un conductor con tensión, y la línea vertical a la derecha representa tierra. Por ejemplo: con este tipo de diagramas se describe normalmente la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas, y puede utilizarse para sintetizar un sistema de control y, con las herramientas de software adecuadas, realizar la programación del PLC. Se debe recordar que mientras que en el diagrama eléctrico todas las acciones ocurren simultáneamente, en el programa se realizan en forma secuencial, siguiendo el orden en el que los "escalones" fueron escritos, y que a diferencia de los relés y

contactos reales (cuyo número está determinado por la implementación física de estos elementos), en el PLC se puede considerar que existen infinitos contactos auxiliares para cada entrada, salida, relé auxiliar o interno, etc. [19].

Programación HMI.

Interfaz de usuario HMI (Human Machine interface)

Por medio de esta, se presentan los datos a un operador (humano), y este controla todo el proceso que se hace por medio de un ordenador. La interfaz de usuario dispone de dos medios que son: entrada: que permite al usuario manipular un sistema; producto: el cual reproduce las órdenes que el operario haya asignado al proceso [20].

Criterio de usabilidad

El diseño de una interfaz de usuario afecta la cantidad de esfuerzo que el usuario debe gastar para proporcionar insumos al sistema y para interpretar los resultados que el sistema arroja. Usabilidad es el grado en que el diseño de la interfaz de usuario en particular tiene en cuenta la psicología humana y de la fisiología de los usuarios, y hace que el proceso de la utilización del sistema sea de forma eficaz, eficiente y satisfactoria.

Tipos de interfaz

Actualmente los tipos de interfaz más conocidos son los siguientes. “*Interfaz gráfica de usuario (GUI Graphics User Interfaces)*” los cuales permiten comunicarse con el ordenador de una forma muy rápida e intuitiva; “*Touch*” son interfaces gráficas de usuario mediante una pantalla táctil con una combinación de dispositivos de entrada y salida. Se utiliza en muchos tipos de procesos industriales, máquinas de autoservicio, etc. Hay que tener en cuenta que un sistema SCADA realiza un control de supervisión y de adquisición de datos, de ahí su nombre, mientras que un HMI es una interface Hombre-Máquina que usualmente es para visualización del proceso, arranque y detención de las máquinas [20].

Instrumentación industrial.

Es el grupo de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste. Estos elementos permiten el mantenimiento y la regulación de algunas variables más presentes en la industria como; presión, caudal, temperatura, velocidad. En las condiciones idóneas incluso superiores que las que el propio operador podría brindar. Algunos conceptos importantes aplicados a la instrumentación industrial son [21]:

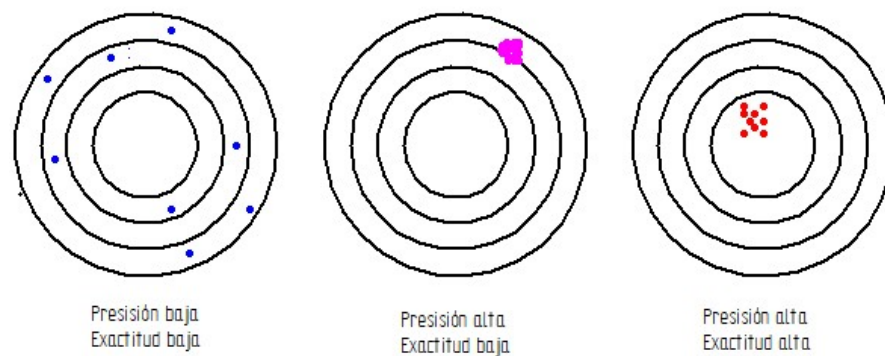
Rango.

Es el conjunto de valores comprendidos entre los límites superior e inferior que es capaz de medir el instrumento que se utiliza para controlar un sistema.

Exactitud.

Capacidad de un instrumento de dar valores de error pequeños.

Figura 16 Exactitud y precisión en una medición



Adaptado de fuente [21]

Precisión.

Cuanto mayor es la precisión del instrumento de control, menor es la dispersión de los valores de la medición alrededor del valor medido.

Resolución.

Es el menor cambio en la variable del proceso, capaz de producir una salida perceptible en el instrumento.

Calibración.

Es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición, con la medida correspondiente a un patrón de referencia o estándar.

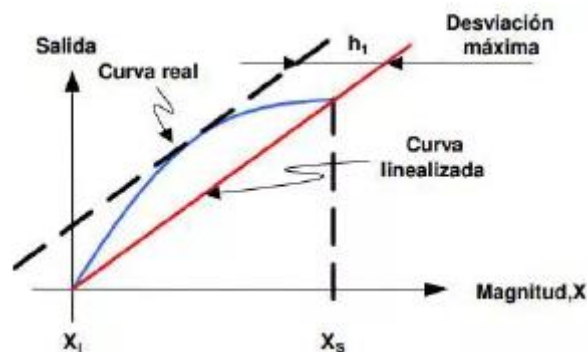
Sensibilidad.

Es la variación en la salida del instrumento por unidad de variación de la variable del proceso o variable de entrada; se puede decir que es la ganancia del instrumento de control.

Linealidad.

Expresa lo constante que resulta la sensibilidad del sensor o instrumento de medida; una sensibilidad constante representa una linealidad alta, además facilita la conversión del valor leído al valor medido.

Figura 17 Grafica de linealidad.



Fuente [21]

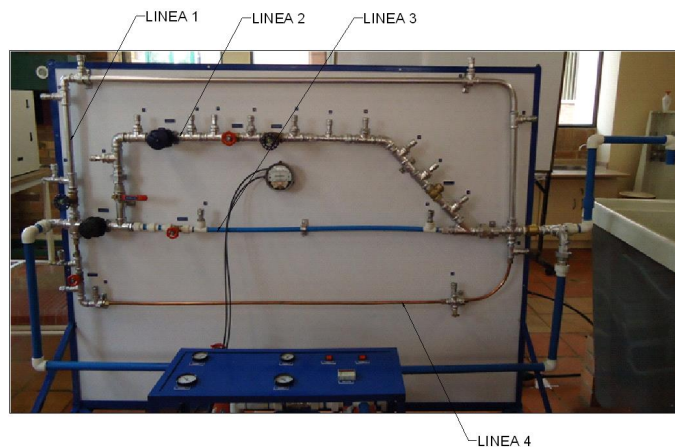
Estabilidad.

Es la capacidad para mantener invariable la curva de transferencia del instrumento durante largos periodos de tiempo [21].

CAPITULO 1. Reestructuración del banco de bombas.

Una de las primeras medidas que se tomaron al momento de iniciar con el proyecto fue hacer un cambio en la estructura física del banco de bombas; este fue un trabajo de grado realizado para Universidad Santo Tomás en el año 2011 [21], pero este proyecto con el paso del tiempo dejó de funcionar y este equipo se convirtió en algo obsoleto para la universidad, por lo que se tomó la decisión de reparar esta máquina para ser utilizada por los profesores de la línea de termo fluidos de ingeniería mecánica como un apoyo didáctico para facilitar el aprendizaje de los estudiantes al observar un equipo completamente funcional.

Figura 18 Estado anterior del banco de bombas.



Fuente [3]

El primer paso en el cambio físico de la máquina consistió en desarmar todo el equipo, realizar una inspección visual de cada uno de los componentes del banco y una prueba de funcionamiento de las bombas para determinar cuáles componentes son completamente funcionales y pueden ser utilizados para la nueva estructura y cuáles componentes deben ser cambiados necesariamente para que no se presenten fugas en las tuberías o daños en las bombas.

Debido a que esta máquina se encontraba fuera de servicio desde hace algún tiempo muchos componentes como tuberías, niples, acoples y válvulas se encontraban oxidadas y debían ser modificadas.

Figura 19 Desmontaje e identificación de elementos dañados.



Fuente [Autor]

Una vez realizada la inspección y el desarme completo de la máquina se procede a realizar un listado de cuáles son los elementos que deben ser cambiados del banco. Se toman medidas de las dimensiones de las tuberías y se realiza un boceto de la nueva estructura, con el fin de establecer medidas y poder realizar la búsqueda y compra de los elementos necesarios.

Una vez se ha establecido cuál será el modelo final de la máquina y la cantidad de piezas que esta va a requerir, se procede a realizar un modelo en software CAD (Solid Edge) de la máquina para observar cómo quedara la estructura final. Principalmente el modelo CAD abarca cómo será la configuración de las tuberías y dónde irán ubicadas las válvulas que podrán cambiar la dirección del flujo de agua. El primer modelo CAD realizado se puede observar en la figura [20].

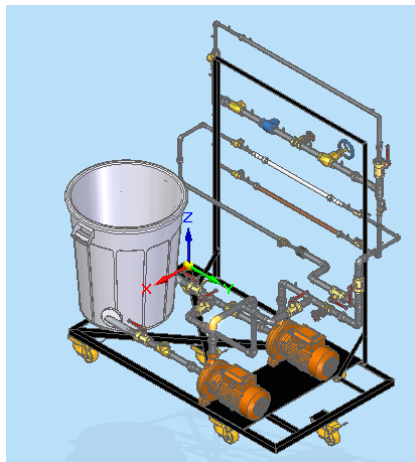
Figura 20 Primer diseño del banco de bombas.



Fuente [Autor]

Después de realizar el primer diseño del banco de bombas se encontró que se debían cambiar las medidas y que se debía estandarizar los diámetros de las tuberías de cada una de las líneas para disminuir el uso de reducciones ya que esto generar aún más perdidas dentro de la tubería y puede afectar el resultado final. Para esto se realizó un nuevo modelo en Solid Edge, esta vez se incorporó el diseño final de la estructura que sostendría toda la configuración del sistema y el tanque independiente para el funcionamiento del banco de bombas figura [21].

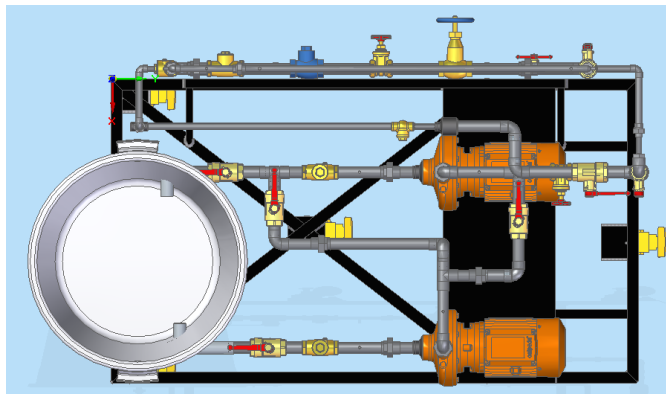
Figura 21 Diseño final del banco de bombas.



Fuente [Autor]

Al realizar la reestructuración del banco de bombas se encontró que con este nuevo modelo se eliminan las reducciones, expansiones y secciones de tubería que eran innecesarias y de las cuales no se podían obtener mediciones confiables, en la segunda línea donde está ubicada la línea de pérdidas, se eliminaron varias válvulas que eran repetidas y que interrumpían el flujo continuo del agua y no permitían que el líquido cambiara de estado turbulento a laminar. El ancho del banco de bombas disminuyó y paso de medir más de dos metros a únicamente medir 1.3 metros. En todo el banco se pueden observar las pérdidas primarias y secundarias cuando un fluido atraviesa una tubería y también permite obtener la curva característica de las bombas, ya que el equipo cuenta con una línea de flujo exclusiva para determinar el caudal de las bombas y poder obtener esta gráfica figura [22].

Figura 22 Vista superior configuración de las bombas.

