



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Ingeniería Electrónica

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS PARA DIAGNÓSTICO DE FUGAS EN SISTEMAS
DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.**

**LABORATORIO DE DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

ASESOR

DR. FRANCISCO RONAY LOPEZ ESTRADA

Presenta

No. De Control

**ESCOBAR PÉREZ NIDIA GUADALUPE
AVENDAÑO ZAMUDIO JORDY EMMANUEL**

**14271198
14270554**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a 12 de Diciembre del 2018.

Índice general

Capítulo I. Aspectos generales.....	5
Introducción.....	5
Planteamiento del problema.....	8
Justificación.....	8
Antecedentes.....	8
Objetivos.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Alcances y limitaciones.....	10
Alcances.....	10
Limitaciones.....	10
Caracterización del área en el que se participo.....	10
Antecedentes de la empresa.....	10
Misión.....	12
Visión.....	12
Valores.....	12
Descripción del área dónde se realizó el proyecto.....	12
Impacto.....	13
Caso de estudio.....	13

Capítulo 2: fundamentos teóricos	15
Marco teórico	15
Adquisición de datos (DAQ).....	15
NI 9401	17
Sensor de Presión.....	17
La salida eléctrica de los transductores de presión.	18
Características del EJA530E	19
Sensor de flujo magnético.....	20
Rendimiento mejorado y especificaciones	20
La facilidad de uso	20
Línea de productos ampliada.....	20
Principio de los medidores de flujo magnéticos	20
Análisis del campo magnético	21
Electroválvulas	22
Acción directa	22
Acción Indirecta	23
Acción Mixta	23
Especificaciones eléctricas	24
Software.....	25
NI-DAQmx	25

MATLAB	26
Capítulo 3: desarrollo	27
Cronograma	27
Funcionamiento del sistema de fugas de serpiente.	27
Desarrollo de la instrumentación y programación del sistema	31
Conclusión	34
Referencias	35
ANEXO	37

Capitulo I. Aspectos generales.

Introducción.

Una red de distribución hidráulica es un sistema de elementos (tuberías, bombas, válvulas, tanques, etc.) que se conectan entre si para transportar determinadas cantidades de fluidos y donde las presiones nodales deben, en general, cumplir con un valor mínimo establecido en las normas locales. Existen diferentes tipos de redes hidráulicas en las cuales se transportan diferentes tipos de fluidos, principalmente agua, que es el líquido vital para los seres humanos y fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. También están los fluidos que transporta PEMEX tales como son el Diésel, la gasolina y algunos gases, cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto y cuando el fluido transportado es gas, se utiliza la denominación de gasoducto. Para poder transportar estos fluidos de una manera segura existen normas que exigen utilizar el material adecuado de acuerdo con el tipo de fluido que se transportara. Estos materiales son tubería de PVC, tubería de cobre, tubería galvanizado, tubería de fibrocemento, tubería de hierro fundido, tubería de acero, entre otros [Comisión Nacional del Agua]. Es de suma importancia transportar estos fluidos de una forma segura ya que podrían ocasionar daños tanto al medio ambiente como a la sociedad, un claro ejemplo de esto, la fuga de agua potable en las ciudades (Ilustración 1) ocasionando daño en las vías públicas, ya que el agua que se filtra provocando el deterioro en la calles, siendo también un gran foco de infecciones debido al encharcamiento de este fluido, provocando un sin fin de pérdidas económicas y el desperdicio de litros de agua que se escapan sin control. Por ende, PEMEX ocasiona daño al medio ambiente ya que los escurrimientos y las fugas son fuertemente contaminantes, también se ven afectadas la flora y la fauna que están cerca de estos escurrimientos y fugas, además de las hectáreas de cultivos de los campesinos que tienen terrenos por

donde pasan los ductos, por consiguiente, esto provoca pérdidas millonarias, así como poner en riesgo la vida de muchas personas [Greenpeace México].



Figura 1. Calle central Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

De acuerdo a lo anterior, las fugas hidráulicas provocan grandes pérdidas millonarias y daños al medio ambiente, como es el caso del agua potable en México, donde la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) realizó una encuesta a nivel mundial en la cual se aprecia el porcentaje de agua que se fuga en sus redes de distribución de agua (Ilustración 2 , donde México es el país que más agua pierde a nivel mundial encabezando la lista con 9 ciudades, Tuxtla Gutiérrez es la ciudad que más agua pierde con alrededor del 70%; le sigue San Luis Potosí con el 50%; la Ciudad de México con más del 40%, y Chihuahua, Toluca, Querétaro, Culiacán, Acapulco y Hermosillo son las ciudades que menos pierden [El País]. Por otra parte PEMEX es el que más sufre con las pérdidas millonarias por causa de las fugas en sus ductos, además de la contaminación que ocasiona al medio ambiente, en los últimos 6 años PEMEX ha perdido 100 mil mdp [Animal Político] por robo de combustible y fugas en sus ductos, en volumen, lo perdido asciende a 14 mil 652 millones de litros, que implica hasta 250 pipas de combustible cada día, lo cual indica que las fugas son demasiadas, además de las perforaciones para el robo de combustible, por consiguiente el daño al medio ambiente es de manera impactante e irreparable, ya que la flora y la fauna que se encuentra cerca de estas fugas las cuales se convierten en explosiones sufren daños que provocan la desaparición de algunas especies en el área, además de poner en riesgo la vida

de los seres humanos que viven cerca de los ductos, ocasionando daños a la salud [Greenpeace México].

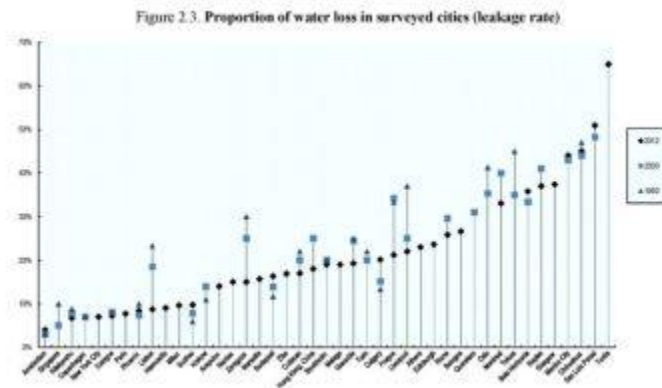


Figura 2. Porcentaje de pérdida de agua

Existen trabajos que han intentado solucionar el problema de las fugas, por ejemplo; en el [2015] proponen determinar la posición de múltiples fugas a partir de una onda de presión transitoria provocada por un cambio controlado en la dinámica del fluido, la principal ventaja de esta prueba es que solo se requiere la medición de la presión.

