

**DESARROLLO DEL COMISIONAMIENTO Y LA PUESTA EN MARCHA DEL
BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS EN EL
LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA
BOLIVARIANA**

**KATERIN CRISTINA GUTIERREZ PALACIO
JORGE EDUARDO VÁSQUEZ MARTÍNEZ**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2016

**DESARROLLO DEL COMISIONAMIENTO Y LA PUESTA EN MARCHA DEL
BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS EN EL
LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA
BOLIVARIANA**

**KATERIN CRISTINA GUTIERREZ PALACIO
JORGE EDUARDO VÁSQUEZ MARTÍNEZ**

PROYECTO DE GRADO

**JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2016

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, junio de 2016

Bucaramanga, Junio de 2016

Dedico este triunfo, primero a Dios que con su inmensa gloria me dio la sabiduría, la fortaleza y la constancia día a día, para seguir adelante con este trabajo de investigación.

A mis padres Luis Alfonso y Emilia Elena, por ser esa voz de aliento en cada uno de los momentos de mi vida, por su confianza, sacrificios y ayudarme a construir lo que soy hoy y ver el mañana con mayor posibilidad de amar.

A mi hijo Luis Alejandro, quien con su mirada y sonrisa me motiva cada día a seguir adelante hacia la superación.

A mi esposo Luis Carlos, por el tiempo que le quite para poder alcanzar esta meta y quien me ha apoyado incondicionalmente en este proceso de formación.

A mis hermanos Kevin Alfonso y Steffany Carolina, demás familiares que me acompañaron y ayudaron en el transcurso de mis estudios, a todos ellos le agradezco por aportar en mi formación profesional.

A mis compañeros y a la Universidad Pontificia Bolivariana, por la oportunidad de formación, por la calidad de sus tutores y docentes, asignados en el proceso educativo, lo que me permitió la culminación de este proyecto de investigación.

Katerin Cristina Gutiérrez Palacio

Bucaramanga, Junio de 2016

A Dios, el creador del cielo y de la tierra por darme la sabiduría e iluminar mi camino todos los días, por hacerme ver millones de veces que en verdad existe.

A mi abuelita hermosa que ahora me acompaña desde el cielo, por creer en mí, por brindarme su apoyo incondicional en el peor momento, por su cariño y confianza que me dio durante los años y últimos días de su vida que aunque no alcance a cumplir la promesa de acompañamiento en esta etapa de mi vida siento su acompañamiento de manera divina.

A mi mama por su gran esfuerzo, por su apoyo constante y sus sabios consejos y por enseñarme a luchar por mis sueños día a día.

Y a todas esas personas que se tomaron un instante de su tiempo en enseñarme y acompañarme en mi formación integral como persona y ser humano.

Jorge Eduardo Vásquez Martínez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su compañía y por darnos la fuerza para culminar con esta meta.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por permitirnos hacer este proyecto en sus instalaciones.

Al ingeniero Juan Carlos Mantilla Saavedra por darnos su voto de confianza, por el tiempo dedicado, por su apoyo incondicional, su orientación y direccionamiento quien hizo su valioso aporte desde el transcurrir de su conocimiento académico hoy alcancemos esta meta.

Al equipo del laboratorio de Ingeniería Electrónica, por su acompañamiento, colaboración y brindarnos las herramientas para que se hiciera posible este trabajo.

A la ingeniera Jessica Ariza por colaborarnos y proporcionarnos soporte para la implementación de la interfaz gráfica.

CONTENIDO

GLOSARIO	12
INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES DEL MÓDULO DE NIVEL.....	16
1.1 FASE I: ESPECIFICACION Y DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS.....	17
1.2 FASE II: IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS.....	18
1.3 REFERENTES DEL ENTORNO INDUSTRIAL.....	20
1.3.1 Visita Técnica al Instituto Nacional de Metrología INM.....	20
2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL PROCESO Y SISTEMA BPCS.....	22
2.1 REVISIÓN Y AJUSTE DEL CABLEADO.....	22
2.2 MANTENIMIENTO A LOS TANQUES DEL PROCESO.....	23
2.3 MANTENIMIENTO DE LA BOMBA.....	25
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MODULO DE NIVEL	27
3.1 NORMATIVIDAD.....	27
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	30
3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA.....	32
3.3.1 Interfaz Gráfica HMI.....	32
3.3.1.1 Característica de Diseño de Trabajo en Base a las Normas.....	33
3.3.1.2 Código de Comunicación de Software para Suprimir Tiempos en Lectura de Canales y Direccionamiento del Canal.....	34
3.3.1.3 Supervisión y Monitoreo en la HMI.....	37
3.3.1.4 Código Dd Lectura para el Llenado y Vaciado del Tanque.....	38
3.3.2 Gestión de Alarmas	40
3.3.2.1 Código del Programa de Gestión de Alarmas.....	42
3.3.3 Control de Proceso.....	43
3.3.3.1 Código del Programa de Control.....	44
3.3.4 Historización y Generación de Proceso.	45
3.3.4.1 Código del Programa Grafico de Sensores.....	47
3.3.5 P&ID (PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM).....	48
4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD.....	49
4.1 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES.....	49
4.1.1 CALIBRACIÓN LEVELFLEX-FMP52 Y MICROPILOT FMR51	49
4.1.2 CALIBRACIÓN LIQUICAP MFM 151	52
4.1.3 CALIBRACIÓN DELTAPILOT M FMB50	52
4.2 PRUEBA N°1: TANQUE TK-10.....	53
4.3 PRUEBA N°2: TANQUE TK-20.....	55
4.4 PRUEBA N°3: TURBULENCIA.....	57
4.5 CALIBRADOR UNIVERSAL HART.	59
4.5.1 CONEXIÓN BUS HART MULTIPUNTO.....	59
4.5.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO.....	60

5. PRACTICA DE LABORATORIO.....	68
5.1 GUÍA DE LABORATORIO (RESUMEN).....	68
5.2 PRESTACIÓN DE SERVICIOS.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
CONCLUSIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	77
ANEXO A.....	79
ANEXO B.....	80
ANEXO C.....	81
ANEXO D.....	82
ANEXO E.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: DISEÑO DEL MÓDULO DE NIVEL FASE I	18
FIGURA 1-2: IMPLEMENTACION DEL MÓDULO FASE II.....	19
FIGURA 1-3: VISITA AL INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA INM.....	21
FIGURA 2-1: CORRECCIÓN DEL CABLEADO	22
FIGURA 2-2: INSTALACIÓN DE LA T NEUMATICA EN LA VÁLVULA DE AIRE..	23
FIGURA 2-3: TANQUES DE ALMACENAMIENTO	24
FIGURA 2-4: DESINSTALACIÓN DE LOS TANQUES DE PROCESO.....	24
FIGURA 2-5: DESINSTALACIÓN DE LA BOMBA.....	25
FIGURA 2-6: INSTALACION DE LA BORNERA EN LA BOMBA.....	26
FIGURA 2-7: MANTENIMIENTOS DE LOS TANQUES.....	26
FIGURA 3-1: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DEL MÓDULO DE NIVEL	30
FIGURA 3-2: SISTEMA COMPACTRIO.....	31
FIGURA 3-3: INTERFAZ HMI MÓDULO NIVEL.....	34
FIGURA 3-4: AM-9898 HART SCAN DEVICES FIXED, DIAGRAMA DE BLOQUES.....	36
FIGURA 3-5: SUPERVISIÓN Y MONITOREO DE FLUJO DE LLENADO Y VACIADO DEL SISTEMA.....	37
FIGURA 3-6: CÓDIGO DE LECTURA DE LA VARIABLE PRIMARIA.....	38
FIGURA 3-7: CLASIFICACION DE POSICIÓN A CADA SENSOR PARA SU VISUALIZACIÓN EN LA VI.....	39
FIGURA 3-8: ANIMACIÓN DE LLENADO DE LOS TANQUES.....	40
FIGURA 3-9: SISTEMA DE LLENADO TK-10, POSICIÓN DE ALARMA DE NIVEL INTERMEDIO TK-10A Y POSICIÓN DE ALARMA DE NIVEL BAJO TK- 20.....	41
FIGURA 3-10: CÓDIGO DE ALARMA DE NIVEL ALTO, BAJO E INTERMEDIO DE LOS TK-10 Y TK-20.....	42
FIGURA 3-11: PESTAÑA DE CONTROL DE ELECTROVÁLVULAS, VÁLVULAS DE AIRE, BOMBA Y PARADO DE EMERGENCIA.....	43

FIGURA 3-12: LECTURA Y ESCRITURA DE CONTROL DE LOS ACTUADORES DE MÓDULO DE NIVEL EN LA TARJETA FPGA DE COMPACTRIO9075.....	44
FIGURA 3-13: ENCLAVADO DE PANELES DE CONTROL PARA LA SEGURIDAD DEL SISTEMA Y SET POINT DE CONTROL.....	44
FIGURA 3-14: PESTAÑA ADQUISICIÓN DE DATOS-HISTÓRICO DE LECTURA DE SENSORES.....	46
FIGURA 3-15: AUTO-ESCALA DE LOS SENSORES	46
FIGURA 3-16: ADQUISICIÓN DE DATOS EN LA PLATAFORMA EXCEL.....	47
FIGURA 3-17: CÓDIGO DEL HISTORIAL DE LOS SENSORES.....	47
FIGURA 3-18: P&ID SINCRONIZADO CON LOS ETIQUETADOS DEL HMI.....	48
FIGURA 4-1: CALIBRACIÓN LLENO DEL SENSOR LEVELFLEX-FMR52 T.....	50
FIGURA 4-2: CALIBRACIÓN LLENO DEL SENSOR LEVELFLEX-FMR52 T.....	51
FIGURA 4-3: CALIBRACIÓN VACÍO DEL SENSOR LEVELFLEX-FMR52.....	51
FIGURA 4-4: SENSOR LIQUICAP M FM151 TK-10B LLENO.....	53
FIGURA 4-5: SENSOR MICROPILOT FMR51 TK-10A LLENO.....	54
FIGURA 4-6: SENSOR LEVELFLEX-FMP52 TK-20 VACÍO.....	54
FIGURA 4-7: SENSOR DELTAPILOT M FMB50 TK-20 VACÍO.....	55
FIGURA 4-8: LECTURA DEL SENSOR DELTAPILOT M FMB50 TK-20 LLENO..	55
FIGURA 4-9: LECTURA DEL SENSOR MICROPILOT FMR51 TK-10A VACÍO....	56
FIGURA 4-10: LECTURA DEL SENSOR LIQUICAP M FM151 TK-10B VACÍO....	56
FIGURA 4-11: LECTURA DEL SENSOR LEVELFLEX-FMP52 TK-20 LLENO.....	57
FIGURA4-12: LECTURA EN PANTALLA DE LOS SENSORES EN LOS TANQUES TK-10A Y TK20 SIN TURBULENCIA.....	58
FIGURA 4-13: LECTURA EN PANTALLA DE LOS SENSORES EN LOS TANQUES TK-10A Y TK20 CON TURBULENCIA	59
FIGURA 4-14: CONEXIÓN DEL CALIBRADOR UNIVERSAL HART CON LOS SENSORES.....	60
FIGURA 4-15: MENÚ PRINCIPAL COMUNICADOR 475 EMERSON.....	61
FIGURA 4-16: MENÚ PRINCIPAL APLICACIÓN HART.....	61
FIGURA 4-17: IDENTIFICACIÓN DE LOS SENSORES.....	62
FIGURA 4-18: SELECCIÓN 0.....	63

FIGURA 4-19: MENÚ DEL SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL.....	64
FIGURA 4-20: MENÚ SETUP.....	65
FIGURA 4-21: MODO DE MEDICIÓN.....	65
FIGURA 4-22: DIFERENTES UNIDADES.....	66
FIGURA 4-23: CALIBRACIÓN DEL SENSOR.....	66
FIGURA 5-1: MÓDULO NIVEL.....	69
FIGURA 5-2: CURVAS DE NIVEL ASCENSO Y DESCENSO.....	71
FIGURA 5-3: ACOMPAÑAMIENTO A ESTUDIANTES DE LA ESPECIALIZACIÓN	73

GLOSARIO

Comisionamiento: Constituyen a las verificaciones dinámicas de cada elemento (eléctrico, instrumentación, tubería y equipos) que permitan acondicionar a las instalaciones que integran los sistemas operativos para iniciar las actividades de arranque. [2]

Puesta en marcha: Esta fase se inicia en el momento que la primera gota de fluidos de procesos y la primera molécula de gases de proceso llega a los sistemas, equipos y tuberías de las instalaciones, verificando que las condiciones de operaciones son óptimas para iniciar la medición. [17]

HART: (transductor remoto direccionable en red) Es el estándar mundial para enviar y recibir información digital a través de cables analógicos entre dispositivos inteligentes y el sistema de control o de monitoreo. [4]

Dispositivo: Cualquier artefacto aparato o instrumento usado para hacer una medición. [4]

Transmisor: Instrumento que captan y transmite la información de la variable de nivel obtenida a un receptor ya sea indicador, registrador o controlador. [4]

LabVIEW: Plataforma de desarrollo para el diseño de sistemas, con lenguaje de programación visual gráfica.

Micropilot FMR51: Sensor de nivel por radar.

Liquicap M FMI51: Sensor de nivel por capacitancia.

Deltapilot M FMB50: Sensor de nivel por presión hidrostática.

Levelflex FMP52: Sensor de nivel de radar por onda guiada.

CompactRIO-9075: Sistema integrado que combina un procesador en tiempo real y FPGA reconfigurable en el mismo chasis para aplicaciones embebidas de monitoreo y control de máquinas. Posee cuatro ranuras para módulos de E/S de la Serie C. [4]

PVD: Pantalla de visualización de datos.

ESD: Emergency Switch Down.

VDU: Visual Display Unit.

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

RCM: Red Colombiana de metrología.

Galvanizar: Cubrir un metal con una ligera capa de otro metal por medio de la corriente eléctrica o por otro procedimiento; especialmente, cubrir el hierro con una capa de cinc para que no se oxide. [1]

Purgar: Acción de extraer el aire de la bomba para un mejor funcionamiento de la misma.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DESARROLLO DEL COMISIONAMIENTO Y LA PUESTA EN MARCHA DEL BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

AUTOR(ES): Jorge Eduardo Vasquez Martinez
Katerin Cristina Gutierrez Palacio

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): Juan Carlos Mantilla Saavedra

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó el estudio de las ingenierías de diseño y montaje en las dos fases anteriores del módulo de medición de nivel de líquidos, se encontró que el módulo cuenta con tres (3) tanques, dos (2) tanques de almacenamiento principales y un (1) tanque auxiliar. Cada uno de ellos tiene diversos sensores de nivel. Además, poseen cuatro electroválvulas que controlan el flujo de agua entre los tanques y dos válvulas de aire que se encargan de generar turbulencia. Este proyecto describe el desarrollo del comisionamiento y la puesta en marcha de un módulo de medición de nivel de líquidos basado en el pre-comisionamiento de las fases I y II. El módulo hace parte del laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana, y se complementa con diseños adicionales para la medición de flujo y presión. Se implementó un sistema SCADA para la supervisión y control del módulo de nivel, contando con una HMI intuitiva, de fácil operación, integrando los sistemas ESD, mando y control, comunicación HART, cableado, y acondicionamiento de señales para fortalecer la operación automática y segura del módulo de nivel. Adicionalmente, el proyecto incluyó el diseño de una práctica del laboratorio donde integra los conceptos teóricos, prácticos y tecnológicos inherentes a la medición de nivel. Finalmente, se prestaron servicios internos de ensayo a los programas académicos de la Escuela de Ingeniería.