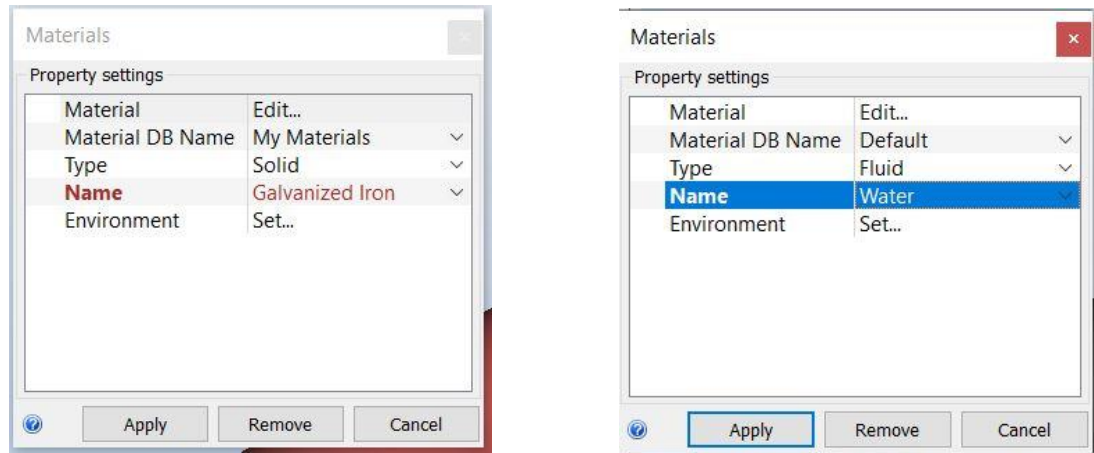


Fuente [Autor]

Análisis en CFD Autodesk.

Para obtener la longitud de las tuberías una vez el fluido pasa por una válvula o por una obstrucción se calcula cuando el fluido pueda pasar de estado turbulento a estar en desarrollo. Para esto, se realizó un análisis utilizando el programa CFD de Autodesk; en donde se realiza una simulación de una tubería y un fluido en este caso agua que la atraviesa y pasa a través de una válvula de compuerta. A continuación, se explica cómo se desarrolló esta simulación.

Figura 25 Definir el material y tipo de fluido.



Fuente [Autor].

Establecer condiciones de frontera.

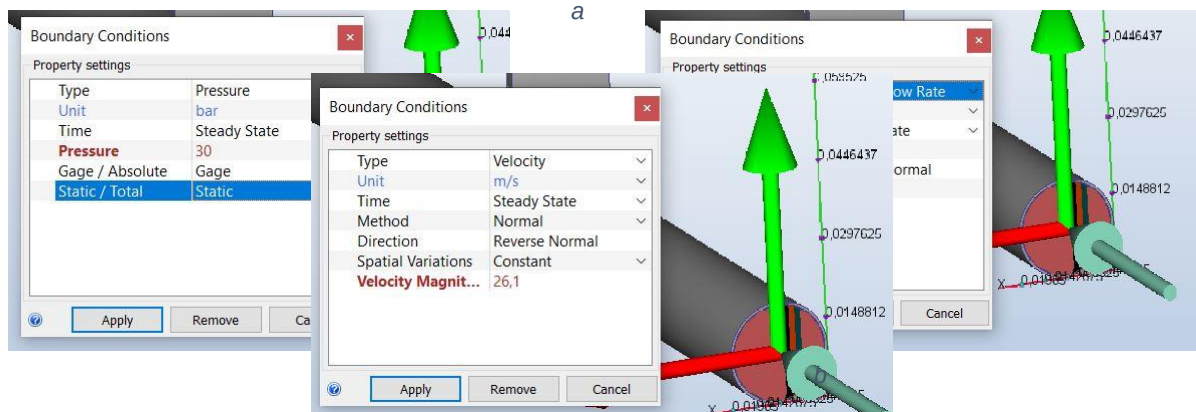
Cuando se haya determinado el material de la tubería y el tipo de fluido que va a correr a través de ella, se determinan las condiciones de frontera, estos valores se encuentran cuando el fluido ingresa a la tubería, atraviesa la válvula y sigue su recorrido hasta la siguiente válvula, las condiciones de frontera que se utilizaron para realizar la simulación fueron.

- Presión del sistema 30 bar. Esta es la presión máxima del sistema cuando se encuentra en funcionamiento. Figura [26a]
- Caudal 7.44l/s. ($0.00744m^3/s$) el caudal máximo proporcionado por la bomba. Figura [26b]
- Velocidad del fluido 26.10 m/s. Figura [26c]

$$v = \frac{0.00744m^3/s}{\pi(\frac{0.01902m}{2})^2}$$

$$v = 26.16m/s$$

Figura 26 Condiciones de frontera del sistema.

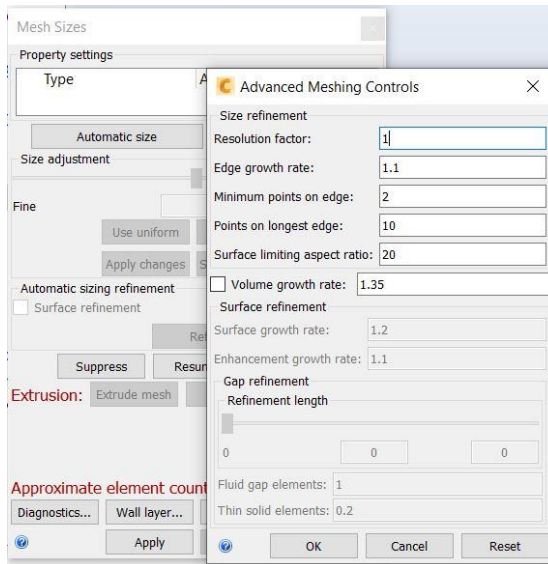


Fuente [Autor].

Enmallado del sistema.

Al establecer las condiciones de frontera del sistema se crea el enmallado de la geometría para generar la simulación. Para esto se establece un factor de resolución que indica la cantidad de divisiones dentro del enmallado; entre más divisiones, más iteraciones realizará el programa. Figura [27]. También se determinan la cantidad de puntos alrededor de la geometría y la tasa de crecimiento del fluido. Finalmente se realiza un refinamiento para establecer que tan definidas estarán las divisiones del enmallado y abarcar mejor la superficie a analizar. En la figura 28 se observan los puntos críticos de la simulación.

Figura 27 Parámetros del enmallado.



Fuente [Autor].

Figura 28 Puntos críticos de la simulación



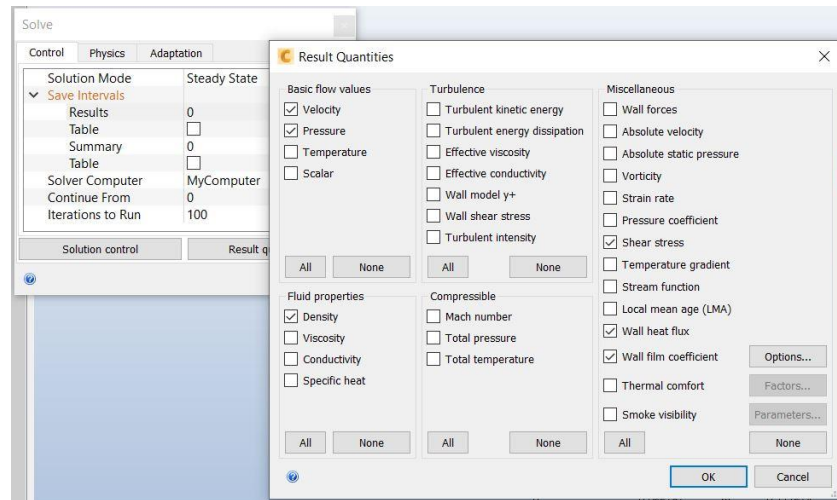
Fuente [Autor].

Solución del sistema.

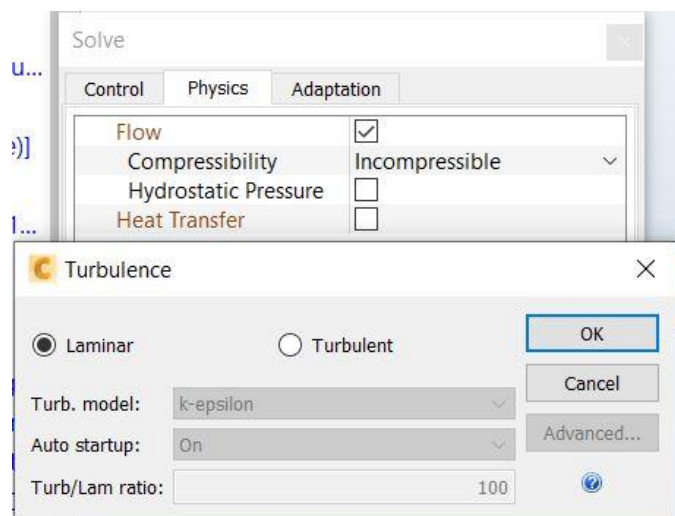
Para que el programa realice la simulación, el sistema debe estar estable “Steady State”, se especifica la cantidad de intervalos para ser grabados, lo cual depende de que tan específica sea la simulación y variables que se quieren mostrar como resultado. En este caso se selecciona la velocidad y la presión que se encuentra dentro de la tubería. Figura [29a].

A continuación, se definen las propiedades del fluido. Por lo tanto se selecciona un flujo incompresible, y como se requiere saber cuál es la distancia en donde el fluido vuelve a ser laminar una vez ha pasado la tubería seleccionamos que el fluido es laminar. Figura [29b].

Figura 29 Parámetros de solución del sistema.



a



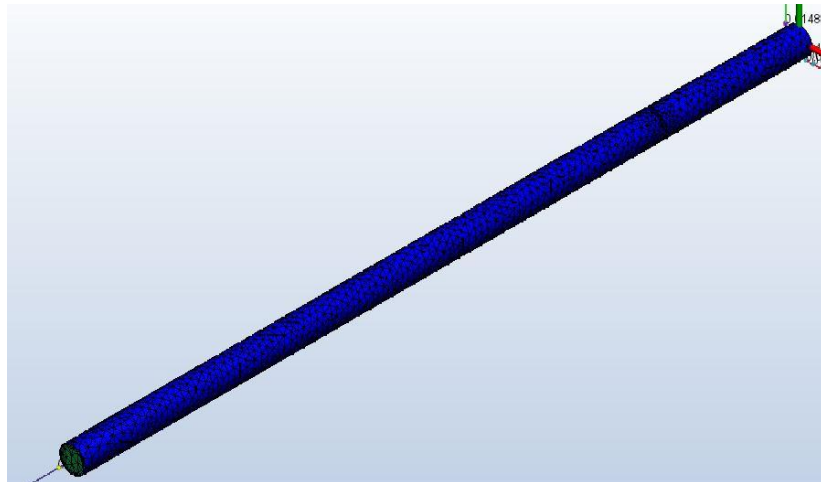
b

Fuente [Autor].

Post Procesamiento.

Una vez el software termina de resolver el sistema, se puede observar la configuración del enmallado que ha generado la simulación Figura [30]. Para visualizar con mayor detalle el comportamiento del agua dentro de la tubería se genera un plano atravesando la geometría y por medio de este se puede ver como es el comportamiento del vector de velocidad a través de la tubería figura [31].

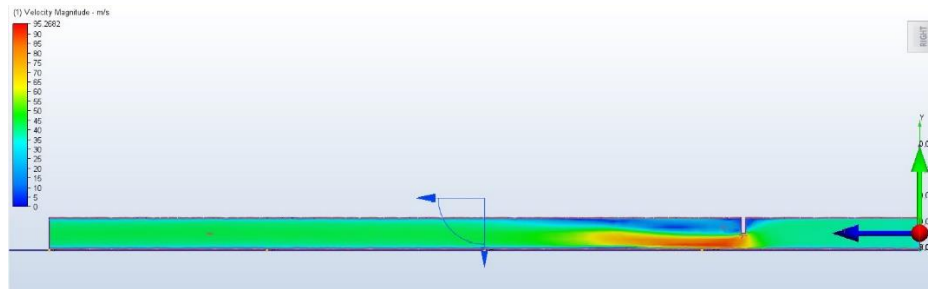
Figura 30 Enmallado de la geometría.



Fuente [Autor]

Al finalizar el desarrollo de la simulación en CFD se puede observar que la longitud de la tubería para que el fluido se encuentre en desarrollo debe ser de 160mm aproximadamente incluyendo la sección roscada de la tubería. Ya que en la simulación se tiene en cuenta justo cuando el agua atraviesa la compuerta de la válvula hasta estar completamente en desarrollo. Con esta información se procede a realizar los cortes de las tuberías de galvanizado que es el material principal del equipo y en donde se van a ubicar en diferentes partes de la máquina puntos donde se puedan adecuar manómetros para observar la presión a la salida de cada válvula o cambio de sección.