De acuerdo a los problemas que generan las fugas en las redes hidráulicas, es de alta importancia desarrollar técnicas que ayuden a disminuir la problemática de las fugas de fluidos en las redes hidráulicas, es necesario la construcción y la instrumentación automatizada de una planta piloto que se acerque a las

características reales de una red hidráulica industrial, para poder realizar los experimentos necesarios que ayuden a resolver estos problemas, además de obtener resultados más precisos y confiables. De este modo, se podrá probar la precisión de los algoritmos que se esperan desarrollar a través de diferentes métodos y técnicas para detectar las fugas en las redes hidráulicas, también ayudar a disminuir las fugas de agua en la red de distribución de agua potable de Tuxtla Gutiérrez y reducir el porcentaje de pérdida a nivel nacional.

Planteamiento del problema.

La pérdida de agua por fugas es un problema grande y existente en nuestra ciudad, ya que esta provoca afectaciones a la población por desabasto de este vital líquido. En muchas ciudades se desperdician miles de litros al día por fugas y tomas clandestinas que existen en las tuberías de distribución de agua, en nuestra ciudad uno de los mayores problemas ante las perdidas por fuga es que no se puede reparar de manera inmediata por desconocimiento de la ubicación exacta de la fuga, lo cual lleva a que los encargados se les complique repararla y es evidente la necesidad de optimizar los procesos y así evitar excavar varias veces y en distintos puntos para encontrar el punto exacto de la fuga.

Justificación

Este proyecto está diseñado para detección de fugas en redes de agua, ya que existen perdidas por fugas en la distribución de esta y además del desabastecimiento a familias por perdidas en la distribución. Con este proyecto buscamos la disminución del porcentaje de perdida de agua, así mismo ayudar a las ciudades a tener un mejor abastecimiento, más adecuado y eficiente para la población.

El proyecto además se puede implementar en detección de fugas en la industria petrolera como lo es PEMEX, ya que el sistema esta diseñado para los distintos líquidos que existen.

Antecedentes.

En los últimos años se han desarrollado técnicas que intentan resolver el problema de las fugas. Como se ha mencionado anteriormente los problemas que causan estos fenómenos en las redes hidráulicas son prácticamente devastadoras en una región o en una industria, ya que la pérdida de producto ocasiona todo tipo de pérdidas que afectan el desarrollo de una empresa o una ciudad.

Por esto, el impacto que se genera ha motivado a un enfoque profundo acerca de esta temática, por ejemplo, (Sangolqui, abril del 2015) por medio de una investigación se fundamentó resolver un histórico problema en una inadecuada gestión del sistema de agua potable, por el cual los usuarios llevaban años sufriendo por el abastecimiento de este vital líquido debido a la baja presión del sistema ocasionada por las fugas, el sistema cuenta con tres partes, la primera se divide en tres zonas, zona crítica, zona no crítica y zona media; la segunda parte es el plan de medición y recuperación de pérdidas y la tercera parte es el plan de renovación integral del sistema dañado. En (2017, jornadas de automática) propusieron un modelo basado en el principio de conservación de la masa en el que se incluyen las fugas como señales aditivas, donde se plantean observadores tipo PI para la estimación de las fugas. (Quito, abril 2018) la realización de un software para la simulación en detección de fugas en un ducto de características similares a los instalados en el sector petrolero ecuatoriano, el cual cuenta con los parámetros necesarios para establecer un escenario de transporte y como resultado muestra en tiempo real el comportamiento de las variables tanto en la entrada como en la salida del ducto.

Objetivos.

Objetivo general.

Instrumentar una red hidráulica prototipo e implementarle técnicas de diagnóstico de fugas con sensores de presión y caudal, mediante sistemas SCADA controlados desde interfaces en MATLAB y LabVIEW.

Objetivos específicos.

- Apoyar en la construcción de la implementación de la nueva red hidráulica, la cual constara con 16 sensores.
- Realizar el estudio para determinar las ubicaciones óptimas de los sensores, los cuales dependerán de la distancia de los codos, nodos y la bomba hidráulica.

- Instalar sensores de presión y flujos industriales en los puntos seleccionados, así como la calibración.
- Instalar las electroválvulas en los puntos seleccionados para las simulaciones de fugas.
- Lograr la comunicación del sistema en físico al sistema SCADA.
- Diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real de los sensores de caudal y presión a lo largo de la red hidráulica.

Alcances y limitaciones.

Alcances

- Sistema de comunicación SCADA.
- Interfaz en MATLAB de sensores y actuadores.
- Sensores industriales.
- Calibración de sensores y obtención de mediciones de presión y flujo.

Limitaciones

- Solenoides CA
- Tiempo de llegada en envío de sensores.
- Terminación de la residencia.

Caracterización del área en el que se participo

Antecedentes de la empresa

Antecedentes de la empresa El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ubicado en carretera Panamericana km.1080, brinda servicios educativos de calidad certificada, con la misión de formar de manera integral a profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al ambiente y apego a los valores éticos.

Además, es una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo sustentable de la región, el cual es uno de los ejes transversales de su oferta educativa, tanto a nivel licenciatura como posgrado.

Así mismo, trabaja con sistemas de gestión ambiental certificados, en donde los estudiantes aplican sus conocimientos en función del cuidado del ambiente: aire, agua, suelo, flora, fauna y seres humanos.

Entre las principales líneas estratégicas de educar con responsabilidad ambiental se encuentran los Sistemas de Gestión de Calidad, Sistema de Gestión Ambiental, Programas Académicos Acreditados por COPAES y por CONACYT; se trata de transformar conciencias, evolucionar culturas, sensibilizar a la población y mostrar responsabilidad ante las acciones que realiza en pro de la conservación de la biodiversidad del planeta.

Como parte de la oferta educativa de esta institución, se encuentra el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica el cual se encarga de coordinar distintas actividades académicas que permiten a los alumnos poner en práctica los conocimientos adquiridos dentro de las aulas, además de ayudarlos a desarrollar habilidades y aptitudes que les permitan resolver problemas de manera eficiente.

De igual manera, es importante mencionar que este departamento cuenta con el apoyo de distintos laboratorios dentro de la institución, uno de ellos es el Laboratorio de Ingeniería Electrónica en el cual los alumnos refuerzan los conocimientos teóricos adquiridos en clases mediante prácticas que les permiten desarrollar capacidades y habilidades para su desenvolvimiento futuro como profesionistas.