PALABRAS CLAVES:

Comunicación HART, interfaz HMI, Sistema ESD, Sistema SCADA.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DEVELOPMENT OF COMMISSIONING AND LAUNCHING THE BANK OF TEST FOR MEASURING LIQUID LEVEL IN THE LABORATORY INSTRUMENTATION

AUTHOR(S): Jorge Eduardo Vasquez Martinez
Katerin Cristina Gutierrez Palacio

FACULTY: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: Juan Carlos Mantilla Saavedra

ABSTRACT

This dissertation studies the engineering of the design and assembly of the two previous stages of the liquid level measurement unit. It was found that the unit is made up of three tanks: two storage tanks and one back up tank. Each tank have diverse level sensors. Moreover, they have solenoid valves which control the water flow between tanks and two air valves which are responsible for generating turbulence. This project describes the development of the commissioning and the launch of the liquid level measurement unit base on in the pre commissioning of the I and II stages. The Unit is part of the Instrumentation laboratory of the Universidad Pontificia Bolivariana, and it is complemented with additional designs for the pressure and flow measurement. In addition, a SCADA system was implemented in order to supervise and control the level of the unit which have an intuitive HMI of easy operation and integrate: ESD systems, command and control, HART communication, transitions lines and reconditioning signals to strengthen the automatic and safe operation of the level unit. Furthermore, this project includes a design of a laboratory lesson where theoretical, technical and technological concepts attach to the level measurement were included. Finally, internal tests services were provided to the academic programs of the engineering school.

KEYWORDS:

HART communication, HMI interface, ESD system, SCADA system

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica en el sector electrónico de la instrumentación y las comunicaciones, ha propiciado la aparición de nuevos sistemas de medición de nivel para el control y gestión de recursos en el campo industrial. Los beneficios básicos que proporciona una práctica en la variable nivel esta enlazada con la mejora de la calidad del producto, la reducción en los costos de operación y mantenimiento, y el cumplimiento de normatividad y calidad.

La medida de nivel puede ser necesaria con mucha o poca precisión, con indicación del nivel instantáneo o con registro continuo de la medida, con medición local o transmisión a distancia de unos centenas o miles de metros, permitiendo así la autorización para el accionamiento de dispositivos de alarmas y seguridad en los recipientes a presión tanto abiertos como cerrados, para el accionamiento de válvulas y vertederos en la regulación de las centrales hidroeléctricas, para la determinación de la altura de la lámina en los vertederos de medida, entre otros.

La Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana tiene como rama de conocimiento y aplicación la instrumentación de Procesos Industriales. La puesta en marcha de una tercera fase para el módulo parte de un diseño e implementación que se realizó en las fases I y II, donde se establecieron todas las especificaciones técnicas de los tanques de almacenamiento, su montaje y cableado del gabinete de control y potencia. Por lo tanto, este proyecto cubre la necesidad de realizar un sistema SCADA facilitando el manejo del módulo y de los distintos componentes que conforman la medición de líquidos, generando reportes básicos de los diferentes sensores de medición, a partir de sistema de adquisición de datos, control y visualización.

Además, surgió la necesidad de desarrollar una práctica en el laboratorio que sirva como material de apoyo para los programas de posgrado y pregrado de la escuela de ingeniería.

1. ANTECEDENTES DEL MÓDULO DE NIVEL.

La evolución del Módulo de Nivel, consta de tres fases; en la primera fase, se realiza la especificación y el diseño del banco de ensayo; la selección de los componentes: variador de velocidad, la bomba y los diferentes tipos de sensores para la medición de nivel de líquidos; La segunda fase, consistió en la implementación del banco de ensayo del laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana, y ejecución de las primeras pruebas de funcionamiento de los equipos seleccionados en la fase I; la tercera y última fase, se enfoca en el desarrollo del comisionamiento y la puesta en marcha del banco de ensayo para la medición de nivel de líquidos en el Laboratorio de Instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana.

1.1 FASE I: ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS.

El desarrollo de esta primera fase fue con el propósito de especificar y diseñar un banco de ensayo para la medición de nivel de líquidos en el laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana como se muestra en la Figura 1-1.

Este proyecto contempla el diseño de un módulo de nivel de líquidos para la medición de dicha variable mediante la aplicación de diferentes tecnologías, integrando un sistema de adquisición de datos donde se obtendrán las lecturas que arrojan los dispositivos, que permitan evaluar el desempeño de cada uno de ellos, como su precisión, exactitud, histéresis y cualidades propias de un instrumento de medición [3].

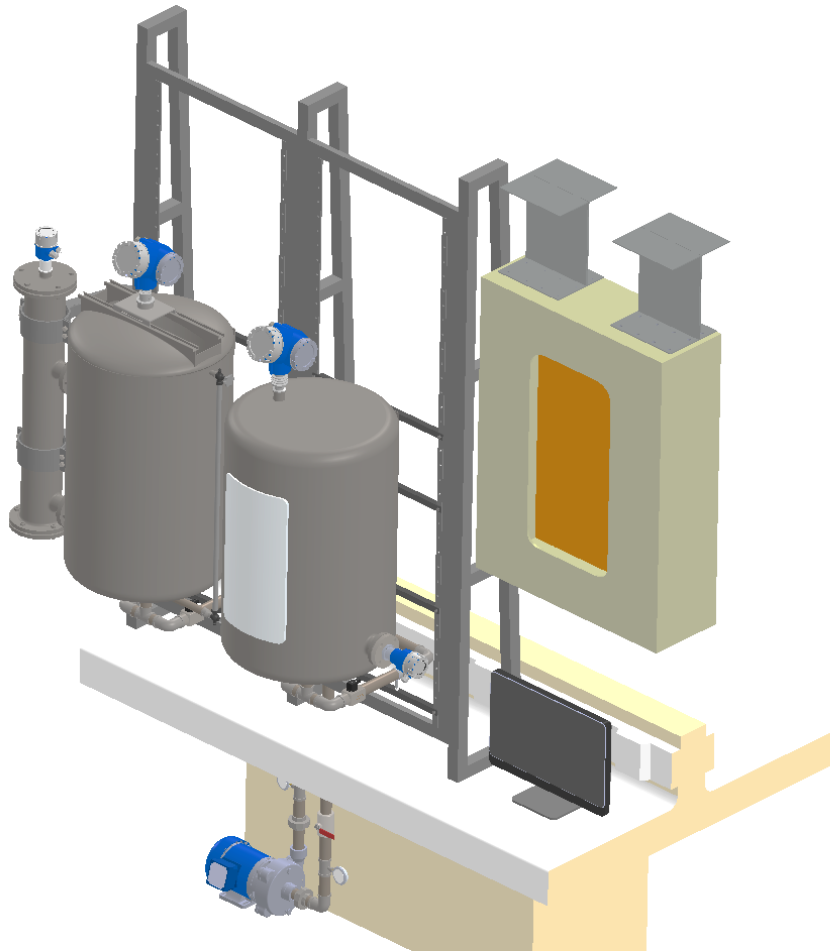


FIGURA 1-1: DISEÑO DEL MÓDULO DE NIVEL FASE I. [3]

1.2 FASE II: IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS.

En esta segunda fase se describe la implementación de un módulo de nivel de líquidos basados en el diseño conceptual propuesto en la fase I. El módulo está compuesto por dos (2) tanques de almacenamientos principales de 247 litros y uno (1) auxiliar, para un total de tres (3) tanques, tal como se muestra en la Figura 1-2.



FIGURA 1-2: IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO FASE II. [4]

El tanque de la derecha se nombrará TK200 mientras que el de la izquierda es TK100A y su tanque auxiliar TK100B. Cada uno de ellos cuenta con sensores de nivel, distribuidos de la siguiente manera:

- TK100A: Sensor de nivel por radar **Micropilot FMR51**
- TK100B: Sensor de nivel por capacitancia **Liquicap M FMI51**
- TK200: Sensor de nivel por presión **Deltapilot M FMB50**; sensor de nivel de radar por onda guiada **Levelflex FMP52**.

Además, el módulo cuenta con cuatro electroválvulas que controlan el flujo de agua entre los tanques y dos válvulas de aire encargadas de generar turbulencia. Cada uno de estos sensores presentan una señal de salida en corriente de 4 – 20 mA, superpuesta con una señal de modulación por cambios de frecuencias FSK, lo cual corresponde al protocolo HART [4].

Adicionalmente, se hicieron una serie de interventorías o acompañamiento a la empresa **Ing&Maquinas** para la elaboración de cada uno de los tanques de

almacenamiento diseñados en la fase I de este proyecto. Por último, se realizó la implementación de adquisición de datos dejando una HMI conceptual.

1.3 REFERENTES DEL ENTORNO INDUSTRIAL.

Para llevar a cabo el presente proyecto, se realizaron visitas técnicas, con el fin de conocer sobre temas relacionado con los métodos de ensayo más utilizados, equipos empleados, métodos de calibración, estándares y metrología.

1.3.1 Visita Técnica al Instituto Nacional de Metrología INM.

El instituto nacional de metrología (ver Figura 1-3) es el encargado de establecer, coordinar y articular la red de Metrología (RCM), presta servicios de calibración con la más alta calidad en el país, contando con 12 laboratorios que manejan magnitudes como:

- Corriente continua y alterna
- Densidad
- Fuerza
- Temperatura y humedad
- Masa y balanza
- Metrología dimensional
- Par torsional
- Potencia y energía eléctrica
- Presión
- Tiempo y frecuencia
- Volumen
- Análisis espectrofotométrico

El INM, busca fortalecer las actividades referentes al control metrológico con el fin de asegurar la confiabilidad en las mediciones hechas en el país, velando así por el

bienestar del consumidor, se encarga de custodiar y conservar los patrones nacionales de medida correspondiente a cada una de las magnitudes, para ofrecer los servicios de calibración certificados [5].



FIGURA 1-3: VISITA AL INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA INM. FUENTE: AUTOR

Aunque en la visita al Instituto Nacional de Metrología no se encontró un laboratorio de medición de nivel, se hizo referencia del laboratorio dimensional el cual se divide en tres áreas: longitud, medición geométricas y dimensional.

El laboratorio presta servicios a instrumentos como bloque de calibre, micrómetros, pies de rey, comparadores, cinta métricas, reglas graduadas, etc. El laboratorio específicamente se encuentra capacitado para prestar servicios de calibración [5].

2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL PROCESO Y SISTEMA BPCS.

2.1 REVISIÓN Y AJUSTE DEL CABLEADO.

Fue muy notable cuando se comenzó este proyecto, la desorganización en el cableado eléctrico, en los sensores y en la activación de las válvulas de aire. Situación que genera riesgo para las personas que pueden manipular el módulo.

Por estas razones, se organizan y redistribuyen cada uno de los cables encontrados por fuera de su lugar, instalando canaletas para proteger el cableado y proporcionar una vista estética en el módulo, como se observa en la Figura 2-1.



FIGURA 2-1: CORRECCIÓN DEL CABLEADO. FUENTE: AUTOR

La reestructuración del cableado fue aplicada en todo el módulo de nivel, debido a que los nuevos elementos instalados lo requerían. Teniendo en cuenta las anteriores conexiones podemos observar en la Figura 2-2 la instalación de un conector neumático en forma de T en la válvula de aire comprimido para obtener

una organización del módulo y permitir dejar libre la otra válvula para futuros proyectos.

Es importante resaltar que al suprimir una de las válvulas de aire y permitir el flujo de aire compartido para los dos tanques, su presión va a ser mínima si se está simulando turbulencia en un mismo instante de tiempo.



FIGURA 2-2: INSTALACIÓN DE LA T NEUMÁTICA EN LA VÁLVULA DE AIRE.

FUENTE: AUTOR

2.2 MANTENIMIENTO A LOS TANQUES DEL PROCESO.

Después de revisar y hacer varias pruebas de funcionamiento en el módulo de medición de nivel de líquidos, se observa que el agua contenida en los tanques presentaba un color turbio como se observa en la Figura 2-3. Por lo cual fue necesario consultar la empresa contratista **Ing&Maquinas**, para que hiciera un inspección.



FIGURA 2-3: TANQUES DE ALMACENAMIENTO. FUENTE: AUTOR

Se retiraron los tanques de almacenamiento para su revisión, como se ve en la Figura 2-4. Este proceso se hizo para evitar la corrosión interna de los tanques y consistió en aplicar la técnica de Sand Blast, adicional a la aplicación de una capa de esmalte anticorrosivo, con el fin de evitar filtraciones o proliferación de óxido posible a causa de la contaminación del agua.



FIGURA 2-4: DESINSTALACIÓN DE LOS TANQUES DE PROCESO. FUENTE: AUTOR

2.3 MANTENIMIENTO DE LA BOMBA.

Para la circulación de agua en el sistema se hace necesario el uso de una bomba opera a una tensión trifásica de 220Vrms.

Después de la revisión de los tanques de almacenamientos se hizo una inspección exhaustiva a la bomba con el fin de encontrar la fuente de contaminación del agua contenida, para esto fue necesario retirarla y evaluar cada una de sus partes. En la Figura 2-5, se observa la desinstalación de la bomba.

En el momento que la empresa contratista **Ing&Maquinas** estaba desinstalando la bomba encontró que la bornera estaba dañada, por tal motivo se dirigió hacer un cambio de la bornera. En la Figura 2-6 se observa la instalación de la nueva bornera.

Se encontró que las aspas que contiene la bomba era la fuente de la propagación del óxido. La solución a esto fue galvanizar las aspas de la bomba, este proceso se hace para cubrir el hierro con una capa de zinc o metal con el fin de evitar la oxidación. En la Figura 2-7 se puede observar que cambio por completo la consistencia del agua.



FIGURA 2-5: DESINSTALACIÓN DE LA BOMBA. FUENTE: AUTOR

Como un último procedimiento se purgo la bomba, con el fin de sacar el aire que estaba contenido en esta evitando su mal funcionamiento.

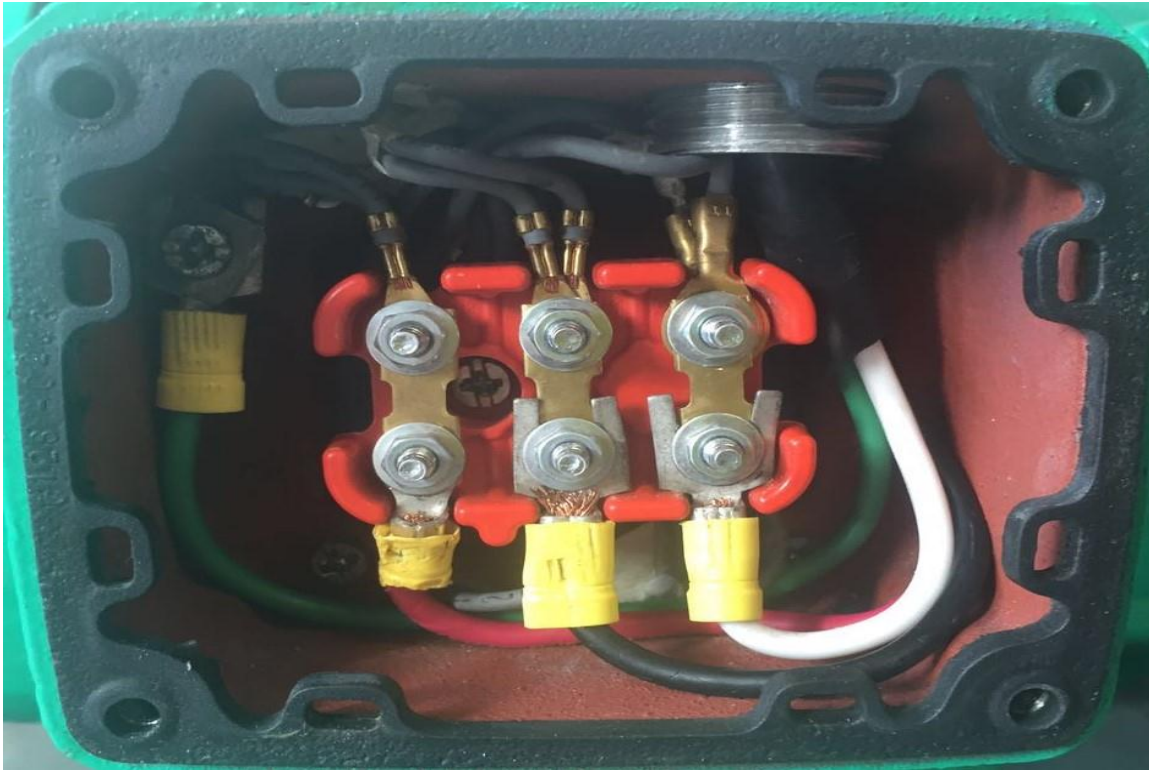


FIGURA 2-6: INSTALACION DE LA BORNERA EN LA BOMBA. FUENTE: AUTOR



FIGURA 2-7: MANTENIMIENTOS DE LOS TANQUES. FUENTE: AUTOR

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MODULO DE NIVEL.