Figura 31 Análisis del flujo en la tubería utilizando CFD



Fuente [Autor]

Una vez se han conseguido todos los implementos necesarios para realizar la reestructuración del banco de bombas, se procede a realizar la instalación de las tuberías de 1" y $\frac{3}{4}$ " ya debidamente cortadas a la medida necesaria y con un adaptador soldado a la tubería en donde se puede colocar un manómetro o un transmisor de presión ambos de rosca de $\frac{1}{4}$ NPT, para realizar medidas de presión en diferentes puntos del banco de bombas. Por otra parte, se procede a realizar la adaptación de una estructura que sea capaz de sostener toda la tubería, el peso de las bombas una vez estas se encuentran cargadas de agua y un tanque que se le adecuo al sistema figura [32].

Figura 32 Banco de bombas reestructurado.



Fuente [Autor]

Finalmente, se hace la adaptación de un pequeño tanque a la máquina, para que el sistema tenga un suministro de agua independiente para que al momento de estar en funcionamiento no requiera ser conectado a un tanque externo, ya que la configuración del sistema permite que una vez el agua haya circulado por una configuración de agua establecida; esta salga de la tubería directamente al mismo tanque donde inicia figura [33].

Figura 33 Banco de bombas actualmente.



Fuente [Autor]

Resultados

- Se obtuvo una disminución de área de (1.8 m^2) en el laboratorio
- Al realizar la medición de pérdida de presión por diferentes tramos de tubería son del mismo diámetro y misma longitud para observar las diferencias entre materiales
- Se suministra una toma de agua independiente en el banco y re circulante
- Una configuración en las bombas eficiente para realizar prácticas en paralelo, serie o independiente
- Una adaptación correcta para diferentes elementos, para la toma de datos
- Una forma correcta de variar el caudal del sistema

CAPITULO 2. Identificación del hardware requerido

Para la identificación del hardware es necesario saber cuáles son los sistemas que se van a manejar y con los cuáles debe ser compatibles, en este se desea manejar:

- Encendido de las bombas
- Apagado de las bombas
- Sistema de seguridad de las bombas
- Medición del caudal
- Medición de las presiones
- Toma de datos
- Escritura de datos tomados
- Conexión con (HMI)

Por las características que debe manejar el hardware se usa un controlador lógico programable el cual es un dispositivo electrónico que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones para el control de módulos de E/S analógicos o digitales, este recibe (n) cantidad de variables de entrada y produce (m) variables de salida diseñado con el objetivo de controlar productos y procesos [7].

Introducción PLC s7 1200

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, está conformado por una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes [22]

Figura 34 PLC Siemens S7 1200



Fuente [22]

Se usa una CPU con las siguientes características.

Tabla 1 Especificaciones técnicas PLC S7 1200

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario	• 25 KB • 1 MB • 2 KB		• 50 KB • 2 MB • 2 KB
E/S integradas locales	• Digitales • Analógicas		• 14 entradas/10 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
• Fase simple	• 3 a 100 kHz	• 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz	• 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz
• Fase en cuadratura	• 3 a 80 kHz	• 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz	• 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Fuente [22]

Módulo de entradas analógicas

Se utiliza un módulo de entradas analógicas 6ES7231-4HD32-0XB0 para la toma de datos de forma analógica por medio de tensión de 4-20 mA.

Figura 35 Modulo de entradas analógicas compatible con el PLC



Fuente [23]

El cual posee 4 entradas analógicas diferentes las cuales pueden ser de tipo corriente o tensión.

Rangos de entradas

Según la programación del PLC, del módulo de entradas analógicas y el correcto funcionamiento de los sensores se utilizan los siguientes rangos de entrada.

Figura 36 Rangos de entrada empleados en el PLC.

Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
• -10 V a +10 V	Sí
• Resistencia de entrada (-10 V a +10 V)	$\geq 9 \text{ MOhm}$
• -2,5 V a +2,5 V	Sí
• Resistencia de entrada (-2,5 V a +2,5 V)	$\geq 9 \text{ MOhm}$
• -5 V a +5 V	Sí
• Resistencia de entrada (-5 V a +5 V)	$\geq 9 \text{ MOhm}$
Rangos de entrada (valores nominales), intensidades	
• 0 a 20 mA	Sí
• Resistencia de entrada (0 a 20 mA)	280Ω
• 4 mA a 20 mA	Sí
• Resistencia de entrada (4 mA a 20 mA)	280Ω

Fuente [23]

Resultados

- Se obtiene el hardware necesario para poder lograr el control del banco y al mismo tiempo puede tomar los datos que se van a medir en este.
- Se obtiene información de los módulos auxiliares necesarios para la toma de datos.

CAPITULO 3. Adaptación de un sistema de instrumentación para la lectura de señales.

Instrumentación

Sensor nivel de agua en Angulo

El sensor interruptor de nivel de agua en ángulo, está basado en un interruptor magnético tipo Reed Switch, este se encuentra herméticamente sellado dentro del vástago del sensor y que se acciona al mover el flotador de espuma el cual contiene un imán permanente [24].

Figura 37 Sensor de nivel de agua.



Fuente [24]

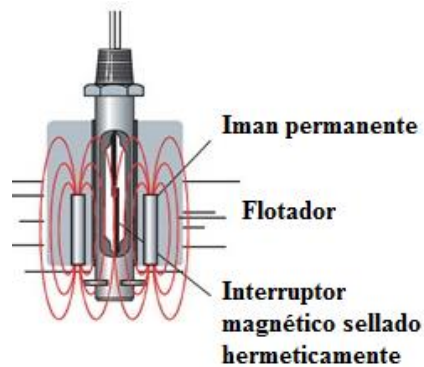
El sensor de nivel de agua cuenta con las siguientes especificaciones técnicas para su funcionamiento.

Tabla 2 Especificaciones tecnicas sensor de nivel de agua.

Rango de voltaje 0 – 250V	Corriente máx. 0.5 @ 120VAC	Resistencia Circuito abierto 100 MΩ	Resistencia Circuito cerrado 0.4 Ω
Potencia 10W	Temperatura de funcionamiento -10° ~ 85° C	Diámetro rosca 7 mm	Diámetro tuerca 11.5 mm

Fuente [24]

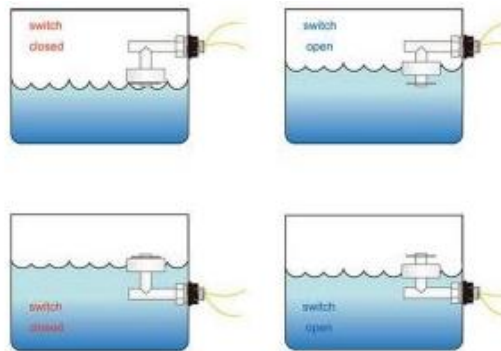
Figura 38 Funcionamiento de un sensor de nivel.



Fuente [24]

Este puede ser utilizado como un interruptor normalmente cerrado o abierto, solo depende de la posición en la cual sea ubicada dentro del tanque.

Figura 39 Posiciones del sensor de nivel.



Fuente [24]

Transmisor de presión Danfoss tipo mbs 3000 (060G1106)

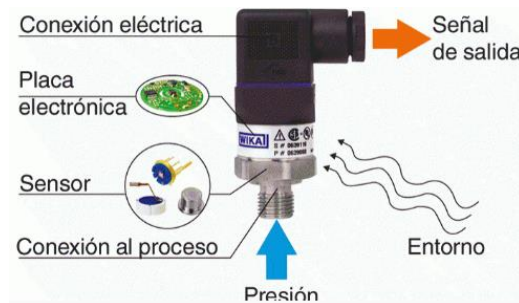
Son dispositivos que transforman la magnitud física de presión por unidad de superficie en una señal normalizada, esta normalmente se encuentra entre 4 – 20 mA. Los rangos de medida pueden ser muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar; todo depende del rango y la cantidad de presión que se desee medir. Los sensores de presión que no cuentan con amplificación de señal; también pueden ser conocidos como transductores de presión [25].

Figura 40 Transductor de presión Danfoss.



Fuente [13]

Figura 41 Partes principales de un sensor de presión.



Fuente [26]

Para el banco de bombas se utiliza un transductor de presión con las siguientes especificaciones técnicas, para obtener una medida clara y precisa del proceso:

Figura. 42 Especificaciones técnicas del transductor de presión.

Tensión alimentación	Rango	Tipo señal	Pin1
(10-30) V	(0 – 60) Bar	(4 – 20) mA.	Alimentación
Pin 2	Rango temperatura	Señal salida	Conexión
común	(0-85) °C	Corriente	Macho 1/4

Fuente [27]

Aplicación

Son transmisores usados para medir la presión de un fluido, los sistemas hidráulicos que experimentan cambios en la velocidad de caudal (como los que tienen lugar al cerrar rápidamente una válvula o cuando una bomba arranca o se detiene) sufren

efectos de cavitación, golpe de ariete y picos de presión. Son problemas que pueden tener lugar a la entrada o a la salida, incluso con presiones de trabajo muy reducidas [25].

Sensor de flujo de agua 3/4 fs. 300

Figura 43 Sensor de flujo.



Fuente [28].

El sensor de flujo seleccionado para poder detectar el caudal que arrojan las dos bombas que se encuentran en la máquina comprende las siguientes especificaciones técnicas [28].

Tabla 3 Especificaciones técnicas del sensor de flujo.

Voltaje de operación: 5V - 24V DC	Consumo de corriente: 15mA (5V)	Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)	Rango de Flujo: 1-60L/min
Rosca externa: 3/4" NPS	Presión de trabajo máx.: 1.2MPa (12 bar)	Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C	Material: Plástico color negro

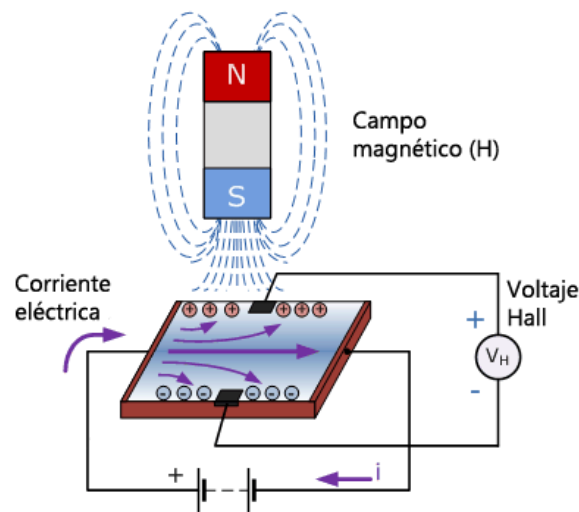
Fuente [28].

Funcionamiento.

El caudal de agua ingresa al sensor y hace girar una turbina, la turbina está unida a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital de un Arduino o PLC. El sensor de efecto

Hall está aislado del agua, de manera que siempre se mantiene seco y seguro. Como el volumen de agua por cada pulso es fijo y de un valor conocido (promedio) podemos contar la cantidad de pulsos por unidad de tiempo (segundo o minuto), luego multiplicar el valor de volumen/pulso por la cantidad de pulsos y así determinar el caudal o flujo de agua [28].

Figura 44 Funcionamiento del sensor de cauda efecto Hall.



Fuente [29].

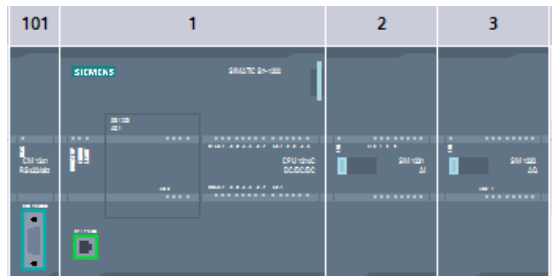
Aplicación.

Sirve para medir caudal de agua en tuberías de 3/4" de diámetro. También puede ser empleado con otros líquidos de baja viscosidad, como: bebidas gasificadas, bebidas alcohólicas, combustible, etc. Es un caudalímetro electrónico de tipo turbina, compatible con sistemas digitales como Arduino, Pic, Raspberry Pi, PLCs. El sensor posee tres cables: rojo (VCC: 5VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall) [28].