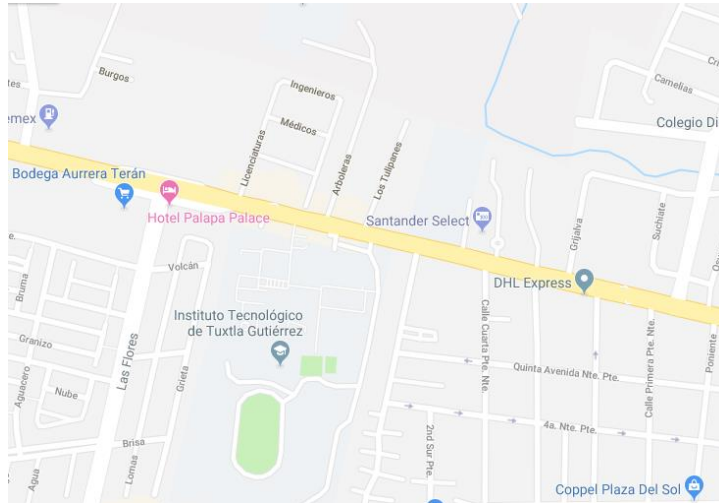


Figura 3. Localización donde se realizó el proyecto

Misión

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

Visión

Ser una Institución de Excelencia en la Educación Superior Tecnológica del Sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

Valores

El ser humano, el espíritu de servicio, el liderazgo, el trabajo en equipo, la calidad, el alto desempeño y respeto al medio ambiente.

Descripción del área dónde se realizó el proyecto

En el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, como parte del apoyo académico que se brinda, en el laboratorio de detección de fugas, hidráulicas, de la maestría en ciencias en ingeniería mecatrónica, el laboratorio cuenta con los materiales e instrumentos necesarios para llevar a cabo prácticas e investigación como también hacer pruebas de captura de datos de este sistema de fugas.



Figura 4 Laboratorio de hidráulica del edificio I del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Impacto

El proyecto tiene como fin la obtención de datos de fugas de forma más precisa utilizando electroválvulas y utilizando sensores industriales que nos ayudaran con mejor la obtención de datos con el menor margen de error posible.

Los beneficios de la construcción de esta red hidráulica son muchas, una de ellas es detectar fugas de agua en las redes de tubería, ya que datos arrojados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) Tuxtla tiene un índice de 70% en desperdicio de agua, debido a este problema se generan

grandes pérdidas económicas a los organismos operadores del sistema de distribución. También este proyecto se basa en el beneficio de detectar fugas en las redes de distribución de Pemex, ya que las fugas de este tipo sufren más pérdidas económicas, se pueden producir explosiones por una fuga como también la contaminación del suelo, aire, así como también el agua.

Caso de estudio

Este trabajo está caracterizado en la construcción de una red de fugas, haciendo una interfaz gráfica de los sensores que se le intentaran implementar, así como la ampliación del sistema hidráulico. Actualmente hay tres laboratorios de sistemas de

fugas en todo el país, el primero se encuentra en la UNAM en el estado de México, el segundo se encuentra en el CINVESTAV que se encuentra en Guadalajara y el tercero que se encuentra en nuestras instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez del estado de Chiapas.

El sistema de fugas cuenta de un serpentín que contiene dos sensores de presión y dos sensores de caudal, en el cual un sensor de presión y un sensor de flujo se encuentran al inicio de la tubería, mientras que los dos sensores se encuentran al final. Contiene 2 bombas de agua una de 5 HP controlado por un variador de frecuencia y otro de $\frac{1}{2}$ HP controlado independientemente, también contiene 4 electroválvulas distribuida aleatoriamente en la tubería, una fuente de alimentación, tarjetas de adquisición de datos, un módulo de relevadores y una PC.

Capítulo 2: fundamentos teóricos

Marco teórico

Adquisición de datos (DAQ)

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.



Figura 5. Partes de un sistema DAQ

En el sistema de red de fugas se implementaron dos tarjetas de adquisición de datos que son NI 9203 y NI 9401.

NI 9203

- 8 canales, entrada de corriente de 200 kS / s
- Rangos de entrada programables de ± 20 mA, 0 mA a 20 mA; 16 bits resolución
- Calibración trazable según NIST
- Conectividad con terminal de tornillo o terminal de resorte

NI 9401

Módulo Digital de la Serie C, 5 V/TTL, 8 Canales Bidireccionales, 100 ns—El NI-9401 es una interfaz de E/S digitales configurables para entrada o salida en incrementos de 4 bits. Por lo tanto, el NI-9401 puede crear tres configuraciones: 8 entradas digitales, 8 salidas digitales o cuatro entradas digitales y cuatro salidas digitales. Con la tecnología de E/S reconfigurables (RIO) (en CompactRIO únicamente), usted puede usar el Módulo LabVIEW FPGA para programar el NI-9401 para implementar contadores/temporizadores personalizados de alta velocidad; protocolos de comunicación digital; generación de pulso y más. Cada canal tiene aislamiento transitorio entre los canales de E/S y el plano trasero.

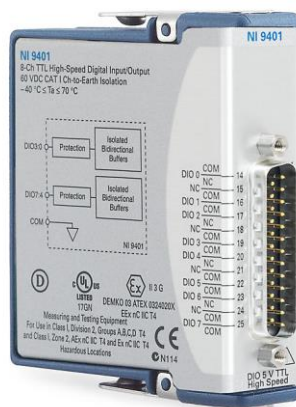


Figura 8 NI9044

Sensor de Presión

Un transductor de presión, a veces llamado transmisor de presión, es un transductor que convierte presión en una señal eléctrica analógica. Aunque hay varios tipos de transductores de presión, uno de los más comunes es el transductor de base de calibrador de tensión. La conversión de presión en una señal eléctrica se logra mediante la deformación física de medidores de tensión que están unidos al diafragma del transductor de presión y cableados a una configuración de puente de Wheatstone. LA presión APLICADA AL transductor de presión produce una

deflexión del diafragma que introduce tensión en los calibradores. La tensión producirá un cambio en la resistencia eléctrica proporcional a la presión.



Figura 9 EJA530E Transmisor de presión de manómetro en línea

La salida eléctrica de los transductores de presión.

Los transductores de presión en general están disponibles con tres tipos de salida eléctrica: milivoltios, voltaje amplificado y 4-20mA. A continuación, está un resumen de las salidas y cuándo es su mejor uso.

Transductores de presión con salida en milivoltios. Un transductor con salida en milivoltios es normalmente el transductor de presión más económico. La salida del transductor de milivoltios es nominalmente alrededor de 30mV. La salida real es directamente proporcional a la energía de entrada o excitación del transductor de presión. Si la excitación fluctúa la salida también cambiará. Debido a esta dependencia del nivel de excitación, se sugieren fuentes de energía reguladas para usar con transductores de milivoltios. Debido a que la señal de salida es tan baja, el transductor no se deberá ubicar en un entorno eléctricamente ruidoso. Se deberán mantener relativamente cortas las distancias entre el transductor y el instrumento.