Para el desarrollo del “comisionamiento y puesta en marcha del banco de ensayo de nivel de líquidos para la Universidad Pontificia Bolivariana”. Específicamente, para la realización del sistema SCADA, se trabajó con una herramienta denominada LabVIEW, que ofrece grandes ventajas y que su vez, la universidad cuenta con la licencia para la utilización de estos proyectos. En cuanto a la versión trabajada actualmente en el equipo, se está utilizando la 14.0 de LabVIEW.

Por otra parte, es importante destacar el auge que están teniendo los sistemas SCADA en la automatización de procesos industriales y lo elemental que es su desarrollo en proyectos de trabajo de grado e investigación, permiten la aplicación e integración de diferentes áreas de ingeniería, como lo es el diseño e implementación de un sistema de supervisión y control multivariable, a través de protocolos de comunicación HART, para plantas de procesamiento de químicos, al igual que las plantas de producción de bebidas como gaseosas o cervezas, entre otras. Por tal razón, el uso del software como LabVIEW, permite el desarrollo de entornos muy amigables y de fácil uso para el operador y/o usuario. Actualmente en la Universidad Pontificia Bolivariana, no se cuenta con un desarrollo práctico en un módulo de nivel.

3.1 NORMATIVIDAD.

La normalización, es el proceso, método o sistema definido exhaustivamente para aplicar, instalar o describir un proceso o sistema específico. Es necesario conocer y manejar aspectos relativos a las normas para escoger un dispositivo o método de medición [6]. La normalización se convierte entonces en una herramienta para el diseño, especificación, organización y dirección; como la normalización es parte integral de la instrumentación industrial, para el desarrollo de la interfaz humano

maquina en el módulo de nivel del laboratorio de instrumentación, se tuvieron en cuenta las siguientes normas:

- **ANSI /ISA 5.1-1984**

La norma está basada en los "Símbolos de Instrumentación e Identificación" y tiene como propósito establecer un medio uniforme de designación de los instrumentos y/o de los sistemas de la instrumentación usados para la medición y control. Con este fin, el sistema de designación incluye los símbolos y presenta un código de identificación para los diseños de la variable trabajada [6].

- **ANSI/ISA 5.5-1986**

La norma ISA 5.5 es complemento de la ISA S5.1, y tiene como propósito establecer un sistema de símbolos gráficos para las pantallas de proceso que son utilizados por los operadores de planta, ingenieros, etc., para el seguimiento y control del proceso. El sistema tiene como intención facilitar la comprensión rápida por los usuarios de la información que se transmite a través de las pantallas, y establecer una práctica uniforme en toda la industria de procesos [7].

Además, la norma también tiene como objetivo el de asegurar la máxima compatibilidad de símbolos en proceso de visualización (VDU) con símbolos relacionados que se utilicen en otras disciplinas.

- **ISO 9241**

El Comité Europeo de Normalización, en colaboración con la Organización Internacional de Normalización (ISO), ha venido impulsando la elaboración de las normas ISO 9241 y EN-ISO 9241 "Ergonomics requirements of visual display terminals (VDT's) used for office tasks".

Estas normas establecen los requisitos ergonómicos para equipos de PVD (Pantalla de Visualización de Datos) usados en actividades de oficinas, aulas o laboratorios, con objeto de asegurar que los usuarios puedan desarrollar sus actividades de manera segura, eficiente y confortable.

Si bien una parte importante de su contenido está dedicada al diseño de los equipos de PVD, también se abordan los aspectos relativos al diseño físico del puesto, al medio ambiente físico y a la gestión y organización del trabajo con estos equipos [8].

- **ISO 13407**

La norma ISO 13407, proporciona recomendaciones relativas a procesos de diseño centrados en el usuario a través de toda la vida útil de los sistemas interactivos informáticos. Por lo tanto, esta norma tiene que ver con la planificación y la gestión del diseño centrada en el usuario. Aborda únicamente los aspectos técnicos del factor humano y de la ergonomía en la medida en que los jefes de proyecto necesitan comprender la adecuación e importancia de estos datos en relación al proceso de diseño en su conjunto [9].

Recientemente, el ISO 13407 ha sido actualizado y renombrado como ISO 9241-210:2010 – Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems (ISO; 2010a) para adaptarlo a las tendencias actuales e integrarlo con otros estándares. Su actualización en la ISO 9241-210 describe principios clave que caracterizan un Diseño Centrado en el Usuario [10]:

- El diseño está basado en una comprensión explícita de usuarios, tareas y entornos.
- El proceso es iterativo.
- El diseño está dirigido a toda la experiencia del usuario.
- El equipo de diseño incluye habilidades y perspectivas multidisciplinares.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

El Modulo de apoyo didáctico de monitoreo y control de nivel de líquidos basado en PC bajo la plataforma LabVIEW, integra software y hardware especializado para la visualización y control de la variables definidas en el diseño.

En la Figura 3-1, podemos observar el diagrama de bloques del sistema que lleva a cabo todos los elementos del módulo nivel en el momento de estar operando; el cual consiste en la transmisión de órdenes efectuadas por un operador para el llenado y vaciado de un tanque a otro, activando las electroválvulas que se encuentran conectadas en paralelo, a su vez el sensor va tomando las lecturas de las señales análogas y las transforman en señales eléctricas de salida a 4-20mA; en donde van siendo registradas por un sistema de adquisición de datos, dependiendo si un tanque se encuentra en un punto de llenado máximo se activan las alarmas pertinentes que permiten al controlador tomar una decisión. Todo el proceso de operación se va visualizando en el monitor, otorgando una supervisión del sistema.

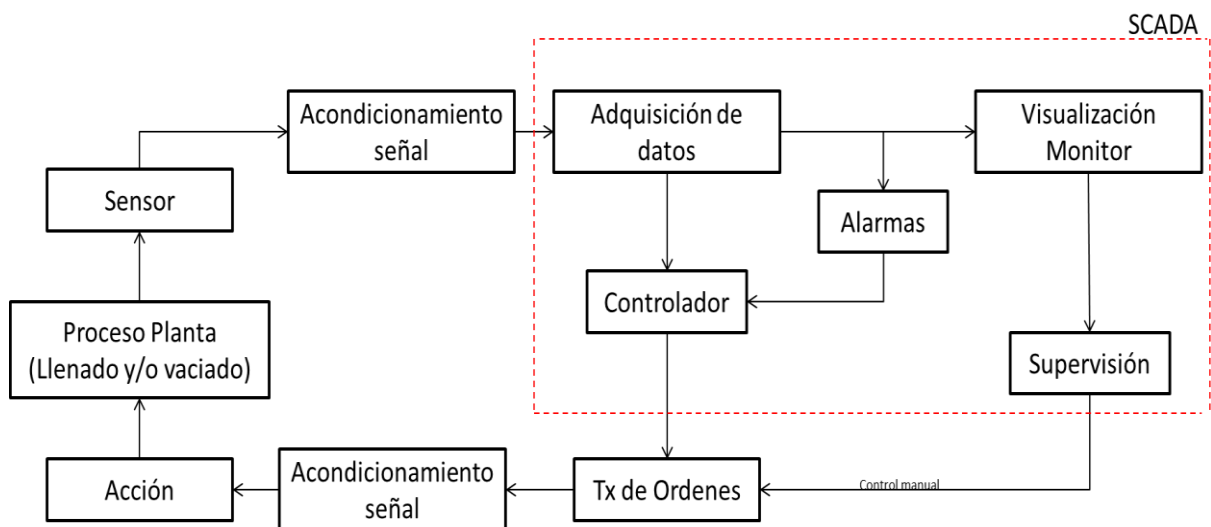


FIGURA 3-1: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DEL MÓDULO DE NIVEL.

FUENTE: AUTOR

La plataforma LabVIEW a través del módulo Compact-RIO 9075 (Figura 3-2), proporcionada por la compañía National Instrument, es un sistema embebido avanzado de control y monitoreo que incluye un procesador en tiempo real, un FPGA y módulos de la serie C intercambiables en tiempo real, que permite adquirir la información proveniente de los sensores de nivel ubicados en los tanques principales y en el tanque auxiliar. Dichos sensores operan mediante el principio de reflexión de onda guiada, capacitancia, presión y reflexión.



FIGURA 3-2: SISTEMA COMPACTRIO. [11]

Los módulos ensamblados en el sistema Compact-RIO 9075 para la implementación de control son los siguientes [12]:

- NI 9421 (8-Channel Sinking Digital Input Module): Dispositivo que provee ocho (8) señales de entrada digitales, cuyos valores lógicos son 0v y 24V.
- NI 9474 (8-Channel Digital Output Modules): Es un módulo que proporciona ocho (8) señales de salida digitales, cuyos valores lógicos son 0V y 24V.
- NI 9870 (4-Port, RS232 Serial Module): Módulo de comunicación serial de tipo RS232.
- AM-9898 (HART Communications CompactRIO Module): Dispositivo especializado en la lectura de señales de corriente y moduladas según el protocolo HART.

El software desarrollado transforma la señal 4-20mA proveniente de los sensores en valores porcentuales que indican el nivel de los tanques. El software monitorea en tiempo real el nivel de los tanques del sistema, dando lugar a generar acciones de control hacia los actuadores, tales como la bomba, las electroválvulas y válvulas de presión.

Durante el monitoreo y adquisición de las variables del proceso, la interfaz de usuario presenta las gráficas del comportamiento del sistema de nivel en tiempo real en la pestaña "Trends", esta permite visualizar el comportamiento grafico de los sensores. Al momento de adquirir los datos registrados para su manipulación, se debe activar la pestaña "Stop" permitiendo parar el programa para exportar los datos de los sensores en Excel de forma manual.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA.

Los sistemas SCADA se pueden encontrar siempre donde hay un sistema de control. Es por esto que son ampliamente utilizados en el control de procesos industriales. Al proveer la gestión en tiempo real de los datos en un proceso productivo, es que los sistemas SCADA hacen posible la implementación de paradigmas de control más eficientes, mejorar la seguridad de plantas y reducir los costos de operación [13].

En el módulo nivel se buscaba desde un principio dirigir el proceso a una adquisición de datos, comunicarse con otros dispositivos y permitir ejecutar pequeñas rutinas de programación para implementar tareas, cuyas funcionalidades se detallan a continuación.

3.3.1 Interfaz Gráfica HMI.

La sigla HMI es la abreviación en ingles de Interfaz Hombre Maquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana" de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora.

Los sistemas HMI en computadoras se les conoce también como software HMI o monitoreo y control de supervisión [14].

Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de los dispositivos ya sean tarjetas de entrada/salida en la computadora, procesadores (cRIO 9075), PLC's (controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI. En la Figura 3-3 se observa el resultado final de la interfaz gráfica, la cual va estar disponible para la puesta en marcha del módulo de nivel.

3.3.1.1 Característica de Diseño de Trabajo en Base a las Normas.

- 1) Relación de aspecto: la relación entre la altura de los símbolos con su anchura.
- 2) Fondo: el campo de operación que muestra la información sobre el contraste.
- 3) Intermitencia: un cambio periódico de matiz, saturación o intensidad de una unidad de píxeles de visualización de vídeo, carácter o un símbolo gráfico, como resulta en las alarmas del módulo nivel.
- 4) El código de colores: el uso de diferentes colores para representar simbólicamente procesos y atributos de equipos de proceso, tales como el estado, la calidad, la magnitud, la identificación, configuración, etc.
- 5) Símbolo gráfico: una representación gráfica fácil de reconocer.
- 6) Intensidad: el nivel de iluminación (es decir, el brillo) de los píxeles de una pantalla de visualización.
- 7) Fuente: basadas en el tamaño de la letra en lo que respecta a etiquetado, información, e indicaciones de los valores de las variables, que para el diseño se trabajó el tipo de letra Arial tamaño 20 como lo menciona la norma ANSI/ISA 5.5.
- 8) Diseño: El diseño de la aplicación debe prestarse a la facilidad de uso, atractivo visual y funcionalidad. En general, el diseño debe consistir en una zona / ventana

del menú y una zona / ventana de visualización de procesos, Las herramientas del sistema operativo no deben ser visibles en el diseño.

9) Indicaciones de estado: Indicaciones de estado empleados en los gráficos de la HMI.

- Verde: Correr / On / Open
- Rojo: Stop / Apagado / Cerrado
- Amarillo: Transición

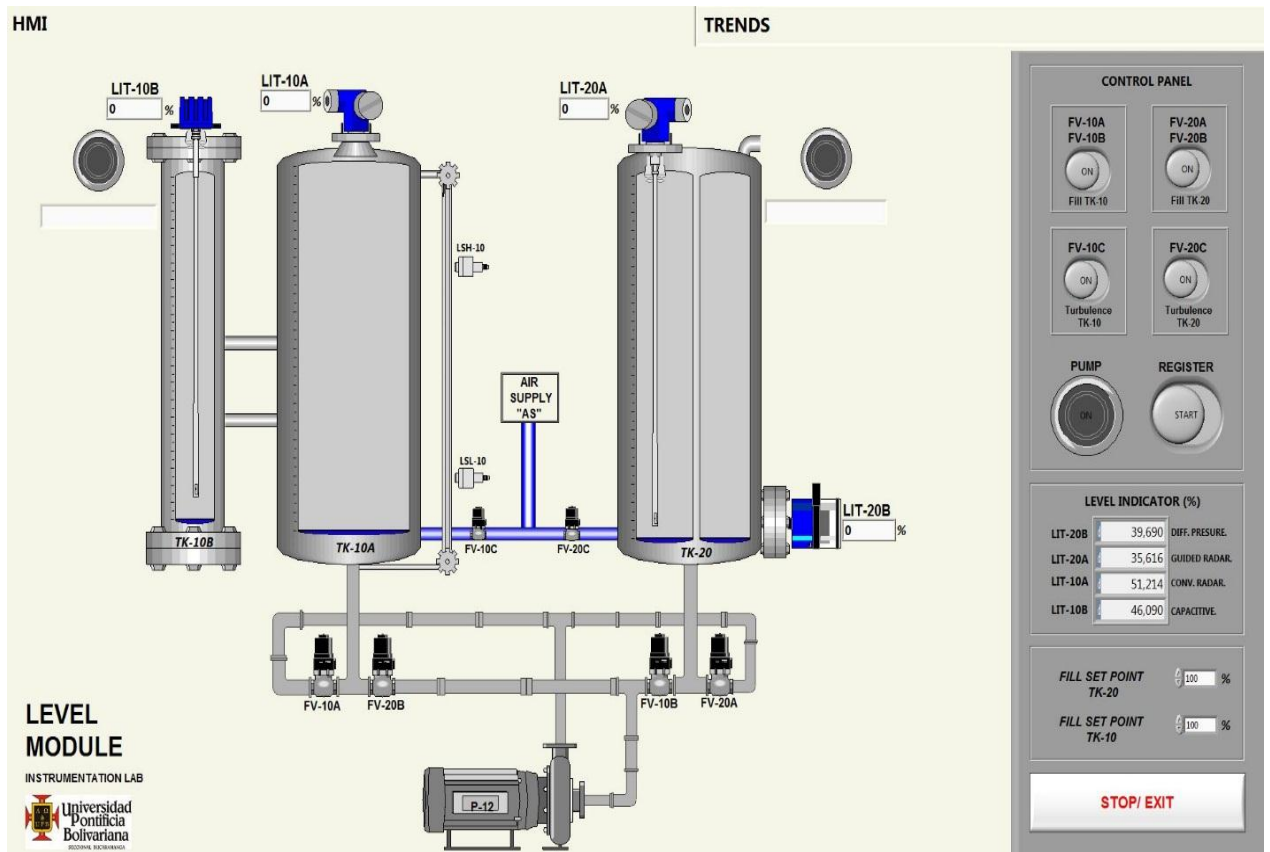


FIGURA 3-3: INTERFAZ HMI MODULO NIVEL. FUENTE: AUTOR

3.3.1.2 Código de Comunicación de Software para Suprimir Tiempos en Lectura de Canales y Direccionamiento del Canal.

Para la inicialización de comunicación del hardware Compact-RIO con el software de programación LabVIEW, primero que todo se debe realizar por medio de una

conexión Ethernet a la entrada del computador. En La identificación de los sensores se debe correr el archivo “AM-9898_HART_Scan_Devices_Example.vi”, el cual realizará un barrido por todos los canales y frecuencias disponibles para el protocolo. De esta manera se puede reconocer cuántos sensores están conectados al canal, así como sus direcciones, tipo de medición, estado, entre otras variables. Sin embargo para esta nueva fase como ya se conoce cuantos sensores están trabajando y cual canal es el conectado en el módulo AM-9898 en la conexión HART, se realizó en la programación un estándar de programación fija como se observa en la Figura 3-4, con el fin de aprovechar esos segundos que tarda el programa en leer todos los canales al igual que fijar cuantos sensores están equipados de forma multipunto y así evitar retardos en tiempo que son unas de las desventajas al momento de trabajar con el Compact-RIO.