Programación PLC

Al crear un nuevo proyecto en el software de programación TIA Portal V14, procedemos a instalar nuestro dispositivo PLC siemens S7 1200 con módulos adicionales de (entradas analógicas AI y salidas Analógicas AQ), como se observa en la figura [37].

Figura 45 Esquema del PLC y sus modulos en TIA Portal.



Fuente [Autor].

Para que el PLC pueda ejecutar bien sus funciones y el banco de bombas pueda funcionar de manera adecuada es necesario crear unas variables, que son las encargadas de controlar cada uno de los procesos y resultados que arroja el sistema; estas funciones se muestran en la figura [46].

Figura 46 Listado de las variables que componen el programa.

	Nombre	Tipo de datos	Dirección
	Arranque 1	Bool	%I0.1
	Paro 1	Bool	%I0.2
	Arranque 2	Bool	%I0.3
	Paro 2	Bool	%I0.4
	Motor 1	Bool	%Q0.0
	Motor 2	Bool	%Q0.1
	Frecuencia	DInt	%ID1000
	Analoga 0	Int	%IW96
	Analoga 1	Int	%IW98
	Pulso	Real	%MD2
	Caudal	Real	%MD6
	pre 1	Real	%MD18
	Pre 2	Real	%MD22
	Caudal*	UDInt	%ID4
	Presion 1 *	UDInt	%ID2
	presion 2 *	UDInt	%ID6
	Seguridad	Bool	%I0.6
	Presion 1	Real	%MD24
	Presion 2	Real	%MD28
	seg	Bool	%Q0.4

Fuente [Autor].

Es muy importante saber primero que funciones se van a manejar para así mismo poder definir las variables que se necesitan para cada proceso, estas variables utilizadas están especificadas en la tabla [4].

Tabla 4 Descripción de cada variable.

Nombre	Variable	Función
Arranque 1	Entrada digital	Activar la bobina del motor 1
Paro 1	Entrada digital	Desactivar la bobina del motor 1
Arranque 2	Entrada digital	Activar la bobina del motor 2
Paro 2	Entrada digital	Desactivar la bobina del motor 2
Motor 1	Salida digital	Encender la bomba 1
Motor 2	Salida digital	Encender la bomba 2
Frecuencia	Entrada digital (Contador rápido)	Actúa como medidor de frecuencia de pulsos cuadrados.
Análoga 0	Entrada analógica	Tomar datos entrada sensor bomba 2
Análoga 1	Entrada analógica	Tomar datos entrada sensor bomba 1
Pulso	Dato Matemático (número real)	conversión del dato frecuencia a un número real
Caudal	Dato Matemático (número real)	Dato del flujo volumétrico
Pre 1	Dato Matemático (número real)	conversión del dato analoga1 a un número real
Pre 2	Dato Matemático (número real)	conversión del dato analoga0 a un número real
Presión 1	Dato Matemático (número real)	Dato de la presión 1 está determinado entre los rangos del sensor.
Presión 2	Dato Matemático (número real)	Dato de la presión 2 está determinado entre los rangos del sensor.

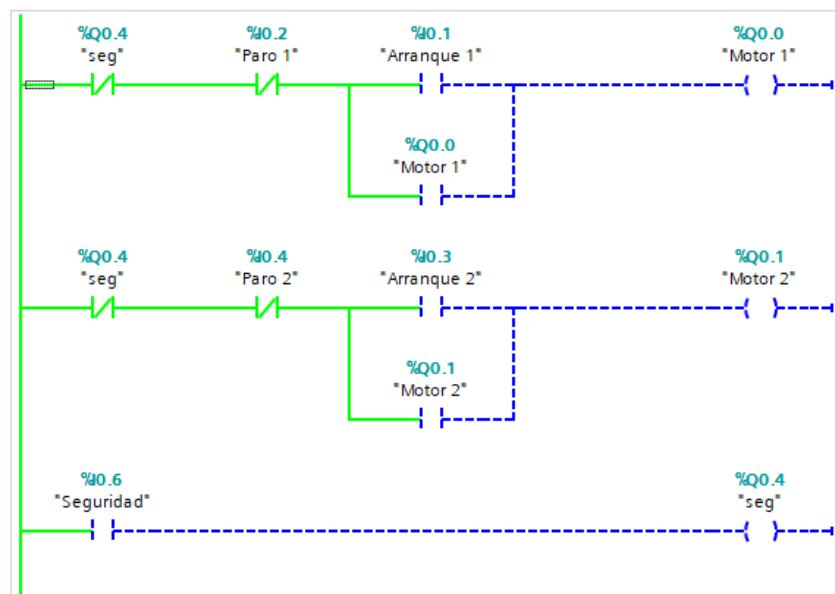
Caudal*	Dato Matemático (Binario sin signo)	Conversión del dato caudal a una Variable de dos palabras en binario sin signo.
Presión 1*	Dato Matemático (Binario sin signo)	Conversión del dato presión 1 a una Variable de dos palabras en binario sin signo.
Presión 2*	Dato Matemático (Binario sin signo)	Conversión del dato presión 1 a una Variable de dos palabras en binario sin signo.
Seguridad	Entrada digital	Activa la bobina “Seg”
Seg	Salida digital	Desactivar la bobina del motor 1 y 2

Fuente [Autor].

Sistema programación de las bombas

Para la programación inicial se usa una variable para energizar la bobina de cada motor, una variable de paro para desenergizar el motor, y un contacto de cada bobina para mantenerla energizada como se muestra en la figura [47].

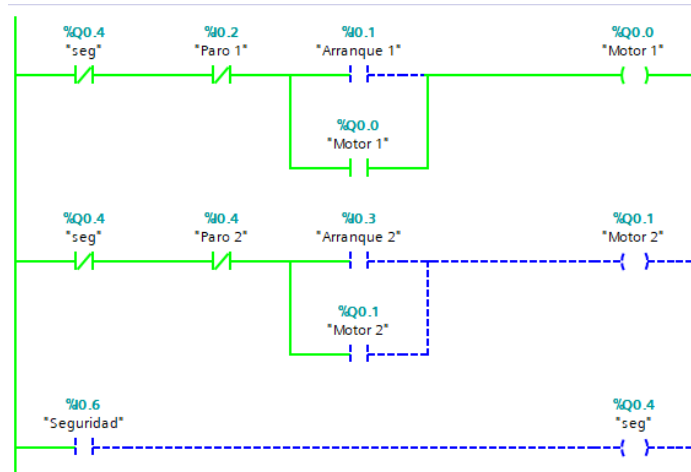
Figura 47 Diagrama Ladder funcionamiento de las bombas.



Fuente [Autor].

Al activar el bit de arranque de cualquiera de las dos bombas se activará la bobina del motor de la misma generando un cambio de estado de los contactos lo que implica que cada bobina quede activada figura [48].

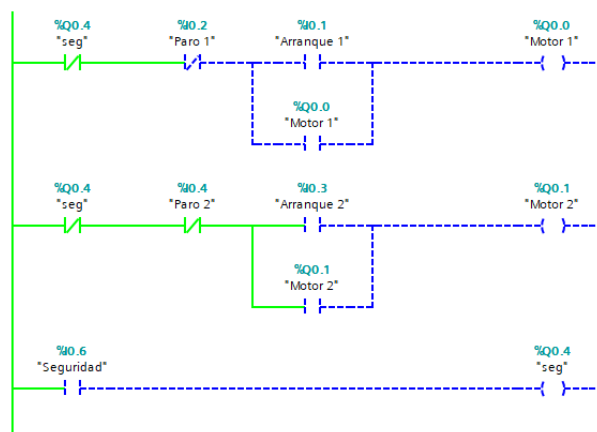
Figura 48 Cambio de estado en las bobinas de funcionamiento.



Fuente [Autor].

Al momento de activar el bit de paro de alguna de las dos bombas se abre la línea de corriente y se desactiva la bobina que este en esa línea como se muestra en la figura [49].

Figura 49 Activación del paro en alguna de las bombas.



Fuente [Autor]

Seguridad de las bombas

En un sistema automatizado es muy importante proteger los elementos mecánicos en este caso para proteger las bombas y evitar que estas funcionen sin agua en su interior se instala un sensor de nivel en el tanque de almacenamiento.

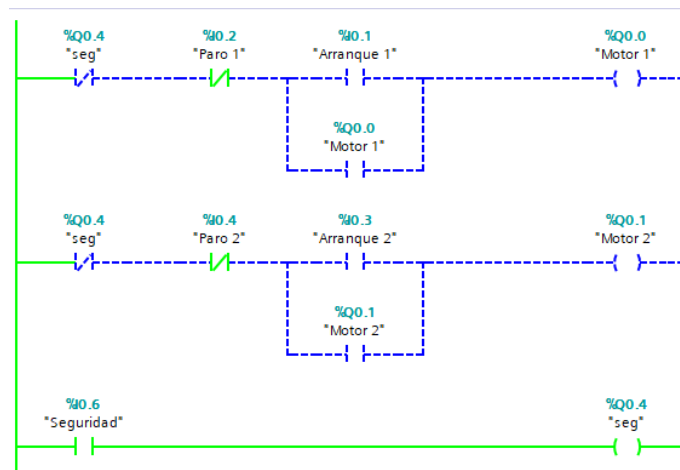
Figura 50 Implementación de Sensor de nivel en tanque.



Fuente [Autor]

Cuando el nivel de agua disminuye, este sensor hace contacto y energiza la entrada digital 6 energizando la bobina “seg”, al energizarse la bobina los contactos cambian de estado y desenrizan las líneas de las bobinas de los motores como se muestra en la figura [51].

Figura 51 Activación del sistema de seguridad de las bombas.



Fuente [Autor].

Programación medidor de frecuencia

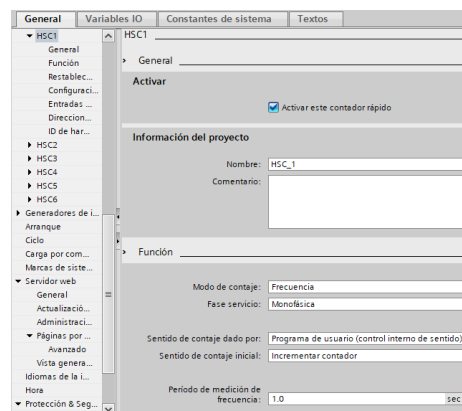
La frecuencia es una magnitud que mide la cantidad de repeticiones que puede tener un suceso por unidad de tiempo [30]:

En este caso el suceso que vamos a medir es un bit de flanco ascendente el cual se activara cada vez que el rodete del sensor de un giro, en la entrada 0.0 pondremos este contador rápido con las especificaciones HSC.

Programación HSC (High Speed Counters)

Al entrar a la configuración de las propiedades del PLC en el programa TIA portal podemos activar el contador rápido, este hardware cuenta con seis contadores rápidos los cuales están ubicados en las primeras 6 entradas digitales desde la entrada i (0.0) hasta i (0.5) [22], el modo de conteo será de frecuencia, la fase de servicio es monofásica y el periodo de frecuencia es de 1 segundo ya que la variable la vamos a medir esta en l/s como se muestra en la figura [52].

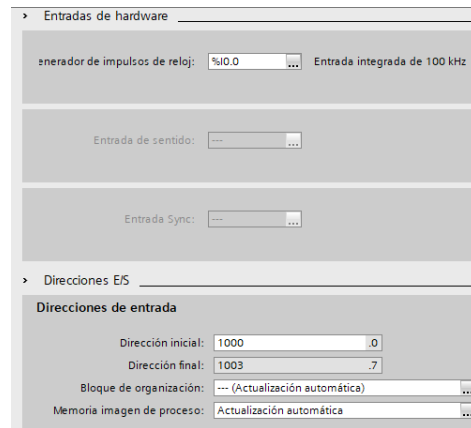
Figura 52 Activación del contador rápido en TIA Portal.



Fuente [Autor].

Podemos hacer cambios en el hardware como modificar la entrada digital en la cual se van a tomar los datos del contador rápido. Por defecto obtenemos la entrada i0.0, y modificar la dirección donde quedaran guardados nuestros valores estas varían entre (1000 – 1300) en este caso se obtiene una dirección id1000 por defecto, como se muestra en la figura [53].

Figura 53 Cambios en las entradas digitales.