Transductores de presión de salida de voltaje. Los transductores de presión de salida de voltaje incluyen un acondicionador de señales incorporado que

proporciona una salida mucho más alta que un transductor de milivoltios. La salida normalmente es 0-5 Vcc o 0-10 Vcc. Aunque es específica para un modelo, la salida del transductor no es normalmente una función directa de la excitación. Esto significa que con frecuencia las fuentes de energía no reguladas son suficientes siempre y cuando caigan dentro de un rango de energía especificado. Debido a que tienen una salida de nivel más alto, estos transductores no son tan susceptibles al ruido eléctrico como los transductores de milivoltios y por lo tanto se pueden usar en muchos más entornos industriales.

Transductores de presión de salida de 4-20 mA. Estos tipos de transductores también se usan como transmisores de transmisor. Puesto que una señal de 4-20mA es menos afectada por el ruido eléctrico y la resistencia en los alambres de señal, estos transductores se usan cuando la señal debe transmitirse por distancias grandes. Con frecuencia estos transductores se usan en aplicaciones en la que el alambre debe tenderse 1000 pies o más.

Los sensores de presión que se usaron en el sistema son el Transmisor de presión de manómetro en línea con el modelo de EJA530E de la marca Yokogawa.

El transmisor de presión absoluta y de alto rendimiento EJA510E y EJA530E tiene un sensor resonante de silicio monocristalino y es adecuado para medir la presión del líquido, el gas o el vapor. EJA510E y EJA530E emiten una señal de CC de 4 a 20 mA correspondiente a la presión medida. También cuenta con respuesta rápida, configuración remota y monitoreo a través de comunicaciones BRAIN o HART y autodiagnóstico.

Características del EJA530E

- 0.055% de Precisión (0.04% opción)
- 0.1% de Estabilidad por 10 años
- 90 milisegundos de Tiempo de Respuesta
- Certificación Exida y TUV SIL2 / SIL3
- Ajuste de Parámetro Local (LPS)

Sensor de flujo magnético

Rendimiento mejorado y especificaciones

- Excitación de frecuencia dual mejorada Mayor resistencia al ruido de lodos y una conductividad mínima medible de $1 \mu S / cm$.
- Salida de pulso rápido Una tasa de salida de 10 kHz.

La facilidad de uso

- Pantalla LCD de matriz de puntos completa equipada con luz de fondo.
- Configuración desde fuera de la carcasa con interruptores infrarrojos.
- Mantenimiento más fácil a través del diagnóstico de adhesión de electrodos y electrodos reemplazables.

Línea de productos ampliada

1. Tipo de conexión de brida ultra pequeña disponible.
2. Mayor tamaño y opciones de conexión para el tipo sanitario.

El ADMAG AXF cuenta con una precisión del 0,2% en el momento del envío, este logro se realizó reevaluando los productos anteriores y varias innovaciones tecnológicas diversas, que se describen a continuación:

Principio de los medidores de flujo magnéticos

Este principio(Figura) se puede resumir de la siguiente manera: Cuando el fluido pasa a una velocidad de flujo v a través de una tubería con un diámetro D , dentro del cual una densidad de flujo magnético de B es creada por una bobina de excitación, la siguiente fuerza electromotriz E es generada en proporción a la velocidad del flujo:

$$E = \alpha BvD$$

$$\text{Flujo } Q = kv = k'E$$

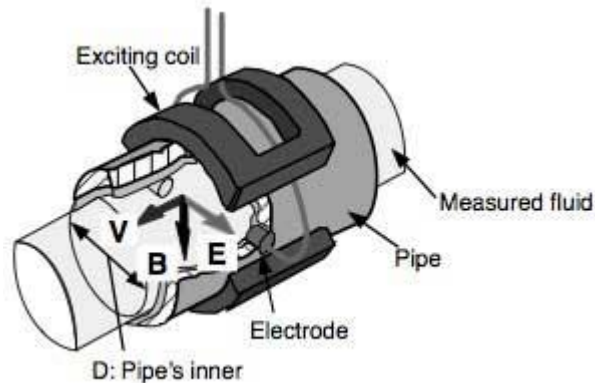


Figura 10 principio de medición

Análisis del campo magnético

Se utiliza el análisis numérico de los campos magnéticos en gran medida, esta técnica nos permitió analizar libremente las distribuciones de campos magnéticos que están sujetas a diferentes condiciones. Estos datos de distribución del campo magnético se pueden usar posteriormente para obtener una relación lineal entre los caudales medidos por un medidor de flujo magnético y las velocidades de flujo.



Estilo: S1

Tamaño: 50 mm

Metro (L): 0.9858

Factor (H): 0.9364

Presión del fluido: 1 Mpa MAX

Temperatura del fluido: -10 a 160 °C

Temperatura Ambiente: -10 a 60 °C

Figura 11 Serie ADMAG AXF sensor de flujo magnetico



Estilo: S1

Suministro: 24 VDC ~50/60 Hz 30VA 12W

Salida: Corriente 4-20n mA(0-750Ω)

PLS 30 VDC 0.2A MAX

Temperatura ambiente: -40 a 50 °C

Figura 12 Serie ADMAG AXF sensor de flujo magnetico

Electroválvulas

Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el flujo (ON-OFF) de un fluido. Están diseñadas para poder utilizarse con agua, gas, aire, gas combustible, vapor entre otros. Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o pvc. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula.

En las válvulas de 2 vías, normalmente se utilizan las que funcionan con tres modalidades diferentes, dependiendo del uso que están destinadas a operar; pueden ser de acción directa, acción indirecta y acción mixta o combinada, además cada una de estas categorías puede ser Normalmente Cerrada (N.C.) o Normalmente Abierta (N.A.) , esto dependiendo de la función que va a realizar ya sea que esté cerrada y cuando reciba la señal a la solenoide abra durante unos segundos, o que esté abierta y cuando reciba la señal la solenoide corte el flujo.

Acción directa

El comando eléctrico acciona directamente la apertura o cierre de la válvula, por medio de un embolo.

La diferencia entre la válvula N.C. a la N.A. de acción directa es que, cuando la válvula N.C. no está energizada el embolo permanece en una posición que bloquea el orificio de tal manera que impide el flujo del fluido, y cuando se energiza la bobina el embolo es magnetizado de tal manera que se desbloquea el orificio y de esta

manera fluye el fluido. La N.A. cuando la bobina no está energizada mediante la acción de un resorte el embolo se mantiene en tal posición que siempre está abierta y cuando se energiza la bobina la acción es hacia abajo empujando el resorte haciendo que cierre el orificio e impida que fluya el fluido.