Una vez se detectan los dispositivos con sus respectivas direcciones, éstas se actualizan en el archivo “AM-9898_HART_Multidrop_Example.vi”, donde se procede a leer la información que cada sensor envía a través del protocolo HART.

En esta fase se suprimieron datos que proporciona la lectura de los sensores al momento de realizar la comunicación con el modulo AM-9898 ya que se busca entregar una interfaz más amigable al usuario; datos como el número de bits, la dirección IP de cada sensor, tiempo de transmisión y longitud de dirección con la que antes entregaba la interfaz, no era de gran importancia para el estudiante que desea entender el proceso de operación.

Este VI hace uso del archivo mencionado en la fase anterior, el cual fue compilado previamente; como funciones adicionales se encuentran la identificación de la señal portadora específica y el llamado a los sensores con su dirección específica para su posterior escucha y eliminación de retardos en el sistema.

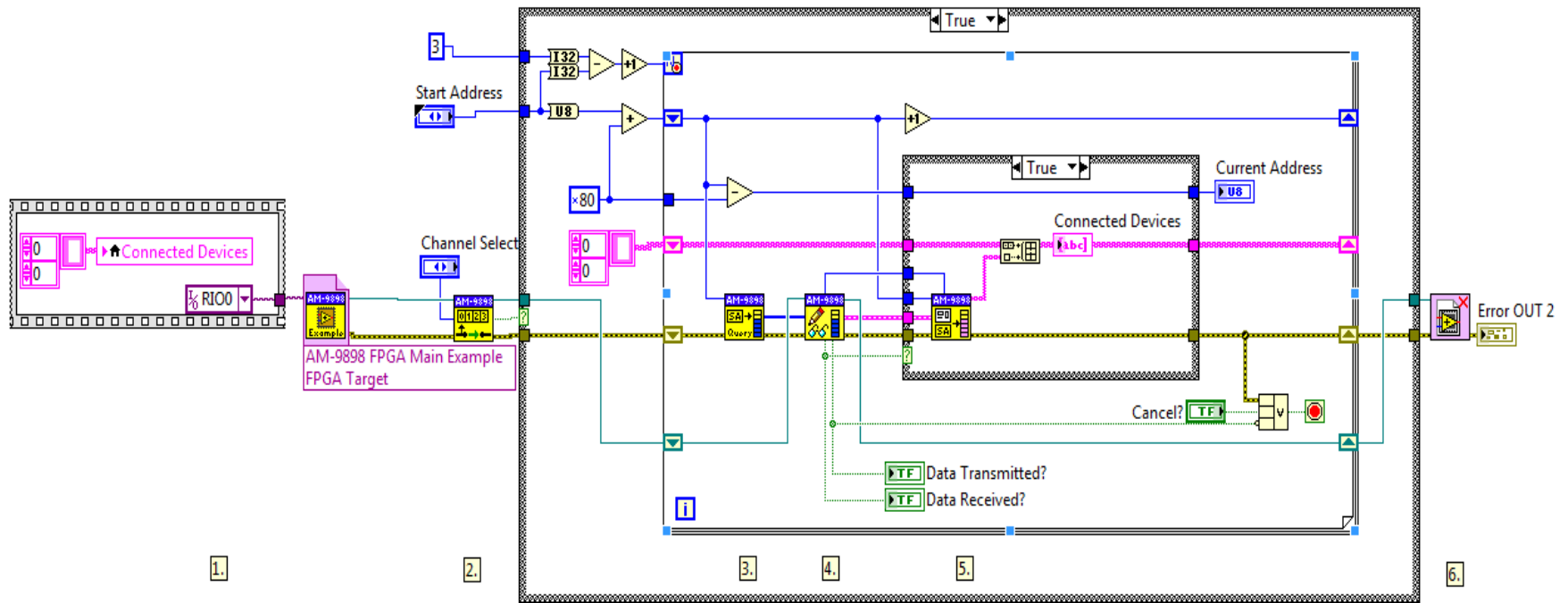


FIGURA 3-4: AM-9898 HART SCAN DEVICES FIXED, DIAGRAMA DE BLOQUES.
FUENTE: AUTOR

Este diagrama de programación se basa en el escaneo inicial que realiza el módulo AM 9898 para buscar la dirección de los 4 sensores en el bus HART del canal 0. Una vez realizado el escaneo de lectura del canal "0", almacena la información de cada sensor. Toda la información y transmisión se realiza por medio de arreglos y estructuras con el fin de aprovecha

su conexión multipunto. Cabe resaltar que se realizó una programación fija a diferencia de la programación anterior que escaneaba todos los canales y todos los espacios por canal con el fin de remover retardos de tiempo en su operación.

3.3.1.3 Supervisión y Monitoreo en la HMI.

Dentro de los elementos que identifican un sistema SCADA, se cuenta con la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta o modulo en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, textos o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar. En la Figura 3-5, se puede apreciar el panel de supervisión y monitoreo del banco de ensayo de nivel obtenido como resultado final. En los espacios laterales de los sensores, se ilustra el valor porcentual del llenado que se encuentra registrando cada sensor.

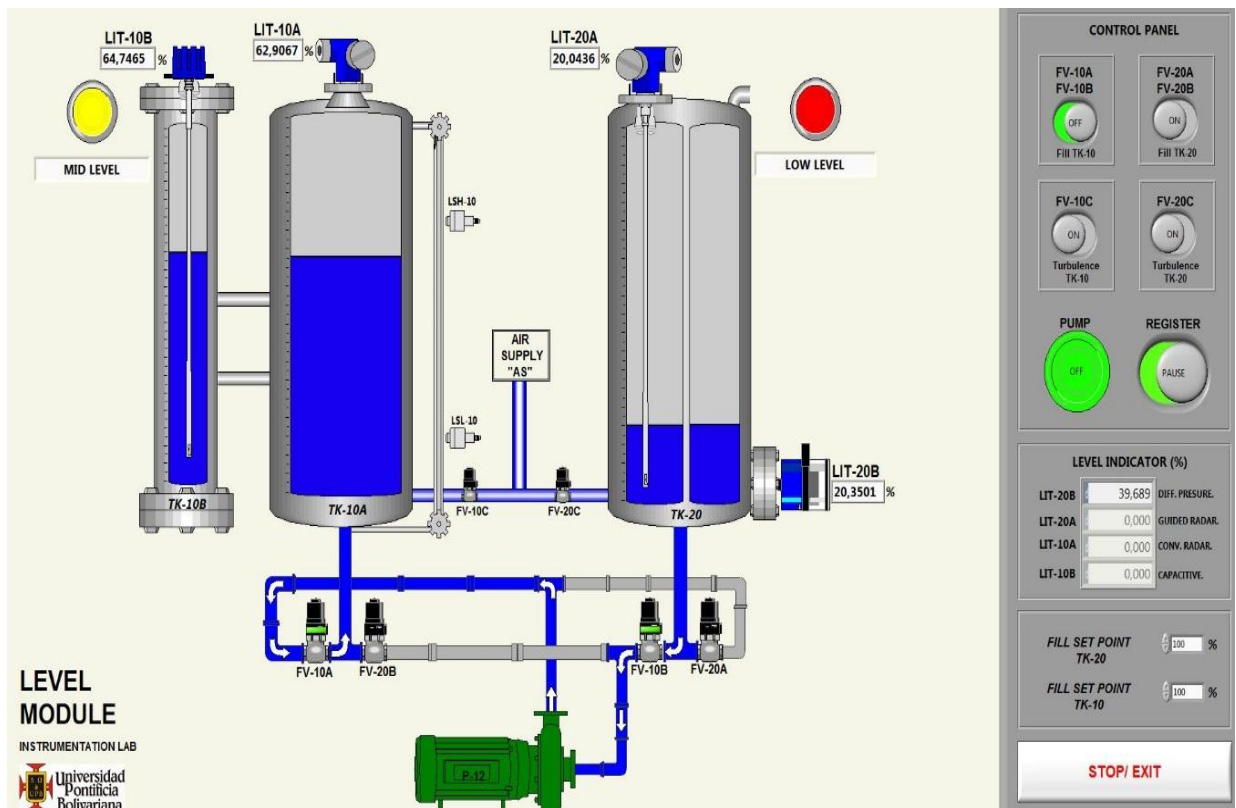


FIGURA 3-5: SUPERVISIÓN Y MONITOREO DE FLUJO DE LLENADO Y VACIADO DEL SISTEMA. FUENTE: AUTOR

TAREAS DEL SOFTWARE DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL MODULO DE NIVEL.

- Permite una comunicación con los dispositivos de campo como son los sensores, actuadores, controladores, válvulas de presión y variador.
- Visualiza la variable mediante pantallas con objetos animados (mímicos) como lo es el proceso de llenado y vaciado de un tanque a otro, al igual que indicadores de alarmas y activaciones de los sensores capacitivos que se encuentran operando.
- Permite que el operador pueda enviar señales al proceso, mediante botones, controles ON/OFF, ajustes continuos con el mouse, teclado o pantalla.
- Supervisa niveles de alarma y alerta en caso de que la variable exceda los límites normales asignados por el usuario.
- Almacena los valores de la variable para análisis estadístico y/o control de la lectura de los sensores.
- Controla en forma limitada ciertas variables de proceso.

3.3.1.4 Código de Lectura para el llenado y vaciado del Tanque.

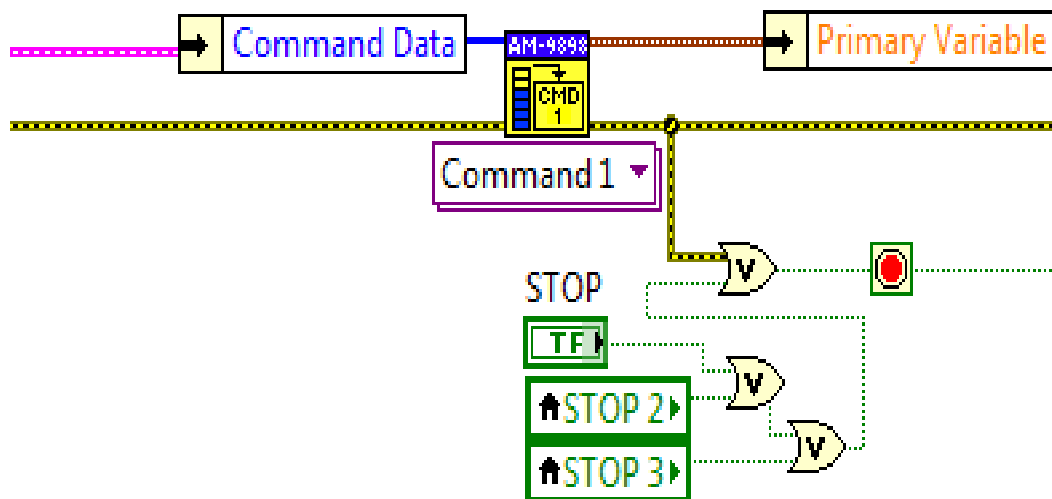


FIGURA 3-6: CÓDIGO DE LECTURA DE LA VARIABLE PRIMARIA. FUENTE: AUTOR

Como se observa en la Figura 3-6, los datos que son transmitidos por los 4 sensores llegan al comando de datos “CMD AM-9898”, el cual permite leer cualquier tipo de información de los sensores. Nuestro principal interés es obtener las variables primarias en unidades porcentuales de cada uno de ellos para poder ser visualizada y monitoreada en la VI, es por esto que se selecciona la función “Read Primary Variable” a la salida del comando. Sin embargo, los datos de lectura llegan en forma de arreglos por la configuración multipunto establecida desde un principio en el diseño del módulo nivel, para lo cual se le da una clasificación de posición a la cadena de arreglo como se muestra en la Figura 3-7.

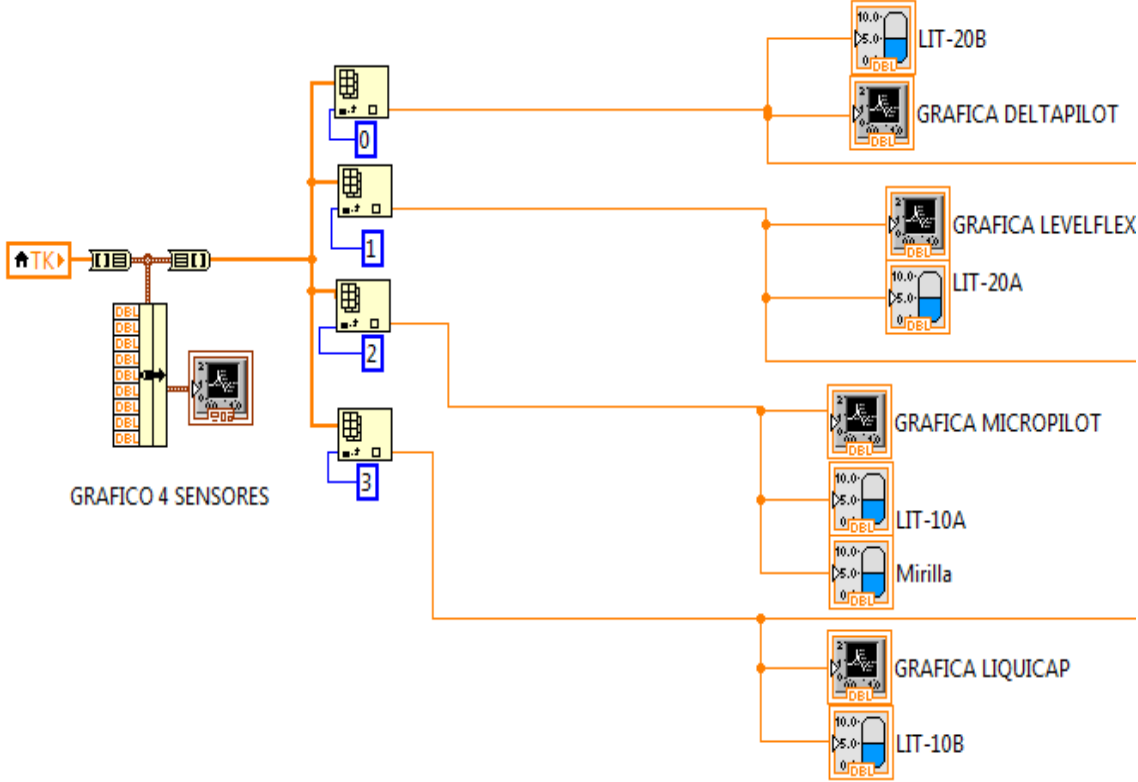


FIGURA 3-7: CLASIFICACIÓN DE POSICIÓN A CADA SENSOR PARA SU VISUALIZACIÓN EN LA VI. FUENTE: AUTOR

Con el elemento “Index Array” se fija una posición del arreglo para extraer su información y permitir ser visualizada en los tanques. Una vez extraída la información de manera individual se pueden ejecutar rutinas de programación para el interés de la VI.