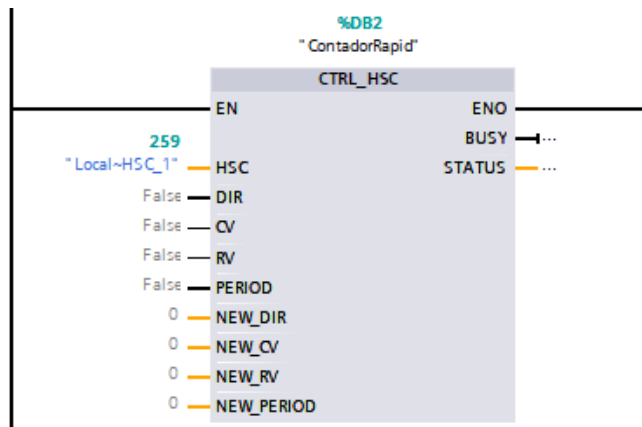


Fuente [Autor].

Hay que tener en cuenta que la variable de entrada no supere los 100 kHz ya que esta es la máxima frecuencia que podrá medir en la entrada digital [22].

Al momento de programar en el lenguaje Ladder se inserta un cuadro con la instrucción HSC, y en la variable HSC se pondrá "Local~HSC_1", esta variable está configurada con la dirección %ID1000 como se muestra en la figura [54].

Figura 54 Configuración de la variable HSC.

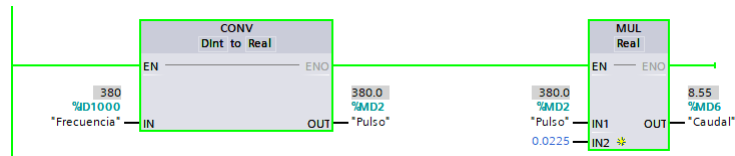


Fuente [Autor].

En otra sección se inserta un cuadro con la instrucción CONV para convertir el dato de frecuencia de una variable Dint a Real para que se pueda observar en el HMI, también se inserta un cuadro de instrucción MUL, el cual multiplica el valor

convertido ahora llamado pulso * 0.0225 esto dado a que el fabricante del sensor de flujo nos dice que cada valor de frecuencia corresponde a 0.025 Litros [28] y como resultado nos da un dato real llamado caudal el cual nos muestra en la pantalla HMI el valor del caudal en ese instante como se muestra en la figura [55].

Figura 55 Configuración de variables para lectura del sensor.



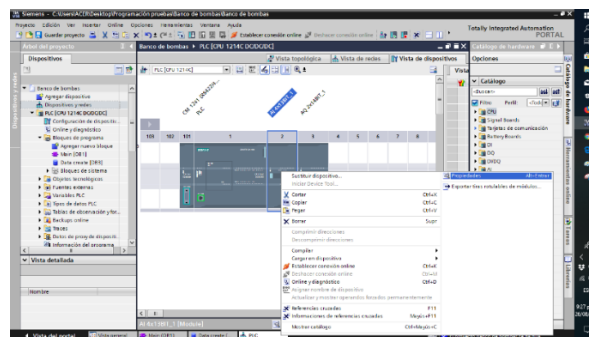
Fuente [Autor].

Como se observa en la figura [47] en la entrada hay una frecuencia de 380 Hz lo que nos daría un caudal de 8.55 l/s.

Programación sensores presión

Se utilizan sensores Danfoss nbs 3000; por medio de dos hilos, lo cual dice que la señal con la que se va a medir el espectro físico va a ser por medio de corriente de 4-20 mA. Estos están conectados al módulo de entradas analógicas 6ES7231-4HD32-0XB0, el cual cumple con la característica de medir entradas analógicas por medio de corriente como se observa en la figura [56], las entradas utilizadas son iw96 e iw98.

Figura 56 Configuración de los sensores de presión

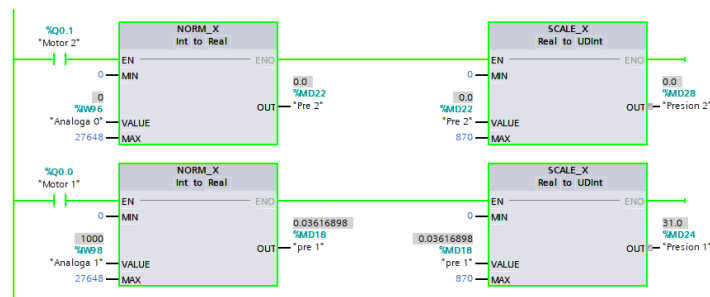


Fuente [Autor].

Según las especificaciones del manual de programación del PLC en TIA portal nos dice que los datos en corriente están relacionados a $0 = 4 \text{ mA}$ y $27648 = 20 \text{ mA}$ [22].

Para cada línea donde va la programación de los sensores comienza con activarse cuando se enciende el motor, luego se usa un cuadro con la instrucción norm_x el cual sirve para normalizar el dato entrante llamado análoga # que toma la entrada analógica entre los rangos dispuestos y se convierte de un dato de tipo Int a Real, como los sensores de presión tienen un rango entre 0 y 60 bar que es lo mismo (0-870) psi escalamos el dato tomado de pre # y lo convertimos en un dato escalado entre los rangos (0 - 870) el cual nos va a decir la presión que tiene ese sensor como se muestra en la figura [57].

Figura 57 Conversión de datos Int a Real.



Fuente [Autor].

En la figura [57], se observa que en la presión 2 hay una presión de 0 psi y en la presión 1 hay una presión de 31 psi estos datos ya están escalados por los cuadros de instrucción.

Crear data log

Para crear un registro de los datos obtenidos tanto de las presiones como del caudal, es necesario crear una instrucción datalog cráte, que consiste en guardar n cantidad de datos obtenidos en el PLC durante un tiempo transcurrido.

El Data Log se guarda en la Memory Card o en la memoria de carga interna en el directorio "\DataLogs". La cantidad de datos que se guarda en un Data Log depende

de la memoria disponible en la Memory Card o en la memoria de carga interna de la CPU utilizada

El número máximo de registros que se guardan en un Data Log se indica en el parámetro RECORDS. Una vez que se alcanza el número máximo de registros en el Data Log, se va sobrescribiendo el registro más antiguo [22].

Los parámetros para la realización de la data log create se representan en la siguiente tabla [5].

Tabla 5 Parametros para la realizacion del DataLog.

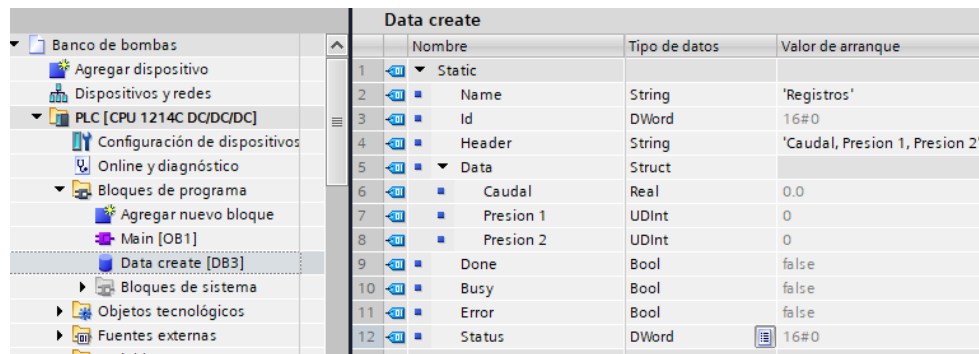
Parámetro	Tipo de datos	Descripción
REQ	BOOL	Ejecución de la instrucción El Data Log se crea cuando se detecta un flanco ascendente en el parámetro REQ.
RECORDS	UDInt	Número máximo de registros en el Data Log
FORMAT	UInt	0: Interno (no soportado) 1: CSV (Valores Separados por Comas)
TIMESTAMP	UInt	0: Sin sello horario 1: Fecha y hora
NAME	VARIANT	Nombre del Data Log El nombre asignado también se utiliza como nombre de archivo del archivo CSV.
ID	DWORD	ID de objeto del Data Log (solo Output)
HEADER	VARIANT	Encabezado del Data Log El encabezado se escribe en la primera fila del archivo CSV.
DATA	VARIANT	Puntero a la estructura de datos que debe escribirse como registro al ejecutar la instrucción "DataLogWrite".
DONE	BOOL	0: el procesamiento todavía no ha finalizado 1: procesamiento de la instrucción finalizado correctamente.
BUSY	BOOL	0: el procesamiento de la instrucción aún no ha comenzado, ha terminado o se ha interrumpido. 1: la instrucción se está procesando.
		0: Ningún error.

ERROR	BOOL	1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción.
STATUS	WORD	En el parámetro STATUS se visualiza información de estado y error detallada. El parámetro solo está activado durante una llamada. Por ello, para visualizar el estado debe copiarse el parámetro STATUS en un área de datos libre.

Fuente [22].

Primero se crea un bloque de datos con las variables necesarias para el cuadro de instrucciones del DataLogCreate como se muestra en la figura [58]:

Figura 58 Variables necesarias para la creación del DataLog.

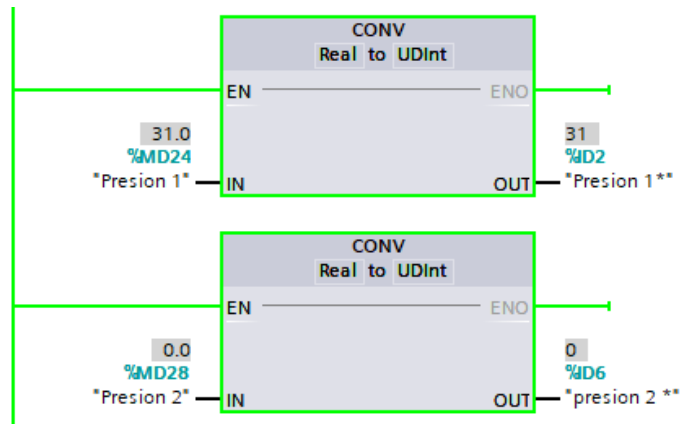


Data create			
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque
1	Static		
2	Name	String	'Registros'
3	Id	DWord	16#0
4	Header	String	'Caudal, Presion 1, Presion 2'
5	Data	Struct	
6	Caudal	Real	0.0
7	Presion 1	UDInt	0
8	Presion 2	UDInt	0
9	Done	Bool	false
10	Busy	Bool	false
11	Error	Bool	false
12	Status	DWord	16#0

Fuente [Autor].

En la variable “Name” se pone el nombre de cómo se va a llamar el archivo, en la variable “Header” se coloca el nombre de las variables que se van a tomar en el archivo separadas por comas y en la variable “Data” se especifican las variables que se toman. Como los valores de presión vienen de una entrada analógica el tipo de dato que se debe usar en estas variables es de tipo UDint, para ello necesitamos volver a convertir los datos de presión de real a Udint, esto se realiza en una línea para cada dato con un cuadro con la instrucción “CONV” como se muestra en la figura [59].

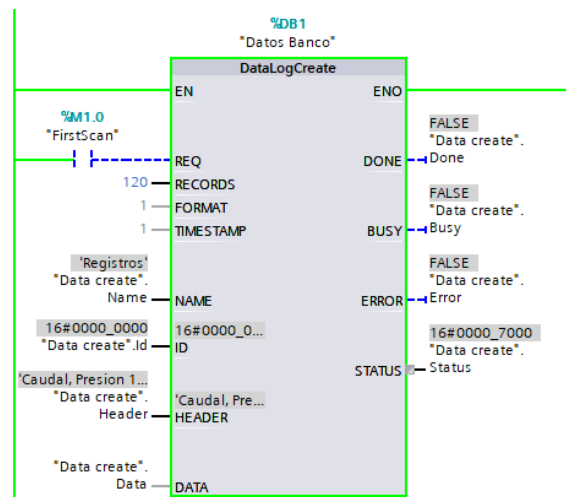
Figura 59 Conversión de variables Reales a UDInt.



Fuente [Autor].

En el diagrama Ladder se crea una nueva línea, y en ella un nuevo cuadro con la instrucción DataLogCreate, y en el cuadro se colocan las variables que ya crearon en el anterior bloque, en la instrucción Records se tomó un numero constante de 120 lo cual indica que se tomaran 120 datos y en la instrucción REQ ponemos la variable "FirstScan" la cual nos va a indicar que el PLC comenzara a tomar el registro de los datos cada vez que este paso del modo de Stop a Run como se muestra en la figura [60].