Acción Indirecta

La característica principal de la válvula del tipo acción indirecta es que cuando recibe el comando eléctrico se acciona el embolo el cual permite a su vez como segunda acción, o acción indirecta, que el diafragma principal se abra o se cierre, en una acción indirecta. Esta serie de válvulas necesita una presión mínima para poder funcionar correctamente. También en esta serie de comando indirecto tenemos válvulas normalmente cerradas y válvulas normalmente abiertas.

Acción Mixta

En las válvulas de Acción Mixta o Combinada una característica es que no requieren una presión mínima como las de acción indirecta. Estas válvulas al igual que las de acción indirecta el comando de abertura se hace en 2 tiempos, primero se vacía la presión superior del diafragma grande y después, segunda acción, la presión de abajo del diafragma lo empuja para que se abra. Además, el embolo está sujetado por medio de un resorte al diafragma grande y este resorte acelera la acción de la presión de abajo hacia arriba para abrir el mismo diafragma, esta es la segunda etapa de apertura.

Estas válvulas de acción mixta pueden ser ya sea normalmente abiertas o normalmente cerradas.

En las válvulas de acción mixta y de acción indirecta, los diafragmas que se utilizan dependen del material que vaya a fluir a través de ellas. Los diafragmas pueden ser de BUNA, VITON o TEFLON debido a que cada uno de estos diafragmas tiene ciertas características. Por ejemplo el diafragma de BUNA soporta temperaturas de (-10+90 C) y es recomendado para agua, aire, gas inerte. En el caso del VITON

soporta temperaturas más altas (-10+140 C) y se recomienda para aceite ligero, gasolina, diésel. En el caso del TEFLON soporta temperaturas (-10+180 C) este se recomienda para vapor debido a la temperatura que puede soportar y que el teflón es más resistente.

La electroválvula que se instrumentó en el sistema fue un Rain Bird modelo 100–HV con las siguientes especificaciones:

Presión: 1,0 a 10,3 bares. Caudal: 0,05 a 6,82 m³/h; para caudales inferiores a 0,68 m³/h; o para cualquier aplicación en riego localizado, use el filtro RBY-100-200MX instalado en la parte anterior. Temperatura: temperatura máxima del agua de 43°C; temperatura ambiente máxima de 52°C.



Figura 13 Electrovalvula Rain Bird Modelo 100- HV (Hembra x Hembra)

Especificaciones eléctricas

Electrovalvula de 24 V de CA a 50/60 HZ. Corriente de entrada máxima: 0,250 Amperios a 60 Hz. Corriente de retención: 0,143 Amperios a 60 Hz. Resistencia de la bobina: 52 a 55 Ohmios.

Software

NI-DAQmx

El software de NI-DAQmx va más allá de un controlador básico de adquisición de datos y le brinda mayor productividad y rendimiento en el desarrollo de aplicaciones DAQ y control. Controla cada aspecto de su sistema DAQ (incluyendo dispositivos de acondicionamiento de señales de NI), desde la configuración a la programación en LabVIEW, hasta el control a nivel del sistema operativo y del dispositivo. Obtenga rápidamente datos del mundo real con canales virtuales listos para medir y el DAQ Assistant. Construya sus aplicaciones con VIs específicos para medida, funciones, tipos de datos e integraciones de análisis. Obtenga sus medidas más rápido y de manejar más fiable con transferencia de datos por DMA optimizada y E/S de un solo punto. NI-DAQmx funciona con LabVIEW, SignalExpress, LabWindows/CVI, C/C++, Visual Basic, Visual Basic .NET y C#. Junto con LabVIEW, NI-DAQmx es una de las principales razones por las que National Instruments es líder en la instrumentación virtual y DAQ basada en PC.



Figura 14 Disco de instalación del NI-DAQmx

MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory, “laboratorios de matrices”). Software matemático con entorno de desarrollo integrado (IDE) que tiene un lenguaje de programación propio (Lenguaje M) y es multiplataforma (Unix, Windows y Apple Mac Os X). Software de un gran uso en Centros de Investigación y Desarrollo, así como en universidades.



Figura 15 Logo del software de MATLAB

Funciones

Dentro de sus principales funciones se encuentran:

- Manipulación de Matrices.
- La representación de datos y funciones.
- Implementación de algoritmos.
- Creación de interfaces de usuario (GUI).
- Comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos Hardware.
- Herramientas Adicionales
- Simulink (plataforma de simulación multidominio).
- GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI).

Y también se pueden ampliar sus capacidades con las cajas de herramientas de MATLAB, y con los paquetes de bloques de Simulink.

Capítulo 3: desarrollo

Cronograma

Tabla 1 cronograma de actividades

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Instalación y calibración de sensores/transmisores de presión y caudal en la red hidráulica prototipo.																
Instalación y ajuste de electroválvulas para simular fugas en la red hidráulica prototipo.																
Diseño y programación de interfaces en MATLAB y LabVIEW para controlar los sensores y actuadores.																
Revisión del estado del arte sobre técnicas de detección de fugas en tuberías.																
Programación de técnicas conocidas de diagnóstico de fugas en MATLAB y LabVIEW.																
Prueba de las técnicas de diagnóstico de fugas en la red hidráulica prototipo.																

Funcionamiento del sistema de fugas de serpentín.

En el laboratorio de hidráulica se tiene un serpentín con lo que cuenta con sensores (presión caudal) y electroválvulas, las cuales se utilizar para la simulación de fugas en el sistema.



Figura 16 electroválvula del sistema serpentín.

El sistema funciona con una bomba de 5HP que está a 220 volts con un variador de frecuencia, se configura ese variador a 40 hz y se enciende la bomba.



Figura 17 bomba de 5HP y variador de frecuencia

El serpentín cuenta una simulación de 4 fugas que se encuentran puestas aleatoriamente definidas como la variable Z1, Z2, Z3, Z4.

Al encender la bomba se empieza a extraer el agua de un tinaco de 2500 litros, el fluido pasa por la tubería y se vuelve a deposita en el mismo tinaco, este sistema contiene 4 sensores, dos sensores (caudal y presión) al inicio y los otros dos (caudal y presión) al final.

Cada vez que active una electroválvula se simula una fuga el agua cae en un contenedor, Cada fuga simulada contiene unos contenedores conectados entre sí por medio de tubos. Todo el fluido que cae de la fuga se va directo a un tinaco de menor capacidad. El tinaco de menor capacidad contiene una bomba de 1/2HP su

función es mandar el agua al tinaco de 2500 litros. En la siguiente imagen se puede apreciar el diagrama del sistema.