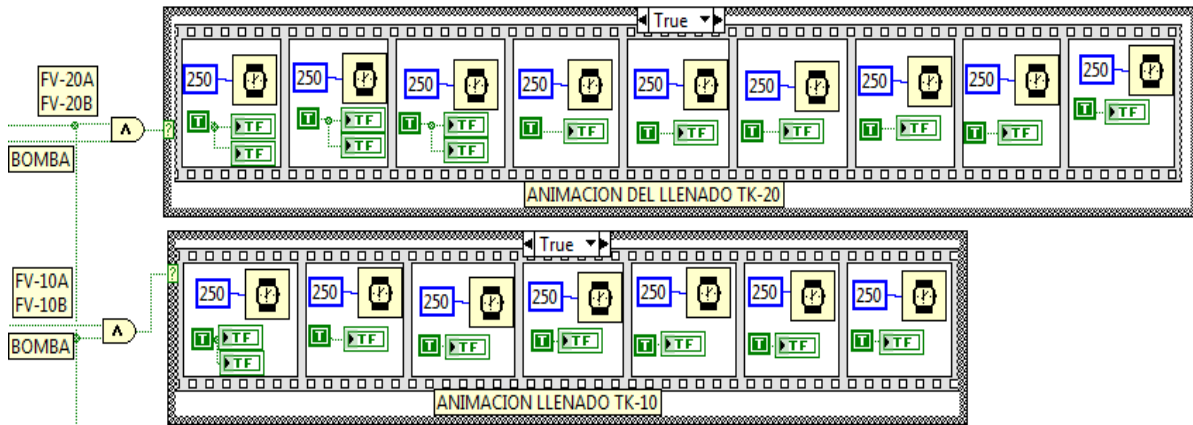


FIGURA 3-8: ANIMACIÓN DE LLENADO DE LOS TANQUES. FUENTE: AUTOR

En la Figura 3-8, se muestra el código correspondiente a la animación de los llenados de los tanques por las tuberías, para que la animación se cumpla deben estar habilitadas la bomba y las electroválvulas. Tal condición se cumple por medio de una estructura de verdad que viene interrogada por una compuerta AND que envía una señal si se encuentran en un estado de nivel alto. Por el contrario, sino están activados los controles para ejercer un flujo de un tanque a otro, no ejecuta la animación y permanece apagado.

3.3.2 Gestión de Alarmas

La gestión de alarma permite reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas en la VI y basadas en límites de control pre-establecidos. Las alarmas en el módulo de banco de nivel de líquidos se activan desde 3 perspectivas.

- Color Amarillo: Nivel intermedio que radica entre un rango de 20% y 80% de líquido en el tanque.
- Color Rojo - Limite nivel Alto: Cuando el tanque se esté llenando y está por encima del rango de 80% de líquido, indicara un nivel alto de led rojo parpadeante.
- Color Rojo - Limite de nivel bajo: Cuando el tanque se está vaciando y se encuentra por debajo del rango de 20% de líquido se activara de color rojo parpadeante.

En la Figura 3-9 se encuentra simulando el llenado del TK-10, el cual permite observar en un instante de tiempo la posición de alarma nivel intermedio de color amarillo del TK-10A que radica en un 55% y la posición de alarma nivel bajo color rojo del TK-20 que radica en un 18%.

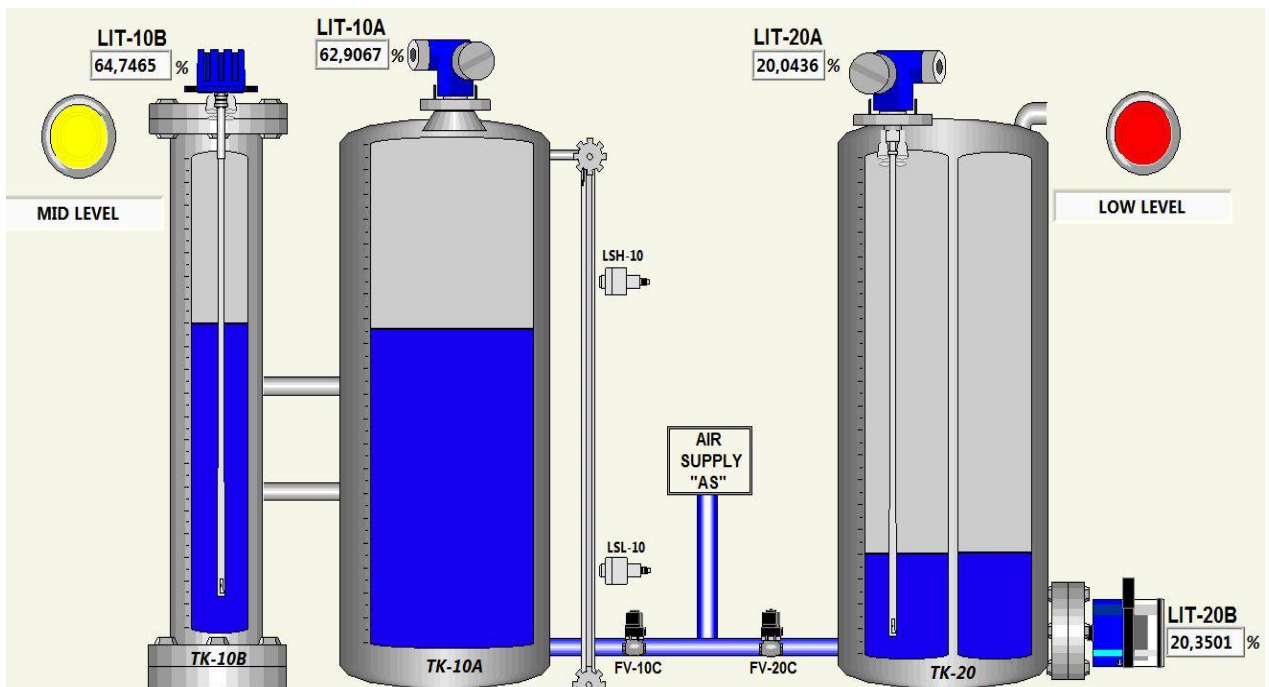


FIGURA 3-9: SISTEMA DE LLENADO TK-10, POSICIÓN DE ALARMA DE NIVEL INTERMEDIO TK-10A Y POSICIÓN DE ALARMA DE NIVEL BAJO TK-20.

FUENTE: AUTOR

3.3.2.1 Código del Programa de Gestión de Alarmas.

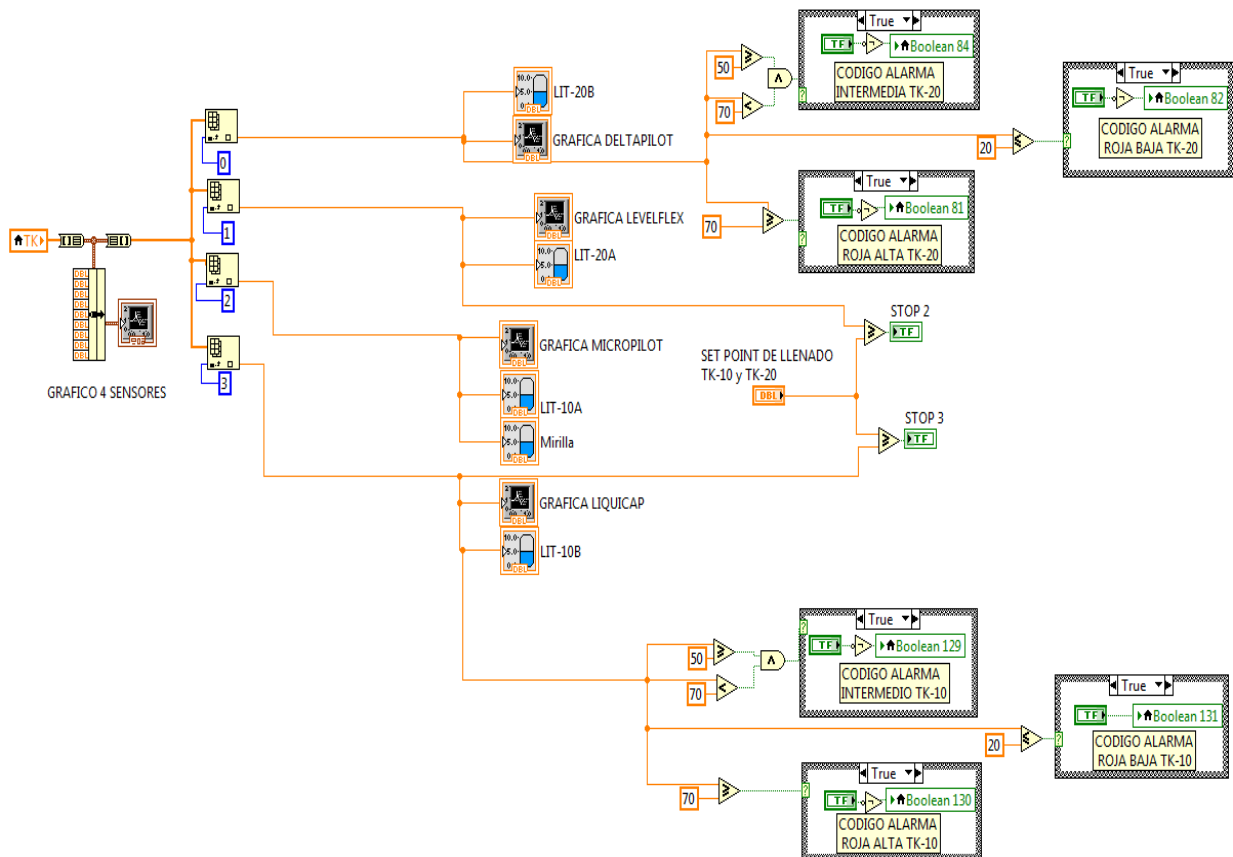


FIGURA 3-10: CÓDIGO DE ALARMA DE NIVEL ALTO, BAJO E INTERMEDIO DE LOS TK-10 Y TK-20. FUENTE: AUTOR

Tal como se había mencionado en la sección anterior del código de llenado y vaciado de los tanques, una vez extraída la información de vital importancia se asigna condiciones de comparación en la programación para el reporte de alarmas de los tanques, como se observa en la Figura 3-10.

Con el elemento mayor igual o menor igual de LabVIEW se le indica a la variable de lectura del proceso que si incrementa o disminuye el valor % envíe un mensaje de alarma y se manifieste en los respectivos led's.

3.3.3 Control de Proceso.

El control en una VI tiene la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. El control va más allá de la supervisión, removiendo la necesidad de la interacción humana en casos de un mal funcionamiento por parte del operador. En la siguiente imagen de la Figura 3.-11, se observa el panel de control al lado derecho de un color gris oscuro con su respectivo diseño, la cual permite la activación de electroválvulas (FV-10A, FV-10B, FV-20A, FV-20B) para el llenado y vaciado de los tanques. De igual manera los controles para activación de las válvulas de aire (FV-10C y FV-20C) para la generación de turbulencia. El control de la bomba que permite conducir el flujo del líquido de un tanque a otro. Un ajuste del set-point de los tanques principales “FILL SET POINT”, permitiendo al usuario tener un control automatizado del proceso al momento de estar llenando los tanques. Por último, un botón de control de registro para empezar almacenar la información en Excel y un “STOP/EXIT” para detener el proceso y salir de la interfaz.

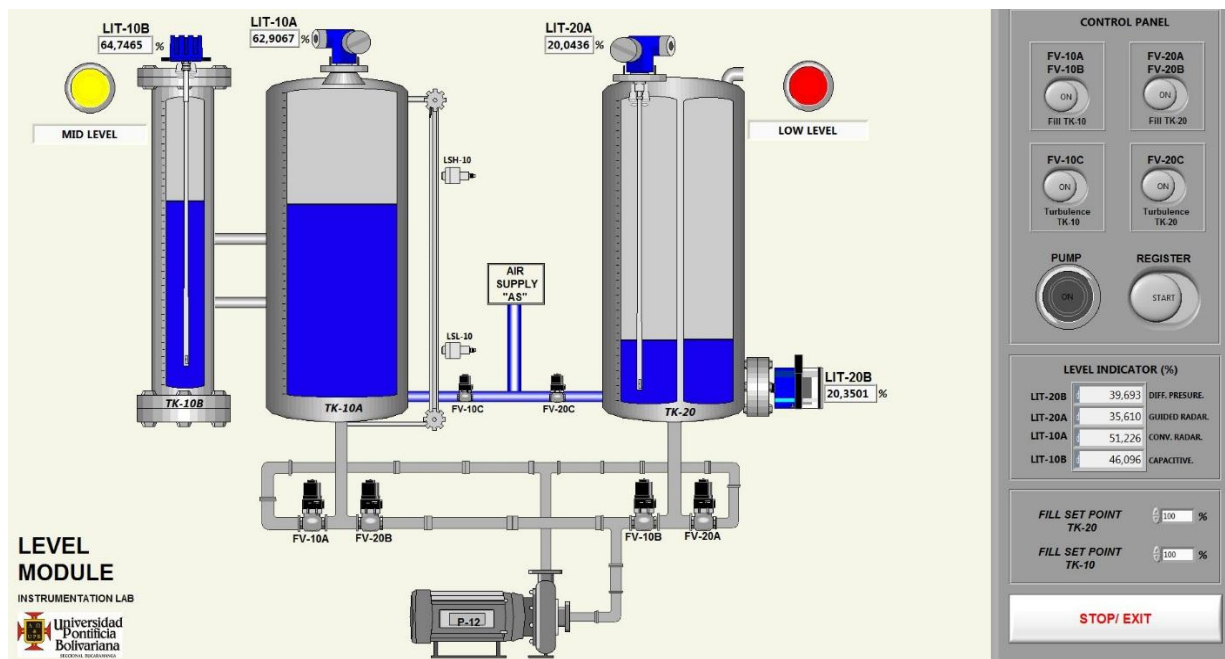


FIGURA 3-11: PESTAÑA DE CONTROL DE ELECTROVÁLVULAS, VÁLVULAS DE AIRE, BOMBA Y PARADO DE EMERGENCIA PARTE LATERAL DERECHO. FUENTE: AUTOR

3.3.3.1 Código del Programa de Control.

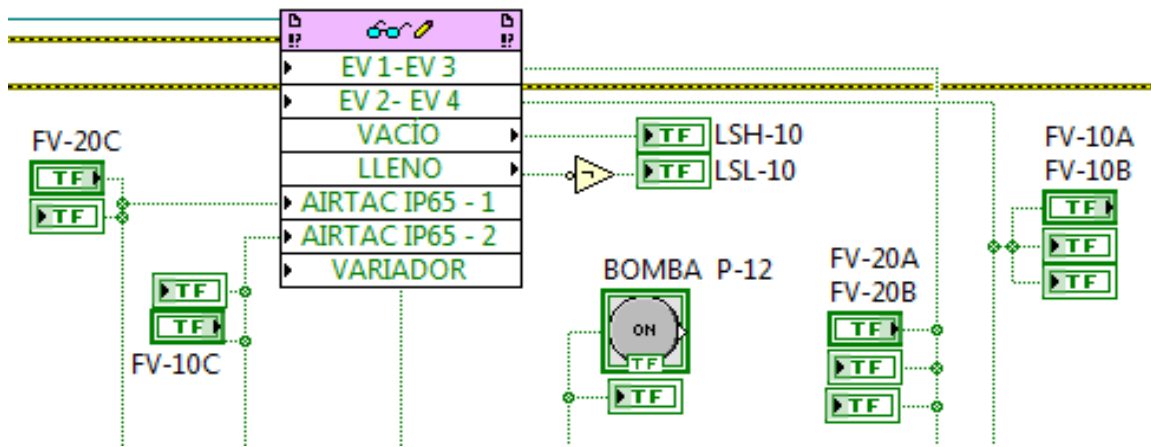


FIGURA 3-12: LECTURA Y ESCRITURA DE CONTROL DE LOS ACTUADORES DE MÓDULO DE NIVEL EN LA TARJETA FPGA DE COMPACT-RIO9075.

FUENTE: AUTOR

En la Figura 3-12, se observa por un lado la escritura de las electroválvulas de llenado y vaciado del tanque, los controladores de las válvulas de aire y el controlador de la bomba en la tarjeta, las cuales son activadas y/o desactivadas por el operador. Y por otro lado, están las lecturas que realiza la tarjeta de los sensores capacitivos discretos de nivel alto que se encuentra en las secciones laterales del tanque TK-10A.