Figura 60 Configuración para la toma de datos en el PLC.



Fuente [Autor].

Data log write (Para registrar los datos)

Para registrar los datos guardados dentro de la memoria del PLC por medio de la instrucción data logcreate, se usa la instrucción datalogwrite en la cual el usuario crea un registro en un Data Log existente. Por medio del parámetro ID se selecciona el Data Log en el que debe escribirse el registro.

La instrucción crea un nuevo registro con el formato que se había indicado en el parámetro DATA al crear el Data Log. Antes de la llamada de la instrucción "DataLogWrite" transfiera los datos a la variable que se conecta al parámetro "Data" de la instrucción "DataLogCreate". Durante la ejecución de la instrucción "DataLogWrite" los datos transferidos se copian en el Data Log existente [22].

Los parámetros para la realización del data log create se representan en la siguiente tabla [6].

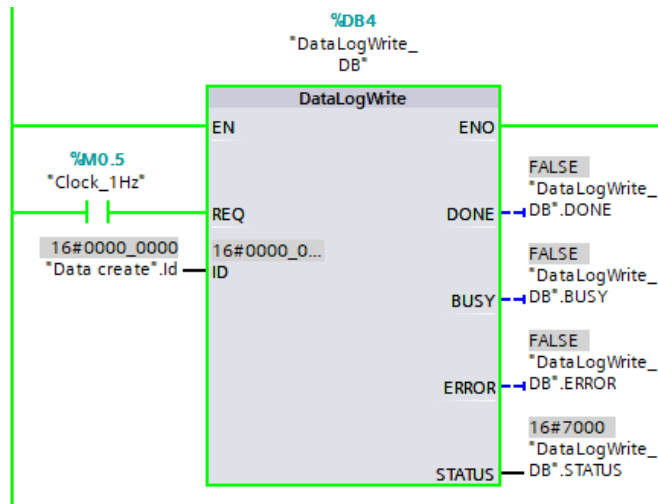
Tabla 6 Parametros necesarios para escribir datos del PLC.

Parámetro	Tipo de datos	Descripción
REQ	BOOL	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente.
ID	DWORD	ID de objeto del Data Log
DONE	BOOL	La instrucción se ha ejecutado correctamente.
BUSY	BOOL	Ejecución de la instrucción no finalizada.
ERROR	BOOL	0: Ningún error. 1: Se ha producido un error al ejecutar la instrucción.
STATUS	WORD	El parámetro solo está activado durante una llamada.

Fuente [22].

En el diagrama Ladder creamos una nueva línea, y en ella creamos un nuevo cuadro con la instrucción DataLogCreate, y en el cuadro colocamos las variables que ya creamos en el anterior bloque, en la instrucción REQ ponemos la variable "Clock_1Hz", para que el escriba los datos cada segunda figura [61].

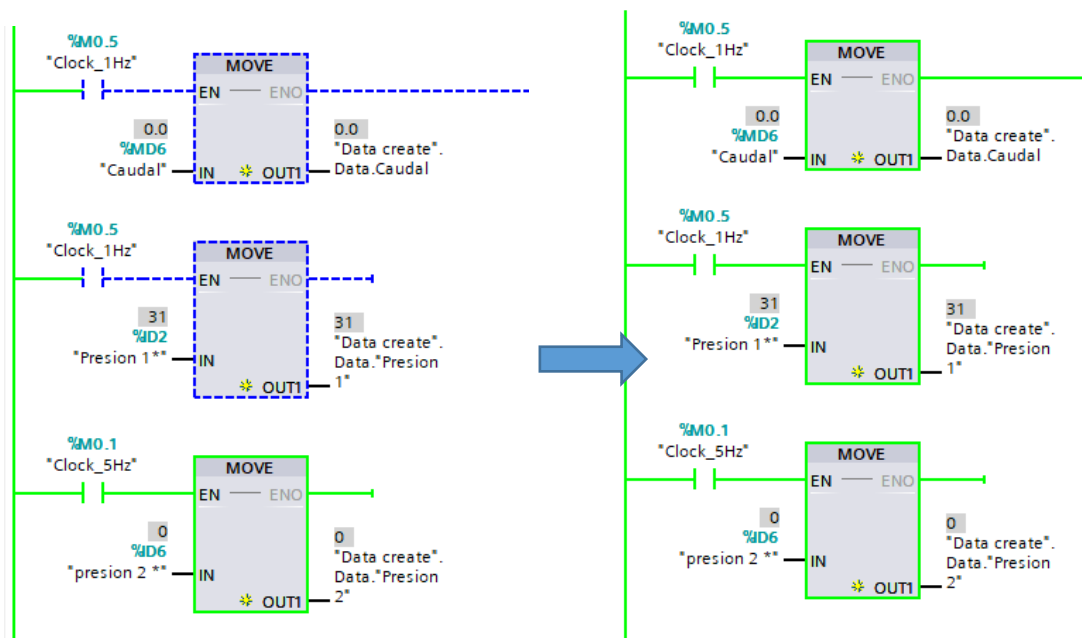
Figura 61 Diagrama Ladder para la toma de datos cada segundo.



Fuente [Autor].

Los datos que escribe el DataLogWrite es cada segundo por eso se coloca un reloj de 1Hz de frecuencia como se indica en la figura [62]. Se puede observar que pasa de un estado de energizado a desenrizado en 1 segundo.

Figura 62 Cambio de estado durante la toma de datos.



Fuente [Autor].

Programación HMI (Human Machine Interface)

La programación de la pantalla HMI de Siemens es de manera gráfica en la cual se pueden colocar diferentes objetos y darles la animación requerida para la programación que se desee.

Parámetros de variables

Es necesario crear una tabla de variables en el HMI para conectar cada variable del PLC a una en el HMI para poder realizar las acciones que necesitemos por medio de botones y cuadros de texto, los botones nos sirven para activar o desactivar algún bit del PLC y los cuadros de texto o dialogo nos sirven para mostrar un texto o para mostrar algún dato del PLC como se muestra en la figura [63].

Figura 63 Variables a mostrar en la pantalla HMI.

Tabla de variables estándar						
	Nombre	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	Ciclo de
	seguridad	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	seg	100 ms
	Pserie	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	Seguridad	100 ms
	Caudal	Real	HMI_Conexión_2	PLC	Caudal	100 ms
	Presion 2	Real	HMI_Conexión_2	PLC	*Presion 2*	100 ms
	Presion 1	Real	HMI_Conexión_2	PLC	*Presion 1*	100 ms
	Motor 2	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	*Motor 2*	100 ms
	Motor 1	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	*Motor 1*	100 ms
	Paro 2	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	*Paro 2*	100 ms
	Paro 1	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	*Paro 1*	100 ms
	Arranque 2	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	*Arranque 2*	100 ms
	Arranque 1	Bool	HMI_Conexión_2	PLC	*Arranque 1*	100 ms

Fuente [Autor].

Lo primero que se programa es el menú inicial donde se muestra el nombre del proyecto, los integrantes y de dónde es el proyecto figura [64].

Figura 64 Pantalla de inicio en el HMI.



Fuente [Autor].

En la segunda imagen que se programa se ponen imágenes de las bombas y los botones de prender y apagar figura [65], cada uno se programan por medio de botones para activar o desactivar un bit, para poder lograr la simulación de que las bombas cambian de color se realiza la programación de unas bombas de color diferente y cuando se active el bit de arrancar se realiza la activación de la bomba de color verde y cuando se activa el bit de paro se desactiva la bomba verde.

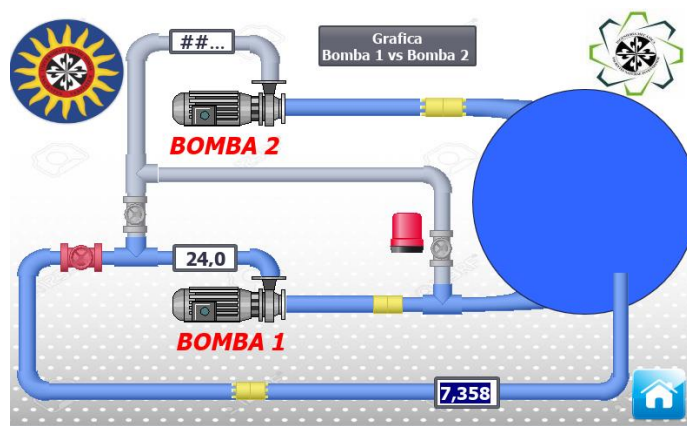
Figura 65 Pantalla para activar y desactivar las bombas.



Fuente [Autor].

En la tercera imagen se realiza la programación de cómo es la vista superior del banco al momento de activar cada bomba; esta pantalla nos va a mostrar cual es el recorrido del fluido por las tuberías del banco que se programa por medio de la función de visualización activando la tubería de color azul por donde pasa el fluido dependiendo de la bomba que esta activada figura [66].

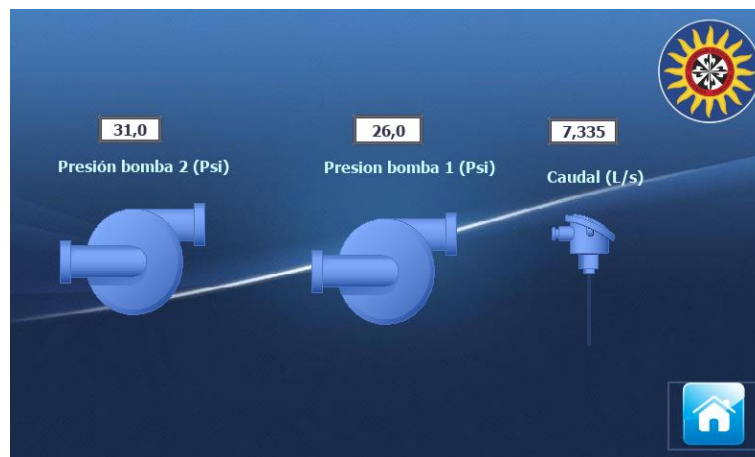
Figura 66 Pantalla de visualizacion de recorrido del fluido.



Fuente [Autor].

En la cuarta imagen se realiza la visualización de los datos de las dos presiones y del caudal por medio de cuadros de texto de manera constante cada 100 milisegundos se actualizan los datos figura [67].

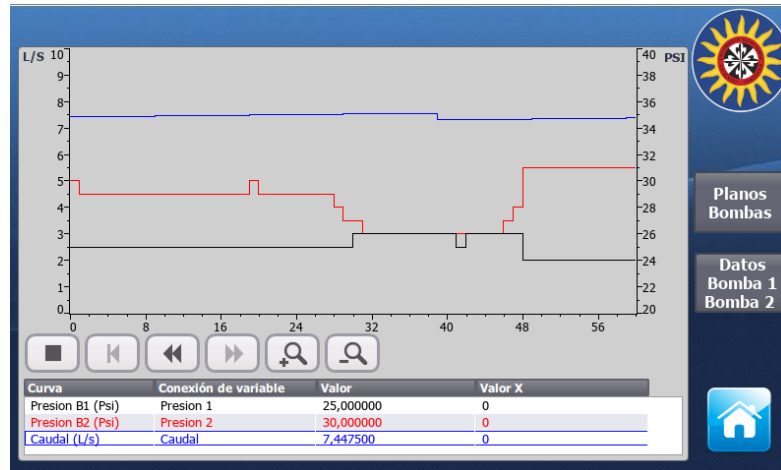
Figura 67 Pantalla visualización datos presión y caudal.



Fuente [Autor].

En la quinta imagen se realiza la visualización de una gráfica la cual muestra los valores de las presiones en el eje derecho y los valores de caudal en el eje izquierdo figura [68].

Figura 68 Pantalla visualización grafica presion y caudal



Fuente [Autor].