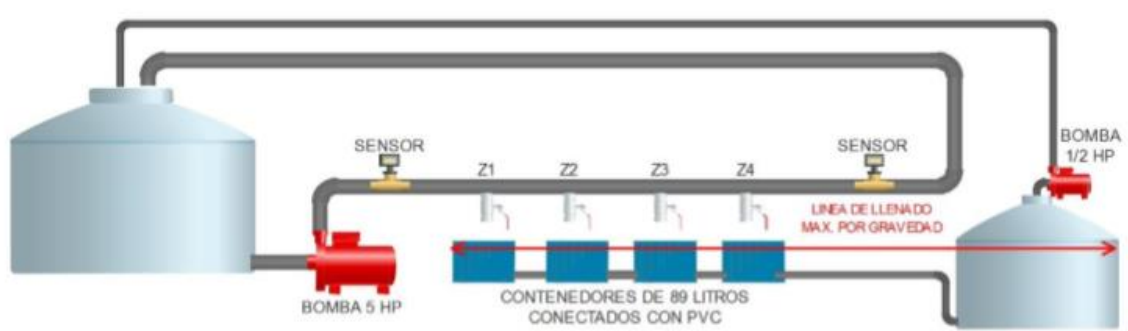


Figura 18 Diagrama del sistema de fugas de serpentín

Los sensores (caudal y presión) son controlados por una DAQ NI 9203 programado especialmente para obtener datos en un cierto tiempo deseado, por lo general las válvulas se abren cada 3 minutos (180 segundos) y se toman tiempos de 15, 12, 9 minutos. En el primer programa se muestra la obtención de datos de este sistema mientras que el segundo muestra la conversión de corriente a litros por minuto para caudales y la conversión de corriente a kilo pascales para presiones.

```

captura_ok.m
1 function [t,u,y]= captura(duracion,TEMP,archivo)
2 if nargin < 1
3     duracion = 900;
4     TEMP = 27;
5     archivo = 'prueba';
6 end
7 s = daq.createSession('ni');
8 addAnalogInputChannel(s,'cDAQ1Mod1',0:3,'Current');
9 s.Rate = 1000;
10 s.DurationInSeconds = duracion;
11 disp('Pulsa una tecla para iniciar...')
12 pause
13 disp('Capturando...')
14 [datos,t] = s.startForeground;
15 disp('Finalizado')
16 u = datos(:,1:2); % presiones
17 y = datos(:,3:4); % caudales
18 [t,u,y] = mapeo(t,u,y,TEMP);
19 subplot(211); plot(t,u)
20 subplot(212); plot(t,y)
21 save(archivo,'t','u','y','TEMP')
22 end

```

Figura 19 Programa para la obtención de datos y gráficas del sistema de fugas

```

1 function [t,u,y] = mapeo(t,u,y,T)
2 if nargin < 4
3     T = 27;
4 end
5 datos = [0,0.99987;
6 4.0,1.00000;
7 4.4,0.99999;
8 10,0.99975;
9 15.6,0.99907;
10 21,0.99802;
11 26.7,0.99669;
12 32.2,0.99510;
13 37.8,0.99318;
14 48.9,0.98870;
15 60,0.98338;
16 71.1,0.97729;
17 82.2,0.97056;
18 93.3,0.96333;
19 100,0.95865];
20 rho = 1000*interp1(datos(:,1),datos(:,2),T);
21 g = 9.7827577922898;
22 c1 = polyfit([4e-3,20e-3],[0,1e5]/rho/g,1);
23 u(:,1) = polyval(c1,u(:,1));
24 c2 = polyfit([4e-3,20e-3],[0,1e5]/rho/g,1);
25 u(:,2) = polyval(c2,u(:,2));
26 c3 = polyfit([4e-3,20e-3],[0,500],1);
27 y(:,1) = polyval(c3,y(:,1));
28 c4 = polyfit([4e-3,20e-3],[0,500],1);
29 y(:,2) = polyval(c4,y(:,2));
30 y = y/60000;

```

Figura 20 Programa para la conversión de corriente a litros por minuto (Caudal) y a kilo pascales (presión)

Al término del tiempo en el que se ha indicado al programa se obtienen los siguientes resultados plasmados en una gráfica, y esos datos se guardan en un archivo .m, a continuación, se muestra una gráfica de una prueba que se obtuvo.

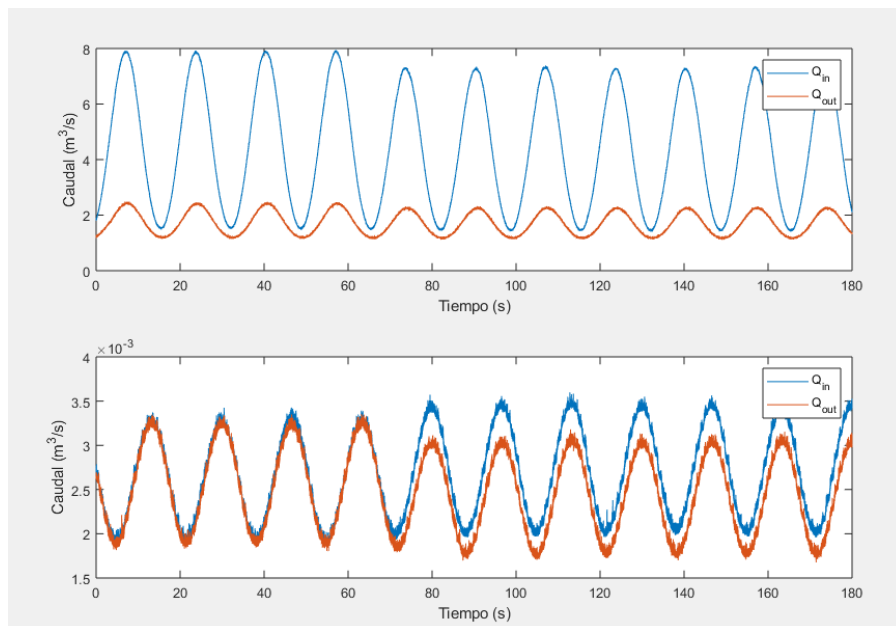


Figura 21 graficas de mapeo con una fuga a 55 hz.

La grafica mostrada con anterioridad es de una simulación de 1 fuga de la válvula 3 con un tiempo de 3 minutos. Los datos que se obtienen son para hacer cálculos para poder así detectar a que distancia se encuentra la fuga y los litros por minuto que se pierden. Así como también se le aplica una variación sin 20.