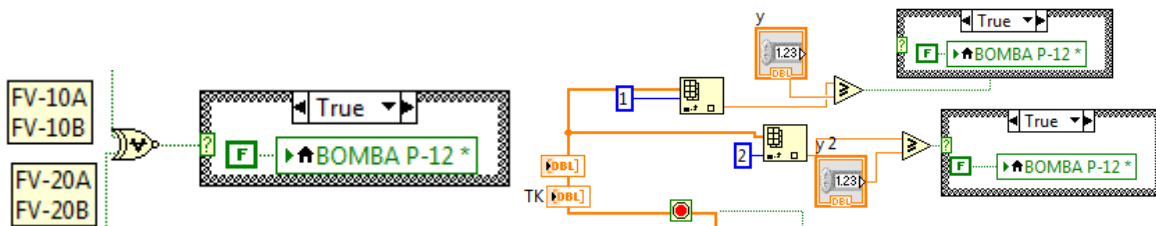


FIGURA 3-13: ENCLAVADO DE PANELES DE CONTROL PARA LA SEGURIDAD DEL SISTEMA Y SET POINT DE CONTROL. FUENTE: AUTOR

Para el buen funcionamiento del módulo nivel se debe resaltar en varias ocasiones que la bomba no debe estar operando si todas las electroválvulas se encuentran cerradas o abiertas al tiempo. En estos 2 casos no debería permitir un control de la bomba por motivos de seguridad. Como se puede observar en la Figura 3-13 de la sección izquierda, se introduce una compuerta lógica XNOR a las electroválvulas indicándoles que siempre y cuando se encuentren en un estado diferente puede ejecutarse el llenado o vaciado de lo contrario no se puede ejecutar.

La asignación del valor de control automatizado en el llenado de los tanques se realiza por medio de condiciones y estructuras TRUE o FALSE como se observa en la Figura 3-13 en la sección derecha. Si los valores de nivel ingresados por el usuario son mayores iguales que las lecturas de los valores primarios de los sensores radar onda guiada y radar convencional, se cumple la condición y la bomba se apaga.

3.3.4 Historización y Generación de Proceso.

Es la capacidad de mostrar y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos. En la Figuras 3-14 y la Figura 3-15 respectivamente, se ilustra el registro del comportamiento de los sensores de manera total y con forma de auto-scale para observar de manera más graduada el descenso o incremento de la variable. El eje "x" corresponde al tiempo del proceso y el eje "y" es la amplitud porcentual de nivel 0-100%.

Los datos son exportados en documento Excel para trabajar, modificar o cualquier análisis estadístico que desee realizar el operador de los 4 sensores, como se muestra en la Figura 3-16.

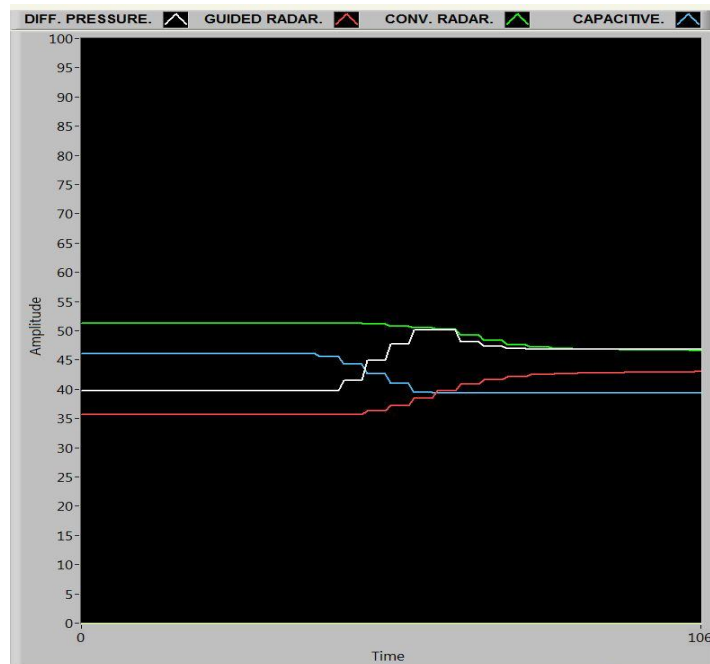


FIGURA 3-14: PESTAÑA ADQUISICIÓN DE DATOS-HISTÓRICO DE LECTURA DE SENSORES. FUENTE: AUTOR

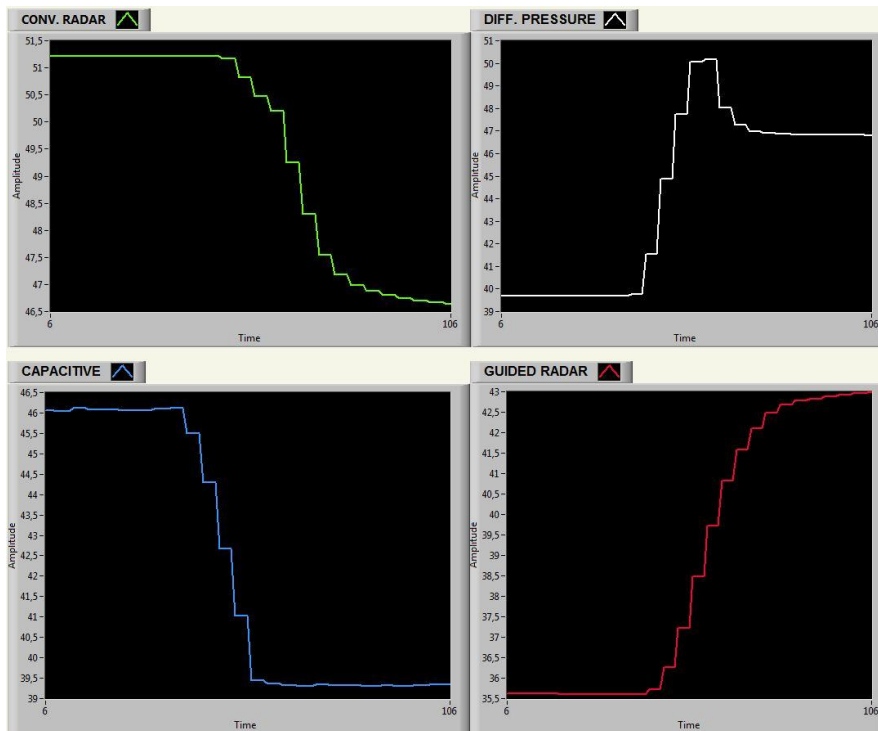


FIGURA 3-15: AUTO-ESCALA DE LOS SENSORES. FUENTE: AUTOR

Time - Presión Hidroestática	Amplitude - Presión Hidroestática	Time - Onda Guiada	Amplitude - Onda Guiada	Time - Radar	Amplitude - Radar	Time - Capacitivo	Amplitude - Capacitivo
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0
2	0	2	0	2	0	2	0
3	0	3	0	3	0	3	0
4	0,0792782	4	0,00025034	4	101,309	4	100,681
5	0,0792782	5	0,00025034	5	101,309	5	100,681
6	0,0792782	6	0,00025034	6	101,309	6	100,681
7	0,0792782	7	0,00025034	7	101,309	7	100,681
8	0,0794645	8	0,00025034	8	101,244	8	100,687
9	0,0794645	9	0,00025034	9	101,244	9	100,687
10	0,0794645	10	0,00025034	10	101,244	10	100,687
11	0,0794645	11	0,00025034	11	101,244	11	100,687
12	0,0797562	12	0,000238419	12	101,18	12	100,673
13	0,0797562	13	0,000238419	13	101,18	13	100,673
14	0,0797562	14	0,000238419	14	101,18	14	100,673
15	0,0797562	15	0,000238419	15	101,18	15	100,673
16	0,0783261	16	0,000238419	16	101,127	16	100,635
17	0,0783261	17	0,000238419	17	101,127	17	100,635

FIGURA 3-16: ADQUISICIÓN DE DATOS EN LA PLATAFORMA EXCEL.

FUENTE: AUTOR

3.3.4.1 Código del Programa Grafico de Sensores.

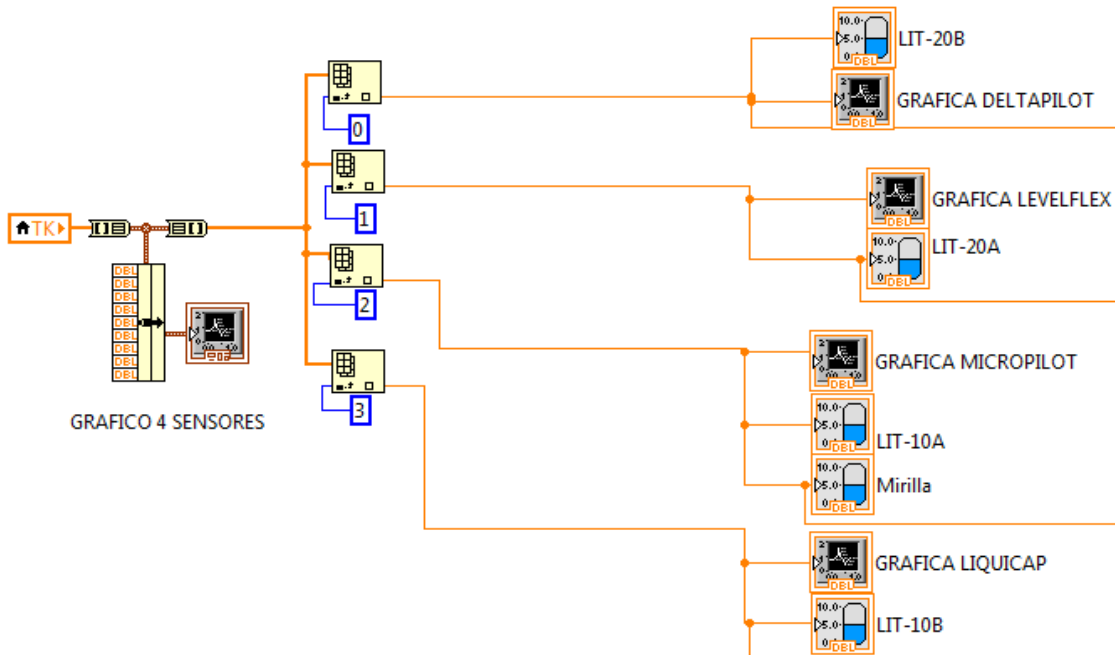


FIGURA 3-17: CÓDIGO DEL HISTORIAL DE LOS SENSORES. FUENTE: AUTOR

En la Figura 3-17 se observa la variable “TK”, que es de tipo doublé en la cual vienen integrados todos los valores primarios de los sensores de nivel que anda registrando en forma de arreglos, por lo que se le asigna un elemento grafico dentro de un Clúster el cual agrupa el comportamiento de todas las gráficas de cada uno de los

sensores para una visualización de manera general, al igual que en cada clasificación de posición de los sensores por medio de la función “Índex Arrays” para observar tanto de manera gráfica el llenado o vaciado de los tanques en la HMI como de manera particular en la gráfica de auto scale.

3.3.5 P&ID (PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM).

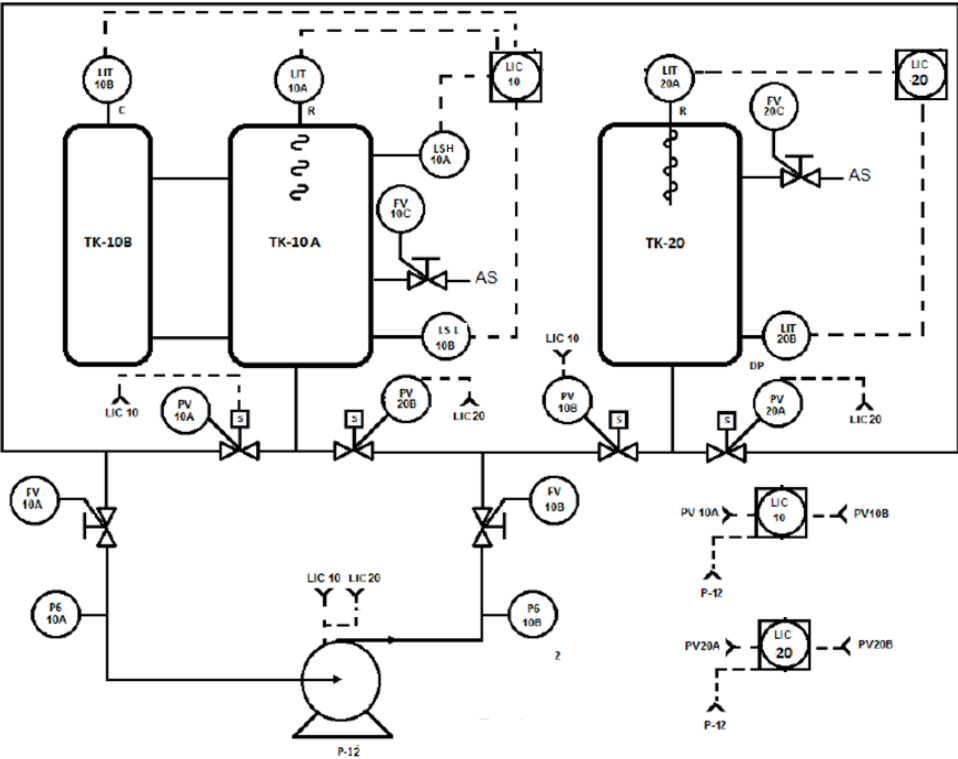


FIGURA 3-18: P&ID SINCRONIZADO CON LOS ETIQUETADOS DEL HMI.

FUENTE: AUTOR

En la Figura 3-18, se muestra la modificación del etiquetado en el plano P&ID en relación con el diseño realizado en la VI, para una mejor comprensión en caso de requerir la hoja de datos y analizarla con la interfaz.

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD.

Una vez construida la interfaz gráfica, se procede a realizar la calibración de cada uno de los sensores, además se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar la sincronización entre las lecturas de los sensores y la pantalla del sistema SCADA.

4.1 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

Para tener una medida real del proceso se necesita la calibración de los sensores, el sistema consta de cuatro sensores diferentes, donde dos de ellos tienen el mismo sistema de calibración (Levelflex-FMP52 y Micropilot FMR51) y para los restantes una manera de calibrar para cada uno. A continuación se describe paso a paso la calibración para los cuatro sistemas de medición:

4.1.1 Calibración Levelflex-FMP52 y Micropilot FMR51

Para la calibración de estos dos sensores de nivel, se utiliza el mismo procedimiento, con la diferencia que el sensor Levelflex-FMP52 (radar guiado) envía pulsos de alta frecuencia a lo largo de una superficie, por lo tanto, el transmisor mide el tiempo recorrido entre la transmisión del líquido y la recepción del impulso reflejado.

El sensor Micropilot FMR51 (radar convencional) envía pulsos de alta frecuencia por una antena, los cuales se reflejan en la superficie del producto.

Para la calibración de los sensores antes mencionados se debe seguir los siguientes pasos:

1. Se ingresa al menú presionando la letra E del sensor.

2. Las teclas más y menos nos sirve para desplazarnos en la pantalla del sensor, una vez se esté en la opción de calibrac. lleno, como se observa en la Figura 4-1, se vuelve a oprimir la letra E para ingresar a esta opción.
3. Se ingresa el valor de la distancia del líquido (Figura 4-2) con respecto a la varilla del sensor indicando que ese es su nivel máximo.
4. Se oprime la tecla E para indicar que guarde la información.
5. Con la tecla menos retrocedemos en la pantalla del sensor para escoger la opción de calibrac. Vacío, como se observa en la Figura 4-3, se vuelve a oprimir la letra E para ingresar a esta opción.