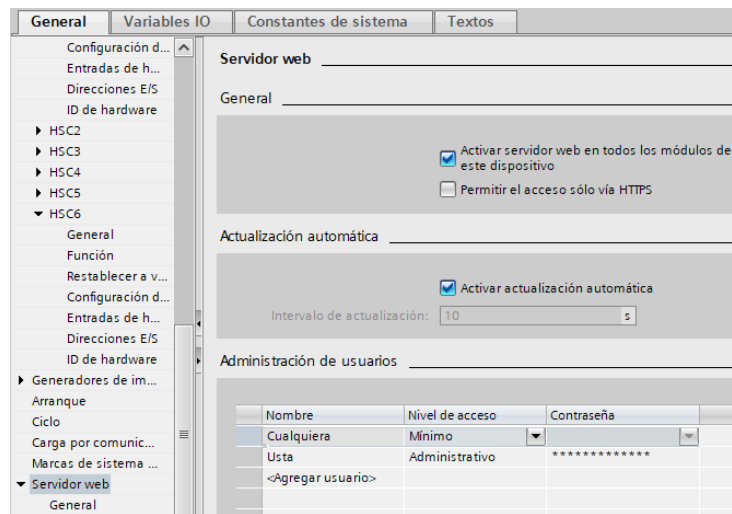
Resultados

- Se obtiene la automatización y control del banco de bombas por medio de una pantalla HMI la cual mejora la experimentación con el mismo.
- Se observan las curvas de presiones y caudal con respecto al tiempo de cada bomba independiente.
- Se observan los datos de presiones de las bombas y caudal por medio de la pantalla HMI en una imagen aparte.
- Se logra observar el recorrido que toma el fluido por la tubería dependiente la activación de cada bomba.
- Se logra realizar la medición de la presión del fluido a la salida de cada bomba de manera digital.
- Se logra realizar una correcta medición del caudal que pasa por la tubería.
- Se realiza la programación para la seguridad de las bombas.
- Se realiza el registro de los datos obtenidos en la memoria interna del hardware utilizado.

CAPITULO 4. Determinación de la curva característica

Para determinar la curva característica o de funcionamiento de cada bomba, se usan los datos que ya tomamos de presión y caudal, se usa la conexión del PLC a una computadora por medio de la configuración de servidor web y un cable Ethernet para poder exportar los datos en archivo de Excel figura [69].

Figura 69 Transferencia de datos para generar la curva característica.

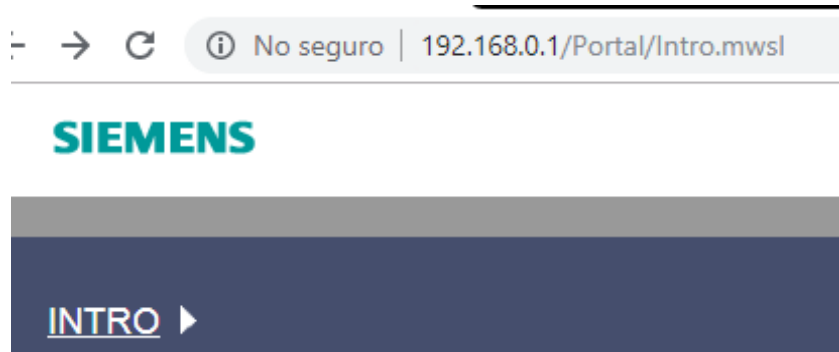


Fuente [Autor].

Introducción.

El servidor web permite a los usuarios autorizados vigilar y administrar la CPU a través de una red. Eso permite la evaluación y el diagnóstico a grandes distancias. Para ello se necesita un navegador web, por este medio se puede observar y descargar los datos que se han grabado en el data log de la memoria interna de nuestro PLC [22], a este se puede ingresar con el numero IP del PLC como se ve en a continuación figura [70].

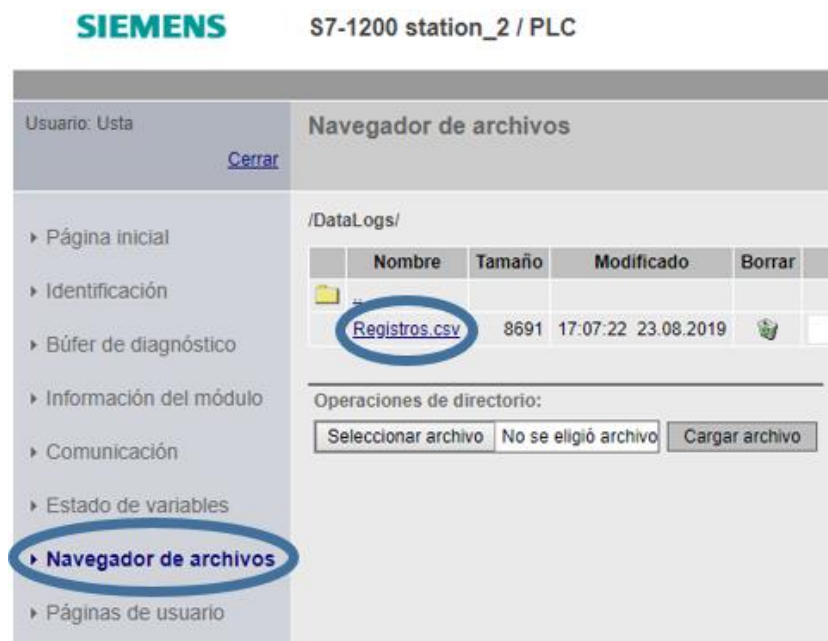
Figura 70 Ingresar al servidor de Siemens para descargar los datos del PLC.



Fuente [Autor].

Al entrar a la configuración del PLC por medio del servidor web se pueden reconocer las funciones disponibles, para descargar los archivos de registro del data log; es necesario entrar a la carpeta de navegador de archivos y descargar como se observa en la figura [71].

Figura 71 Menu principal del servidor web de Siemens.

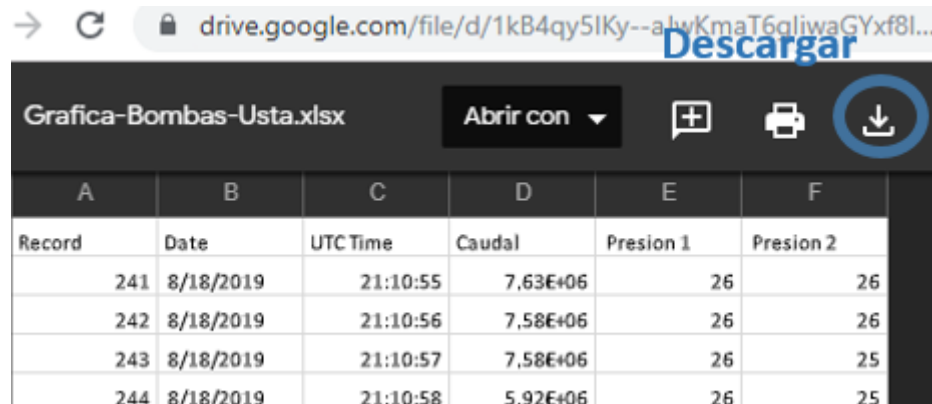


Fuente [Autor].

Es necesario entrar a un link de descarga el cual se encuentra en el manual de usuario para descargar una base del archivo ya corregido figura [72], se copian los

datos del archivo que se descarga por medio del servidor web a la hoja de “pegar info” del Excel corregido como se muestra en la figura [73], la cual ya tiene las formulas programadas para definir el número de decimales utilizados y convertir las presiones de Psi a metros columna de agua tabla [7].

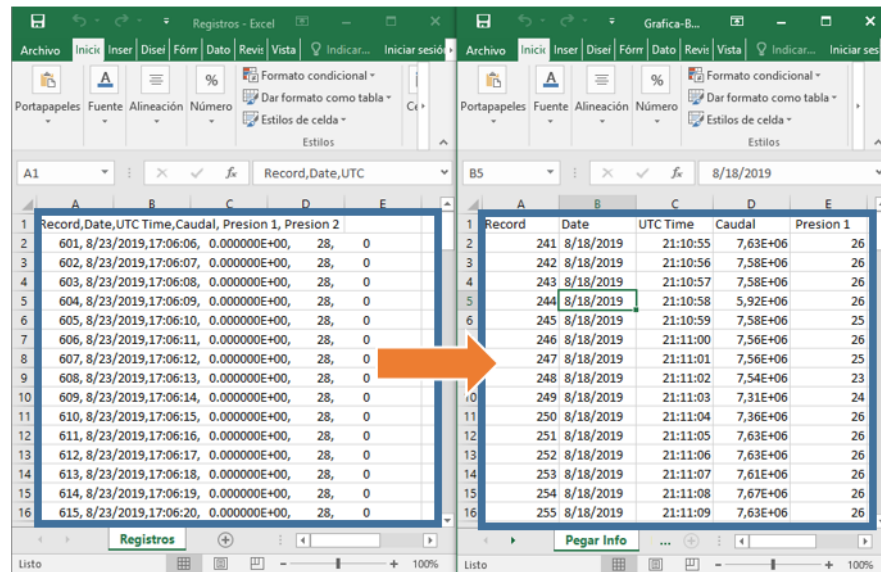
Figura 72 Link archivo corregido de excel.



Record	Date	UTC Time	Caudal	Presion 1	Presion 2
241	8/18/2019	21:10:55	7,63E+06	26	26
242	8/18/2019	21:10:56	7,58E+06	26	26
243	8/18/2019	21:10:57	7,58E+06	26	25
244	8/18/2019	21:10:58	5,92E+06	26	25

Fuente [Autor].

Figura 73 Reemplazamiento de datos entre los archivos de excel.



Record	Date	UTC Time	Caudal	Presion 1	Presion 2
601	8/23/2019,17:06:06	0.000000E+00	28,	0	
602	8/23/2019,17:06:07	0.000000E+00	28,	0	
603	8/23/2019,17:06:08	0.000000E+00	28,	0	
604	8/23/2019,17:06:09	0.000000E+00	28,	0	
605	8/23/2019,17:06:10	0.000000E+00	28,	0	
606	8/23/2019,17:06:11	0.000000E+00	28,	0	
607	8/23/2019,17:06:12	0.000000E+00	28,	0	
608	8/23/2019,17:06:13	0.000000E+00	28,	0	
609	8/23/2019,17:06:14	0.000000E+00	28,	0	
610	8/23/2019,17:06:15	0.000000E+00	28,	0	
611	8/23/2019,17:06:16	0.000000E+00	28,	0	
612	8/23/2019,17:06:17	0.000000E+00	28,	0	
613	8/23/2019,17:06:18	0.000000E+00	28,	0	
614	8/23/2019,17:06:19	0.000000E+00	28,	0	
615	8/23/2019,17:06:20	0.000000E+00	28,	0	

Record	Date	UTC Time	Caudal	Presion 1
241	8/18/2019	21:10:55	7,63E+06	26
242	8/18/2019	21:10:56	7,58E+06	26
243	8/18/2019	21:10:57	7,58E+06	26
244	8/18/2019	21:10:58	5,92E+06	26
245	8/18/2019	21:10:59	7,58E+06	25
246	8/18/2019	21:11:00	7,56E+06	26
247	8/18/2019	21:11:01	7,56E+06	25
248	8/18/2019	21:11:02	7,54E+06	23
249	8/18/2019	21:11:03	7,31E+06	24
250	8/18/2019	21:11:04	7,36E+06	26
251	8/18/2019	21:11:05	7,63E+06	26
252	8/18/2019	21:11:06	7,63E+06	26
253	8/18/2019	21:11:07	7,61E+06	26
254	8/18/2019	21:11:08	7,67E+06	26
255	8/18/2019	21:11:09	7,63E+06	26

Fuente [Autor].

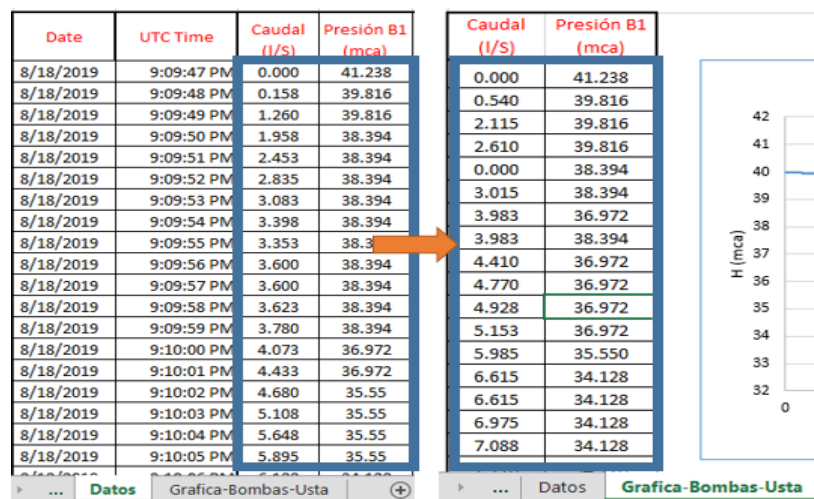
Tabla 7 Ingreso de datos en Excel para crear la grafica.