Desarrollo de la instrumentación y programación del sistema

Se hizo programas para poder controlar las electroválvulas, una de ellas fue utilizando el software de LabVIEW, este software su tipo de programación está basado por bloques cosa que era un poco más sencillo de utilizar. Para la adquisición de datos se utilizaros las tarjetas DAQ NI 9203 y NI 9401. La siguiente imagen muestra el sistema de como quedo el control de las electroválvulas.

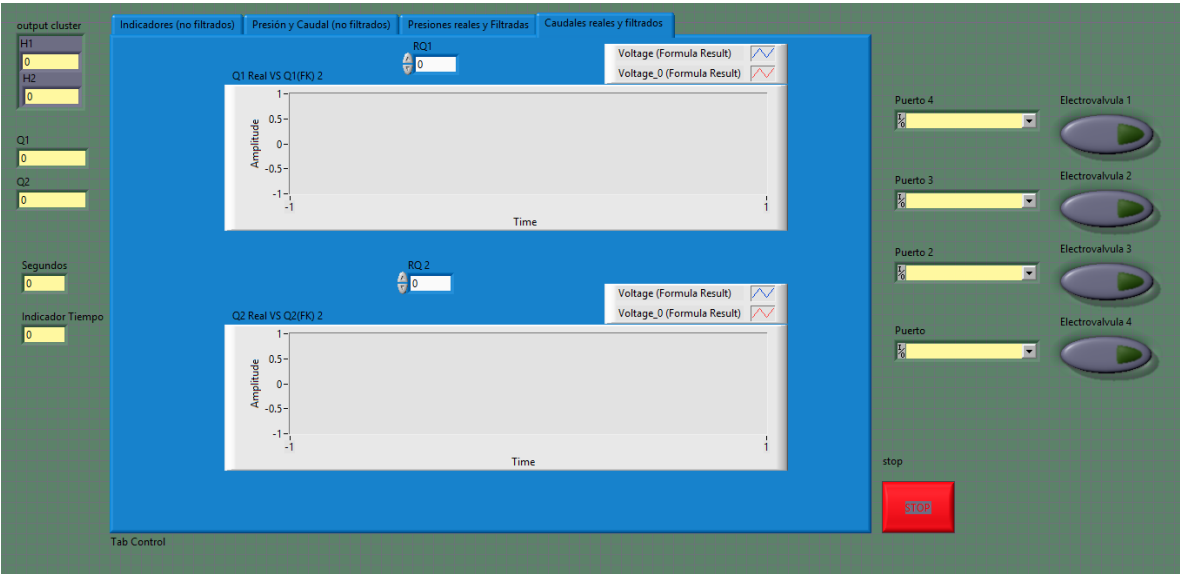


Figura 22 interfaz gráfica de control del sistema en LabView

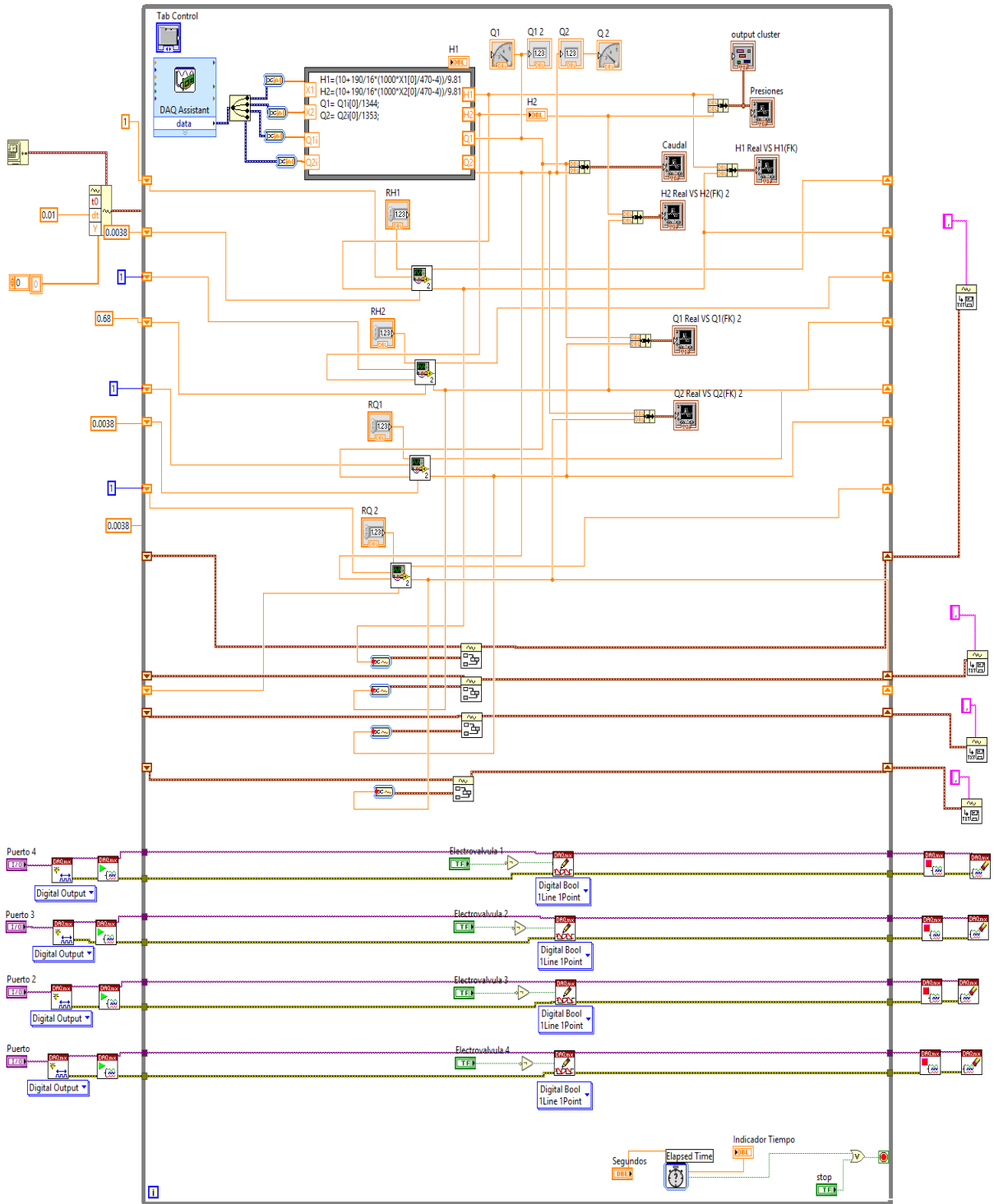


Figura 23 programación a bloques del sistema de control

El funcionamiento del control de las electroválvulas fue bastante bueno ya que el programa funcionó correctamente. Prácticamente se probó con el módulo de relevadores ya que el módulo contenía leds indicando que la señal que se había

enviado era la correcta. Se fue probando cada una de los leds que tenía el modulo como se muestra en la siguiente figura.