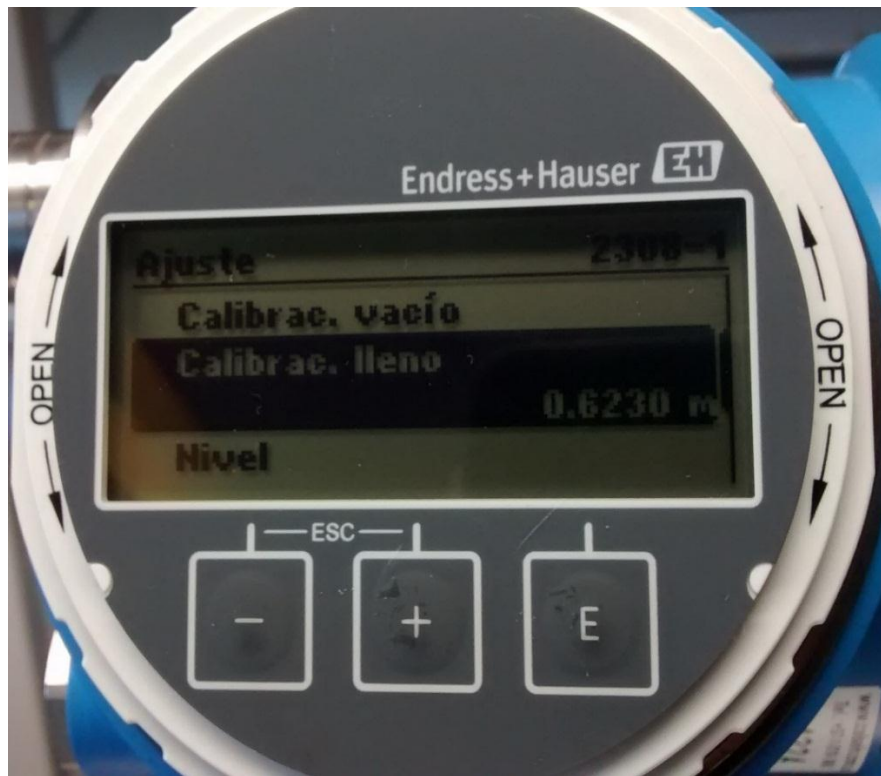


FIGURA 4-1: CALIBRACIÓN LLENO DEL SENSOR LEVELFLEX-FMR52 T.

FUENTE: AUTOR

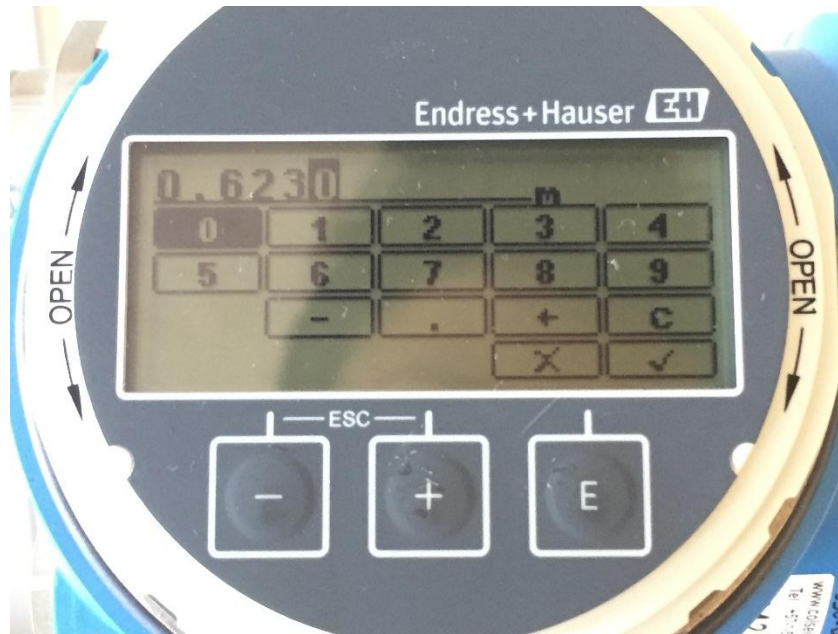


FIGURA 4-2: CALIBRACIÓN LLENO DEL SENSOR LEVELFLEX-FMR52 T.

FUENTE: AUTOR

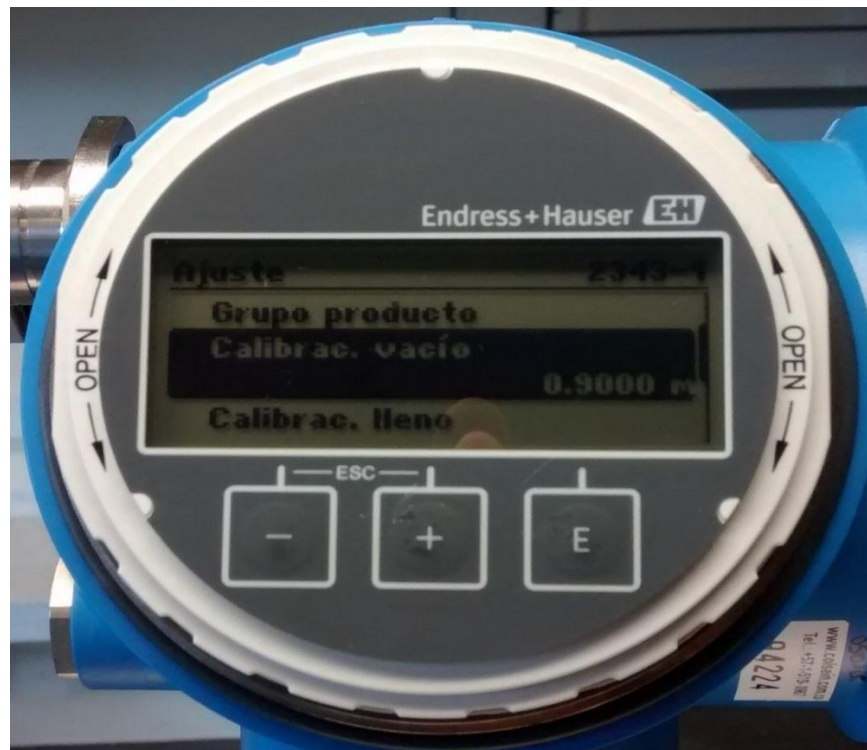


FIGURA 4-3: CALIBRACIÓN VACÍO DEL SENSOR LEVELFLEX-FMR52 .

FUENTE: AUTOR

Después de realizar el proceso anterior quedan los sensores de nivel completamente calibrados para su buen funcionamiento, por último se debe tener en cuenta que el valor 0.90 m de la calibración en vacío no puede ser modificado porque esa es la distancia de la varilla y es el valor que necesita el sensor Levelflex-FMR51 para medir el nivel en vacío.

Para el sensor Micropilot FMR51 repetimos los pasos anterior.

4.1.2 Calibración Liquicap MFM 151

Para la calibración del sensor Liquicap M FM151 ubicados en el tanque TK-10B a diferencia de los sensores anteriores (Levelflex y Micropilot) este permite realizar el ajuste de calibración a través de un barrido de escaneo que realiza el mismo sensor.

La variación de su capacitancia depende de la constante dieléctrica la media (agua), el área de la sección transversal de las placas y la longitud entre las placas que para nuestro tanque será la misma. Toda esta información la transforma la electrónica del sensor para mostrarnos la variable principal en unidades porcentuales. Su calibración se basa en fijar un punto mínimo o cero en el tanque auxiliar e indicar en el menú del sensor que es nuestro punto en vacío y luego realizamos el mismo procedimiento cuando el tanque está en su máximo nivel. El sensor guarda los 2 datos (capacitancia) de medida de los escaneos en vacío y en llenado y finalmente se calibra.

4.1.3 Calibración Deltapilot M FMB50

El sensor Deltapilot (Presión Hidrostática) se basa en un diafragma que registra la presión que se le está ejerciendo por medio del líquido. Su manera de calibración es parecida a la del sensor Liquicap, fijándose un punto de vacío y un punto de llenado máximo en donde a través del menú del sensor se le indican cuando están

en dichos límites, los cuales se guardan y entregan el valor porcentual de la medida de nivel.

4.2 PRUEBA N°1: TANQUE TK-10.

El indicador porcentual de nivel de líquido en la pantalla del sensor Liquicap M FM151 indica que el tanque TK-10A se encuentra en su nivel máximo (Figura 4-4). Además, en la Figura 4-5 el sensor Micropilot FMR51 corrobora la lectura indicando que el TK-10A y 10B se encuentra en un 99.3% de su capacidad.



FIGURA 4-4: SENSOR LIQUICAP M FM151 TK-10B LLENO. FUENTE: AUTOR

Finalmente, el sensor Levelflex-FMP52 indica que el tanque TK-20 se encuentra vacío (0% de su capacidad), tal como se muestra en la Figura 4-6. Además, en la Figura 4-7 se observa una lectura similar efectuada por el sensor Deltapilot M FMB50. Con esto se comprueba que se hizo la calibración de los sensores correctamente.

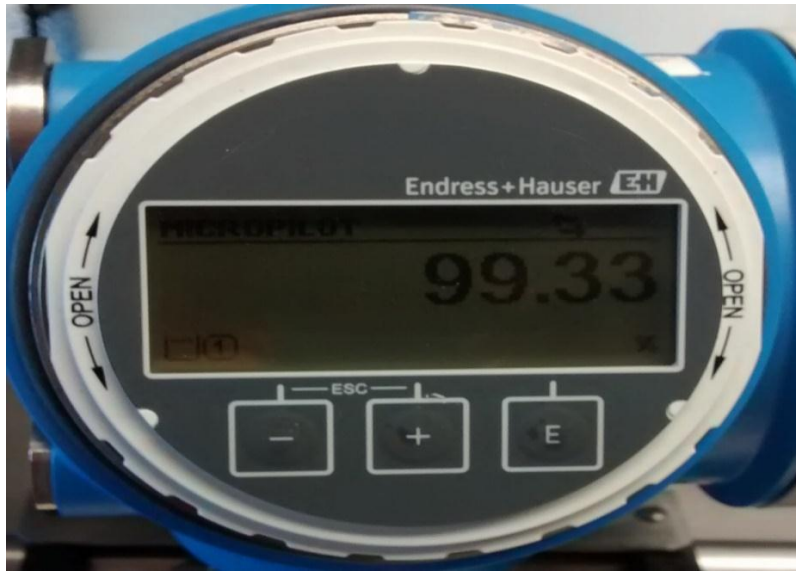


FIGURA 4-5: SENSOR MICROPILOT FMR51 TK-10A LLENO. FUENTE: AUTOR

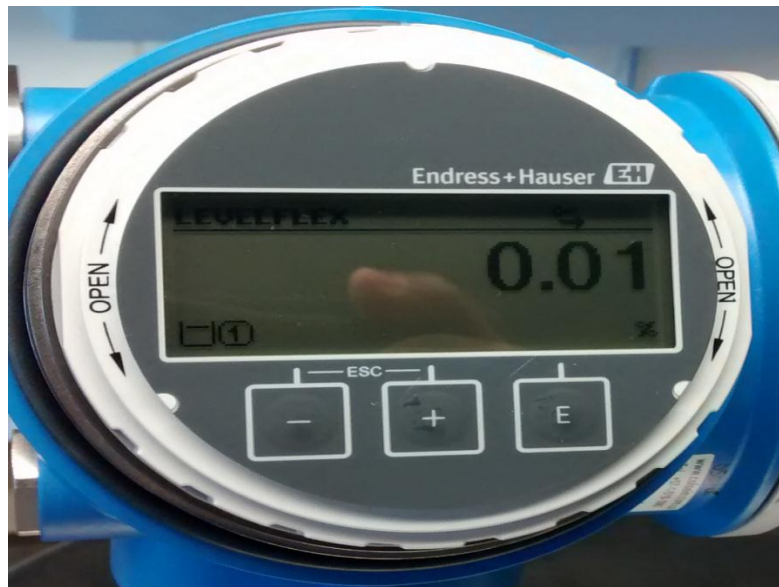


FIGURA 4-6: SENSOR LEVELFLEX-FMP52 TK-20 VACIO. FUENTE: AUTOR



FIGURA 4-7: SENSOR DELTAPILOT M FMB50 TK-20 VACIO. FUENTE: AUTOR

4.3 PRUEBA N°2: TANQUE TK-20.

Tal como se muestra en la Figura 4-8, el indicador de la pantalla Deltapilot M FMB50 indica que el tanque TK-20 se encuentra en su nivel máximo. Los tanques TK-10A y TK-10B están en su nivel mínimo. Para esta prueba donde solo se pretende leer los sensores, pero para obtener estos valores posteriormente fueron calibrados cada uno de los sensores. Resultados como estos son esperados, debido a que se tomó la distancia adecuada para que la capacidad máxima del tanque fuera la apropiada.



FIGURA 4-8: LECTURA DEL SENSOR DELTAPILOT M FMB50 TK-20 LLENO. FUENTE:
AUTOR

El indicador gráfico del sensor Micropilot FMR51 hace evidente que el tanque TK-10A se encuentra en su nivel mínimo, el cual corresponde al 0% de su capacidad (Figura 4-9). Además, la Figura 4-10 corrobora la información para el sensor Liquicap M FM151 ubicado en el tanque TK-10B, ya que muestra 0% como el nivel mínimo del sensor.



FIGURA 4-9: LECTURA DEL SENSOR MICROPILOT FMR51 TK-10A VACIO. FUENTE: AUTOR



FIGURA 4-10: LECTURA DEL SENSOR LIQUICAP M FM151 TK-10B VACIO. FUENTE: AUTOR

Finalmente, el sensor LevelFlex-FMP52 (Figura 4-11) indica que el taque TK-20 se encuentra en su nivel máximo. Comprobando la información entregada por el sensor Deltapilot M FMB50, por lo tanto, los sensores si se encuentran calibrados correctamente.



FIGURA 4-11: LECTURA DEL SENSOR LEVELFLEX-FMP52 TK-20 LLENO. FUENTE: AUTOR

4.4 PRUEBA N°3: TURBULENCIA.

Como última prueba los tanques fueron llenados hasta la mitad de su capacidad (Figura 4-12), cabe resaltar que solo se muestra los sensores Micropilot, Levelflex y Deltapilot ubicados en los tanques TK-10A y TK-20, el sensor Liquicap no se hace referencia ya que ese es un tanque auxiliar y no tiene conexión de turbulencia.

En la Figura 4-11, el sensor Micropilot ubicado en el taque TK-10A muestra una medida de 54,31% mientras que los sensores Levelflex y Deltapilot tienen una lectura de 32,52% y 36,8% estos sensores se encuentran ubicados en el mismo tanque TK-20, ellos tienen una lectura similar.

Por último, se le introduce turbulencia a los tanques anteriormente nombrados, cabe resaltar que al colocarles turbulencia el sistema coloca a prueba el desempeño de cada uno de los sensores, ya que deben de filtrar falsas lecturas.

En la Figura 4-13 se presenta las lecturas de los sensores involucrados en este proceso. Esta muestra presenta que el sensor Deltapilot es el más sensible a la turbulencia, ya que su nivel es mayor con respecto a la primera lectura.



FIGURA 4-12: LECTURA EN PANTALLA DE LOS SENSORES EN LOS TANQUES TK-10A Y TK20 SIN TURBULENCIA. FUENTE: AUTOR



FIGURA 4-13: LECTURA EN PANTALLA DE LOS SENSORES EN LOS TANQUES TK-10A Y TK20 CON TURBULENCIA. FUENTE: AUTOR

4.5 CALIBRADOR UNIVERSAL HART.

El comunicador de campo 475 acepta los dispositivos HART y FOUNDATION fieldbus, por lo que el usuario puede configurar o resolver problemas en el campo. La tecnología de Lenguaje de descripción de dispositivos electrónicos (EDDL, por sus siglas en inglés) permite que el comunicador de campo 475 se comunique con una gran variedad de equipos, independientemente del fabricante [15].

4.5.1 Conexión Bus HART Multipunto.

Para complementar la comunicación de los sensores de nivel y aprovechar todas las capacidades que ofrece el calibrador Universal HART, se conecta en paralelo con la configuración multipunto realizadas en los sensores, tal como se observa en

la Figuras 4-14. Para la instalación de este calibrador se realizaron los siguientes pasos:

- Instalar una resistencia mayor o igual a 250 ohmios en la toma del juego de cables.
- Se abre el bucle para conectar la resistencia (Figura 4-14) para conectarla en serie.
- Después de conectar la resistencia en serie, se cierra el bucle utilizando los conectores del juego de cables.