Date	UTC Time	Caudal (l/s)	Presión B1 (mca)	Caudal (l/s)	Presión B2 (mca)
8/19/2019	3:42:32 p. m.	0,000	0,00	0,000	0
8/19/2019	3:42:33 p. m.	0,000	41,24	0,000	0
8/19/2019	3:42:34 p. m.	1,800	39,82	0,000	0
8/19/2019	3:42:35 p. m.	2,588	38,39	0,000	0
8/19/2019	3:42:36 p. m.	3,465	36,97	0,000	0
8/19/2019	3:42:37 p. m.	4,140	36,97	0,000	0
8/19/2019	3:42:38 p. m.	4,883	35,55	0,000	0
8/19/2019	3:42:39 p. m.	5,535	35,55	0,000	0
8/19/2019	3:42:40 p. m.	6,120	34,13	0,000	0
8/19/2019	3:42:41 p. m.	6,320	33,53	0,000	0
8/19/2019	3:42:42 p. m.	6,520	32,93	0,000	0
8/19/2019	3:42:43 p. m.	6,720	32,33	0,000	0
8/19/2019	3:42:44 p. m.	6,920	31,73	0,000	0
8/19/2019	3:42:45 p. m.	7,120	31,13	0,000	0
8/19/2019	3:42:46 p. m.	7,320	30,53	0,000	0

Fuente [Autor].

Para graficar la información deseada dependiendo la bomba es necesario tener en cuenta que para realizar la gráfica de carga al cierre de cada bomba los datos a tomar es cuando el caudal es el minio “0” y la presión es máxima hasta tomar los datos donde la presión es mínima y el caudal es el máximo [17], para ello se copian estos datos de la hoja “datos” a la hoja de “Graficas-Bombas-Usta” del Excel corregido figura [74].

Figura 74 Reemplazar los archivos dentro de la hoja de calculo.

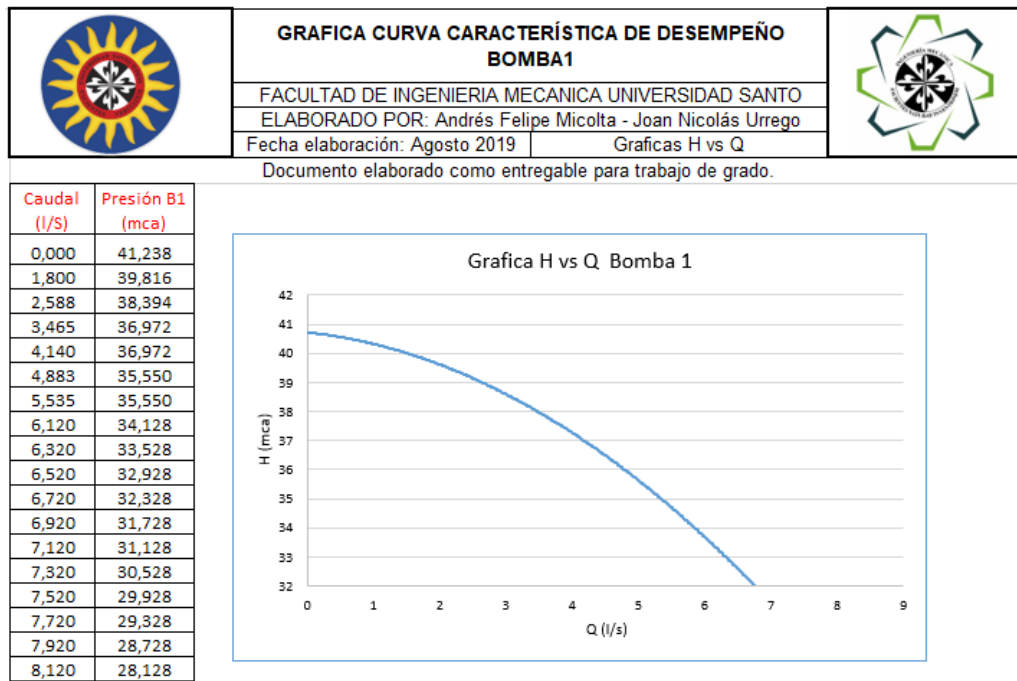


Fuente [Autor].

Resultados

- Se obtiene la gráfica característica de cada bomba figura [75], este procedimiento se debe realizar para cada bomba por separado.
- Se obtiene el registro de los datos tomados de manera constante y se puede acceder a ella por medio de cualquier computador.

Figura 75 Curva característica de desempeño de la bomba.



Fuente [Autor].

Conclusiones

1. El proyecto comprende diferentes áreas de la carrera y aplicación de conceptos fundamentales de la ingeniería mecánica como mecánica de fluidos, maquinas hidráulicas, control e instrumentación, electrónica, automatización industrial.
2. Se realizó un cambio en la estructura física de la máquina obteniendo los siguientes aspectos.
 - a. Reducción del tamaño de la maquina a un área de $1.8m^2$
 - b. Disminución de la cantidad de tubería empleada.
 - c. Facilidad a la hora de tomar datos prácticos.
 - d. Acoplamiento de una toma de agua independiente.
 - e. Estandarización del diámetro de la tubería.
3. Se implementó un sistema de automatización y control el cual cumple con las siguientes características.
 - a. Capacidad de tomar datos digitales y análogos con instrumentos de medición.
 - b. Facultad para tomar la cantidad de datos necesarios para obtener las curvas de presión y caudal.
 - c. Se programó y configuró una pantalla HMI Siemens KTP 700 generando una interfaz gráfica interactiva.

Proyecciones

Por medio de la toma de datos, el PLC y la interfaz hombre – máquina generar las siguientes curvas de las bombas: NPSH en función de caudal, eficiencia, consumo de potencia.

Realizar guías con el fin de generar prácticas de laboratorio para los estudiantes de ingeniería mecánica las cuales sirvan para las asignaturas de: mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.

Bibliografía

- [1] H. & S. J. García, «Diseño, construcción y puesta a prueba de un banco de bombas centrífugas en serie, paralelas y mixtas. (Tesis para obtener el Título de Ing. Mecánico).», Universidad Pontificia Bolivariana, 2010.
- [2] A. & C. P. Pedrosa, «Automatización del banco de pruebas para bombas centrífugas del laboratorio de máquinas hidráulicas de La Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca. (Tesis para obtener el Título de Ing. Electrónico),» Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca, 2011.
- [3] A. R. Sánchez, «Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas, perdidas en tuberías y accesorios para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás,» Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2011.
- [4] J. G. Yambombo, «Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios,» *Universidad Central de Ecuador*, 2012.
- [5] Díez, Pedro Fernández, «BOMBAS CENTRÍFUGAS,» [En línea]. Available: http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf. [Último acceso: 15 Septiembre 2019].
- [6] Aquasistemas, «Aquasistemas.com,» Julio 2019. [En línea]. Available: <https://aquasistemas.com.gt/producto/bombas-centrifuga-caracol>. [Último acceso: 03 Octubre 2013].
- [7] «introduccion a la automatizacion,» Septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://teacherke.files.wordpress.com/2010/09/introduccion-a-la-automatizacion.pdf>.

- [8] N. Instruments, «National Instruments,» [En línea]. Available: <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>. [Último acceso: 03 09 2019].
- [9] Siemens, «Siemens ingenuity for life,» Siemens, [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>. [Último acceso: 08 Agosto 2019].
- [1 H. V. Sánchez, «Elementos primarios»,» [En línea]. Available: 0] http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf. [Último acceso: 08 Septiembre 2019].
- [1 N. Electronics, «Nova Electronics,» [En línea]. Available: 1] <https://www.nova.com.bo/sensor-de-flujo-de-agua-34-fs300a.html>. [Último acceso: 10 09 2019].
- [1 S. y. Transductores, «Sensores y Transductores,» [En línea]. Available: 2] http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [1 Danfoss, «Danfoss,» [En línea]. Available: 3] <https://store.danfoss.com/es/es/Automatización-Industrial/Transmisores-de-presión/Transmisores-de-presión%C2%A0/Transmisor-de-presión%2C-MBS-32/p/060G1269>. [Último acceso: 03 Octubre 2019].
- [1 Wonderware, «Wonderware,» [En línea]. Available: 4] <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [1 SIEMENS, «SIEMENS,» [En línea]. Available: 5] <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels/basic-panels.html>. [Último acceso: Agosto 2019].

[1 C. Mataix, Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas, Oxford, 1970.
6]

[1 Y. A. Cengel, Mecánica de fluidos, Madrid: Cegal, 20 Diciembre 2004.
7]

[1 UNED, «Controladores Industriales Inteligentes,» [En línea]. Available:
8] http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_2.pdf. [Último acceso: 12 Octubre 2019].

[1 A. Diaz, «Instrumentación y Comunicaciones Industriales,» [En línea]. Available:
9] https://www.academia.edu/24021359/Instrumentaci%C3%B3n_y_Comunicaciones_Industriales_Diagrama_de_contactos_Ladder. [Último acceso: Septiembre 2019].

[2 J. J. G. DELGADO, «IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HMI PARA LA
0] OPERACIÓN DEL MODULO CONTROL DE PROCESOS DEL LABORATORIO DE ROBÓTICA,» UNIVERSIDAD DE LA SALLE , BOGOTA D.C., 2008.

[2 I. Mecafenix, «Ingeniería Mecafenix,» 5 junio 2017. [En línea]. Available:
1] <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/instrumentacion-conceptos-basicos/>. [Último acceso: Septiembre 2019].

[2 Siemens, «Controlador programable S7-1200,» 2009. [En línea]. Available:
2] https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851434/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf. [Último acceso: 06 Junio 2019].

[2 Siemens, «Hoja de datos 6ES7231-4HD32-0XB0,» 2010. [En línea]. Available:
3] <https://media.automation24.com/datasheet/es/6ES72314HD320XB0.pdf>. [Último acceso: Julio 2019].

- [2 E. Valtierra, «Electrónica Valtierra,» 2019. [En línea]. Available:
4] <https://electronicavaltierra.com.mx/producto/sensor-de-nivel-de-agua-en-angulo-horizontal/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [2 WIKA, «WIKA Sensor de presión,» [En línea]. Available:
5] https://www.wika.es/landingpage_pressure_sensor_es_es.WIKA. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [2 WIKA, «WIKA ¿como funciona un transmisor de presión?,» [En línea]. Available:
6] <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [2 Danfoss, «Pressure transmitter, MBS 3000,» [En línea]. Available:
7] <https://store.danfoss.com/en/Industrial-Automation/Pressure-Transmitters/Pressure-Transmitters%C2%A0/Pressure-transmitter%2C-MBS-3000/p/060G1106>. [Último acceso: 3 Octubre 2019].
- [2 N. MECHATONICS, «Manual de usuario sensor de flujo de agua 3/4"FS300A,»
8] NAYLAMP MECHATONICS, [En línea]. Available:
<https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/156-sensor-de-flujo-de-agua-34-fs300a.html>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [2 n. automatización, «novedades automatización,» [En línea]. Available:
9] <https://novedadesautomatizacion.net/foro/sensores/sensor-hall-o-sensor-de-efecto-hall/>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [3 Concepto.de, «Frecuencia,» 29 Agosto 2019. [En línea]. Available:
0] <https://concepto.de/frecuencia/#ixzz5xp0erX7h>. [Último acceso: Septiembre 2019].

Anexos

Anexo A. Diagrama P&ID banco de bombas.

Anexo B. Planos tubería y accesorios banco de bombas.

Anexo C. Planos estructura banco de bombas.

Anexo D. Programación PLC banco de bombas.

Anexo E. Instructivo de uso.

Anexo F. Plano conexión eléctrica.

Anexo G. Manual de usuario PLC S7 1200.

Anexo H. Manual sensor mbs3000.

Anexo I. Manual sensor de flujo.