Además de obtener buenos resultados al mandar los datos que obtenía a la pantalla con los gráficos con la comparación de la salida del sistema vs la entrada de este.

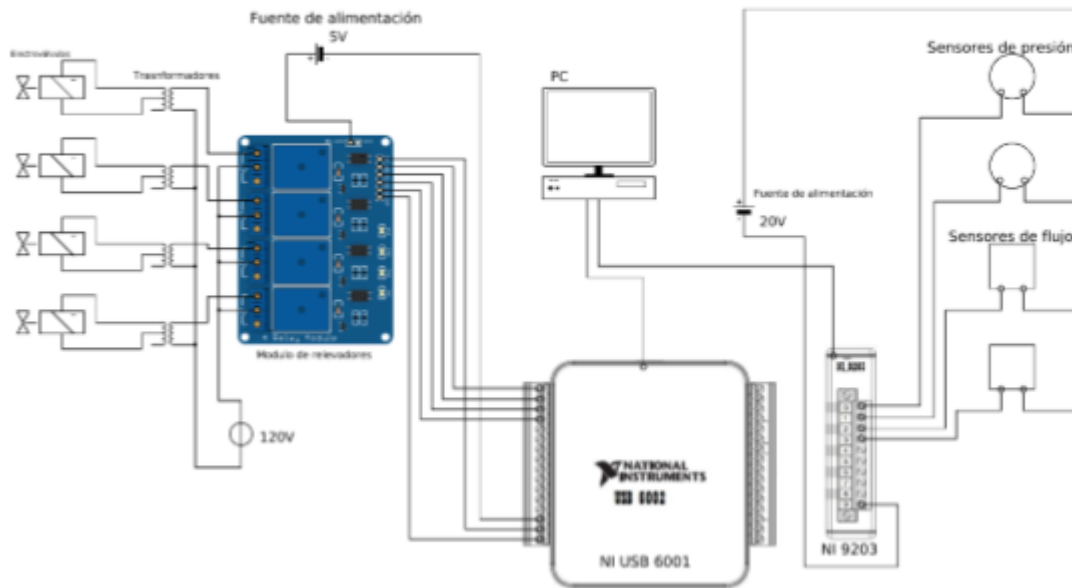


Figura 24 Diagrama 2 conexión de todo el sistema de fugas

Conclusión

A largo de nuestro trabajo conocimos cómo el problema de las fugas en las redes hidráulicas tienen consecuencias que nos afectan a todos, desde el desabastecimiento de líquidos tan importantes como el agua y la gasolina, como la contaminación que este último puede ocasionar tanto al ecosistema como a los seres vivos. Investigamos sobre los antecedentes de las técnicas para la detección fugas en las redes hidráulicas, ya que estos serían nuestros conocimientos bases sobre el tema.

Una de las mayores ventajas de nuestro sistema son los sensores de calidad industrial, ya que gracias a la novedosa tecnología que estos contienen nos entregan datos más precisos de nuestro sistema, también gracias a sus materiales de máxima calidad no necesitan ser recalibrados en un periodo aproximado de 10 años, y al no necesitar mantenimiento no produce un gasto extra.

La inclusión del variador en el sistema es indispensable, ya que al variar la frecuencia con la que la bomba suministra el agua al sistema se puede asimilar más a las condiciones de la vida real, es decir que todo varia.

La interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW nos permite tener un control remoto sobre nuestro sistema, desde el sistema de adquisición de datos, hasta la activación de las electroválvulas, gracias a esto nuestro sistema puede ser controlado desde una instalación remota.

Sin duda el sistema implementado nos da un excelente resultado, pero puede ser mejorado con ajustes en el futuro, como por ejemplo tener más pisos en la tubería, tener más salidas en nuestro sistema, tener una mejor toma de muestra de nuestra tubería para ser analizada por los sensores, entre otras.

Referencias

- [1] Fonseca Pérez Jonathan Duvan, R. S. (2017). *Detección y localización de fugas en las redes de agua potable del acueducto Acuararrayan (San Francisco, Cundinamarca) mediante electroacústica y análisis de presiones*. Bogota.
- [2] Hernández, J. R. (Junio, 2017). *Detección y localización de fugas en ductos*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- [3] José L. Sánchez Bribiesca, Ó. A. (1996). MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS MAYORES. En Ó. A. José L. Sánchez Bribiesca, *DETECCIÓN DE FUGAS EN REDES DE AGUA POTABLE* (págs. 56-68).
- [4] Kuromori Ken-ichi, G. S. (1988). "*Medidores de flujo magnéticos de la serie ADMAG que utilizan excitación de doble frecuencia*". Informe técnico de Yokogawa.
- [5] Romero Tapia, E. G. (2017). *Localización Óptima de Sensores para Detectar Fugas en Sistemas de Distribución de Agua Potable*. Valladolid.
- [6] Sánchez B. J. L., F. M. (1995). *Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Distrito Federal*. Instituto de Ingeniería. México D.F.: UNAM.
- [7] Vela A., M. F.-S. (1994). *Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento*. Ingeniería del agua. Valencia, España.
- [8] Jowitt, P. (1995). Análisis del impacto de las roturas de tubería en redes de distribución. Mejora de rendimiento y fiabilidad en sistemas de distribución de agua. Curso UIMP.
- [9] Sánchez B. y Fuentes M. Método para detectar fugas mayores en una red de agua potable. Revista Ingeniería del Agua, Universidad Politécnica de Valencia, España, 3(1), marzo 1996, ISSN 1134–2196.

[10] Arreguín F., Ochoa L. y Fernández A. Evaluación de pérdidas en redes de distribución de agua. TLALOC-AMH, Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Hidráulica (AMH), No.10. 1997.

ANEXO



Figura 25. Soportes diseñados para para la ampliación a dos pisos de la planta piloto e instrumentación



Figura 26. Armado de la planta piloto

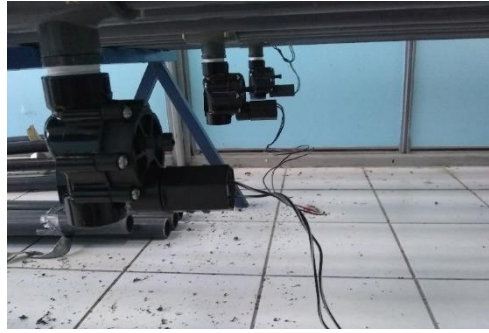


Figura 27. Instrumentación de la planta piloto



Figura 28. Ampliación de la planta piloto