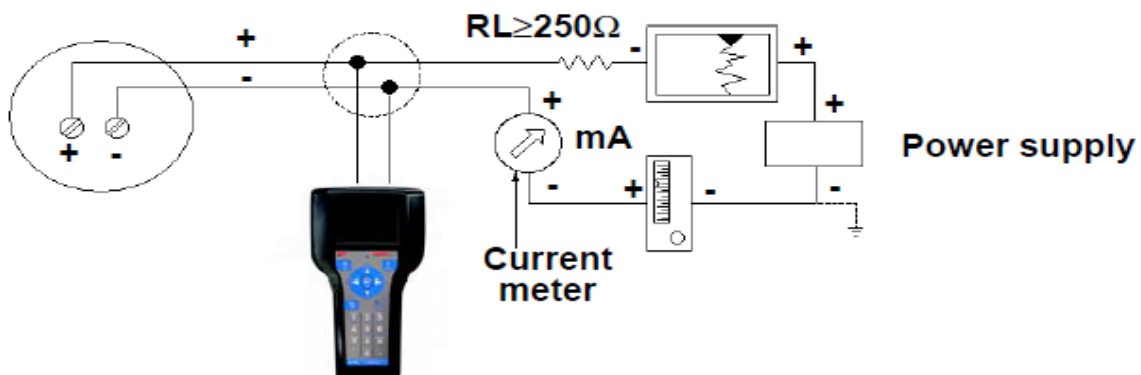


FIGURA 4-14: CONEXIÓN DEL CALIBRADOR UNIVERSAL HART CON LOS SENSORES [16].

4.5.2 Prueba de Funcionamiento.

Para la prueba de funcionamiento del calibrador universal HART 475 se debe encender el Calibrador universal HART. Al encender el equipo se encuentra diferentes opciones como:

- HART
- Fieldbus
- ValceLink Mobile
- Settings Listen for PC
- ScratchPad



Después que el dispositivo está encendido, presione  en la pantalla o la indicación de la flecha (►) del comunicador universal HART 475 para ingresar al menú principal del comunicador HART (Figura 4-15).



FIGURA 4-15: MENÚ PRINCIPAL COMUNICADOR 475 EMERSON. FUENTE: AUTOR

En el menú principal de la aplicación HART, se puede trabajar en fuera de línea, en línea, opciones de utilidad, o funciones de diagnósticos HART como se observa en la (Figura 4-16).

Si en la pestaña superior de la pantalla aparece , significa que el comunicador de campo 475 se encuentra comunicando en vivo con los dispositivos HART en línea.

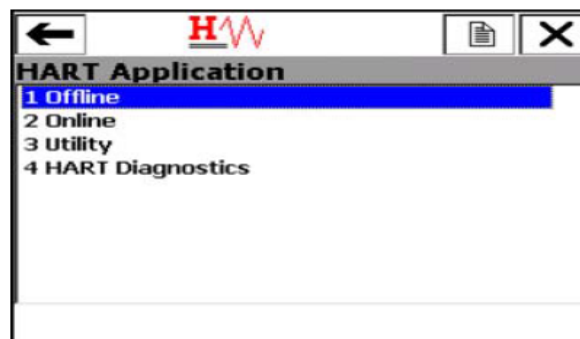


FIGURA 4-16: MENÚ PRINCIPAL APLICACIÓN HART. FUENTE: AUTOR

La aplicación HART encuesta automáticamente los dispositivos conectados en la red de comunicación HART (Figura 4-17). En la Figura 4-17, se observa la identificación de los sensores desde la posición 0 a 3, adicionalmente el calibrador universal HART puede leer hasta 64, pero para este módulo solo se cuenta con cuatro sensores por lo que se ajusta para que haga la lectura de 0-3. En caso de que el calibrador de comunicación no lea automáticamente ingresar a la opción 2 “Online” visto en la (Figura 4-16) con la indicación de la flecha (►) del equipo.

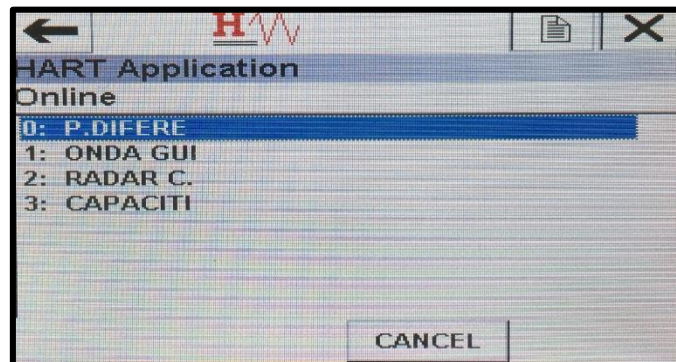


FIGURA 4-17: IDENTIFICACIÓN DE LOS SENSORES. FUENTE: AUTOR

Distribución de los sensores (Figura 4-17)

- 0: Sensor Presión Diferencial
- 1: Sensor Onda Guiada
- 2: Sensor Radar Convencional
- 3: Sensor Capacitivo

Para hacer la revisión de los parámetros de cada uno de los sensores seleccionamos el sensor que se quiere revisar y analizar cómo se observa a continuación:

0: Sensor Presión Diferencial

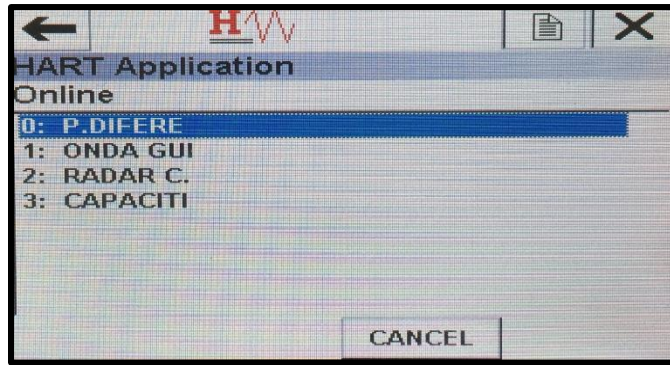


FIGURA 4-18: SELECCIÓN 0. FUENTE: AUTOR

En la Figura 4-18, se observa la selección del primer sensor (P. DIFERE) se presiona la tecla “enter” o la indicación de la flecha (►) del comunicador universal HART 475 para ingresar al menú principal del sensor. Después de oprimir la tecla observamos un submenú (Figura 4-19), en el cual, encontramos las diferentes opciones:

1. Language (Lenguaje)
2. Display/Operat (operación)
3. Setup
4. Diagnosis (diagnostico)
5. Expert (experto)
6. PV (porcentaje de llenado)
7. PV loop current

Adicionalmente, en la Figura 4-19 opción 6 se encuentra el valor del proceso de la variable nivel de líquido en unidades porcentuales del sensor de Presión Diferencial.

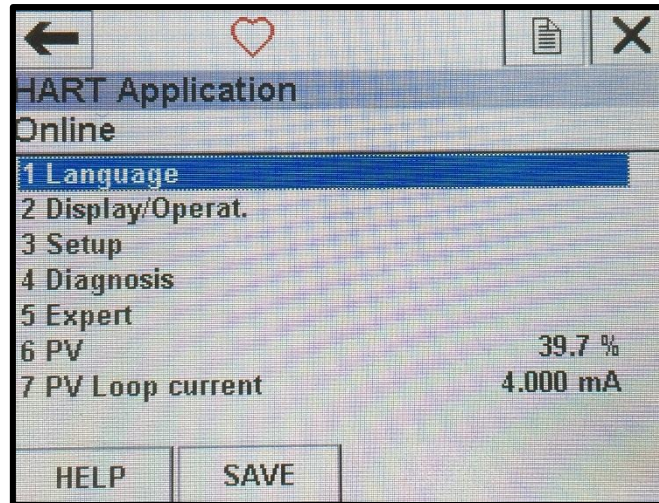


FIGURA 4-19: MENÚ DEL SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: AUTOR

Además de observar el valor % de nivel de líquido, se puede ajustar o calibrar este sensor de la siguiente manera. Para lograr esta calibración se dirigen a la opción 3 (Setup) y se oprime “Enter” o (▶) (Figura 4-20). En este menú se encuentra las siguientes opciones:

1. Measuring Mode (modo de medición)
2. Press. Eng. Unit (unidades de medida)
3. Correccted press.
4. Pos. Zero adjust (ajuste cero)
5. Empty calib. (calibración vacío)
6. Full calib. (calibración lleno)
7. Damping switch
8. Damping Value

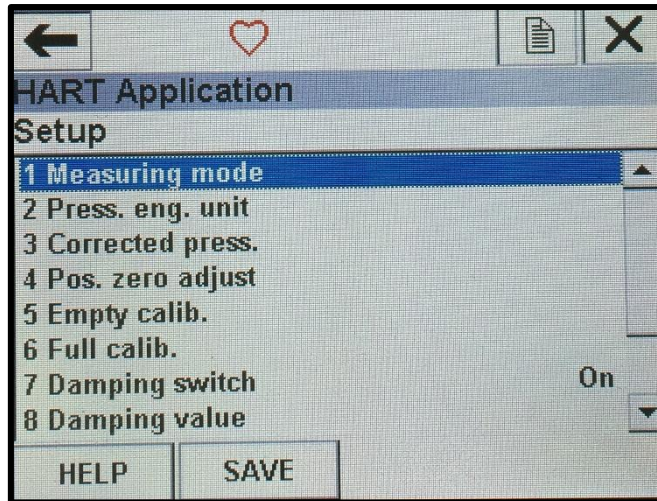


FIGURA 4-20: MENÚ SETUP. FUENTE: AUTOR

Al seleccionar la opción 1 (Measuring mode), se dirigen a un menú donde se puede seleccionar el tipo de medición a trabajar, para este caso se selecciona level (nivel) ya que esta variable primaria que se quiere estudiar (Figura 4-21).

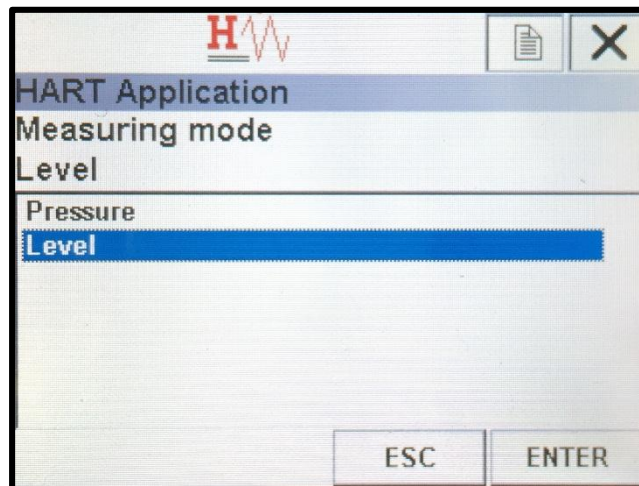


FIGURA 4-21: MODO DE MEDICIÓN. FUENTE: AUTOR

Por otro lado, al ingresar a la opción 2 (Press. Eng. Unit) se observa las diferentes unidades de medición que maneja el sensor, (Figura 4-22). Cabe aclarar que para el ajuste del sensor de presión diferencial se puede parametrizar en base a la

presión que está ejerciendo el líquido sobre el diafragma, ya sea en unidades Pa, kPa, MPa, psi, mmHg y entre otras. Se selecciona la unidad de presión y se oprime “Enter”, y por último “Send”.

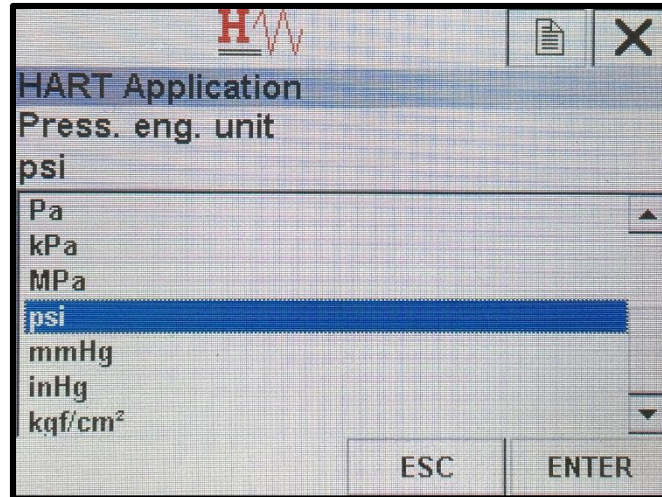
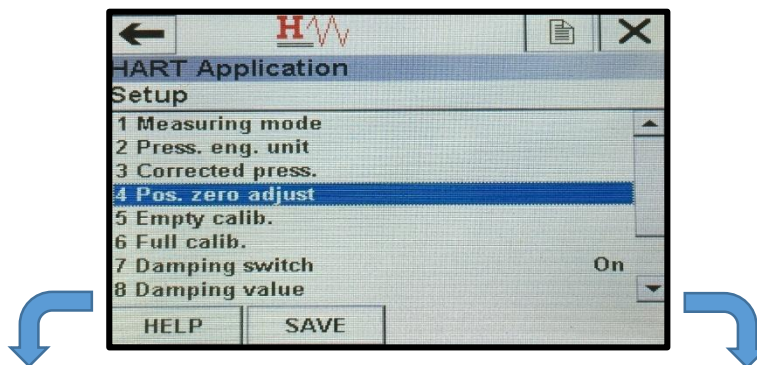


FIGURA 4-22: DIFERENTES UNIDADES. FUENTE: AUTOR

Finalmente, en la opción 5 (Empty calib) y opción 6 (Full calib) de la figura 4-20 se encuentra la posibilidad para hacer calibración en vacío y lleno (Figura 4-23), utilizando el 0 % para la calibración vacío y 100 % calibración en lleno, presionando “Enter” y luego “Send” para enviar los cambios al sensor cuando se encuentre en el nivel correspondiente. Estos parámetros se ajustan cuando se hace el cambio del agua.



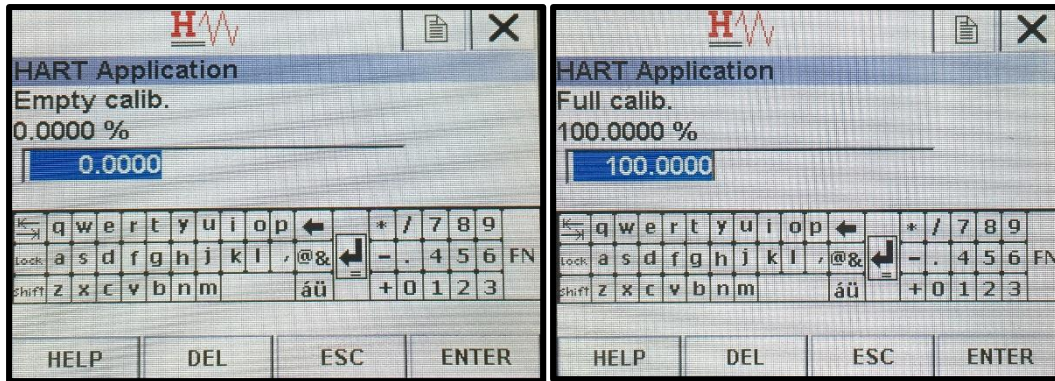


FIGURA 4-23: CALIBRACIÓN DEL SENSOR. FUENTE: AUTOR

Use el icono de flecha hacia atrás (←) en la ventana para volver al menú anterior. Utilice el icono de cierre (X) en la esquina superior derecha de la ventana para finalizar la aplicación.

Nota: Tener en cuenta que el cero del sensor de presión diferencial no corresponde con el cero del tanque TK-20, por lo que existe un volumen muerto.

5. PRACTICA DE LABORATORIO.

5.1 GUÍA DE LABORATORIO (Resumen).

**LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA-SECCIONAL BUCARAMANGA**

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar y analizar los diferentes instrumentos del laboratorio, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas, simbología y funcionalidad.
- Aprender a conocer las diferentes configuraciones de ajustes de los sensores a través del comunicador HART 475.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Familiarizarse con el módulo y el proceso de los tanques para identificar la dinámica de medición de nivel de líquido.
- Identificar las características que hay que tener en cuenta al momento de calibrar cada uno de los sensores de nivel por medio del comunicador HART 475.

PROCEDIMIENTO

1. Identificar los siguientes componentes del módulo de medición de nivel de líquidos:

- Tanques de almacenamiento
- Bomba de agua
- Manómetro
- Sensor Capacitivo (Liquicap-M FM151)
- Sensor Radar convencional (Micropilot-FMR51)
- Sensor Radar de Onda Guiada (Levelflex-FMP52)
- Sensor Presión Diferencial (Deltapilot-M FMB50)
- Calibrador Universal HART
- Electroválvulas

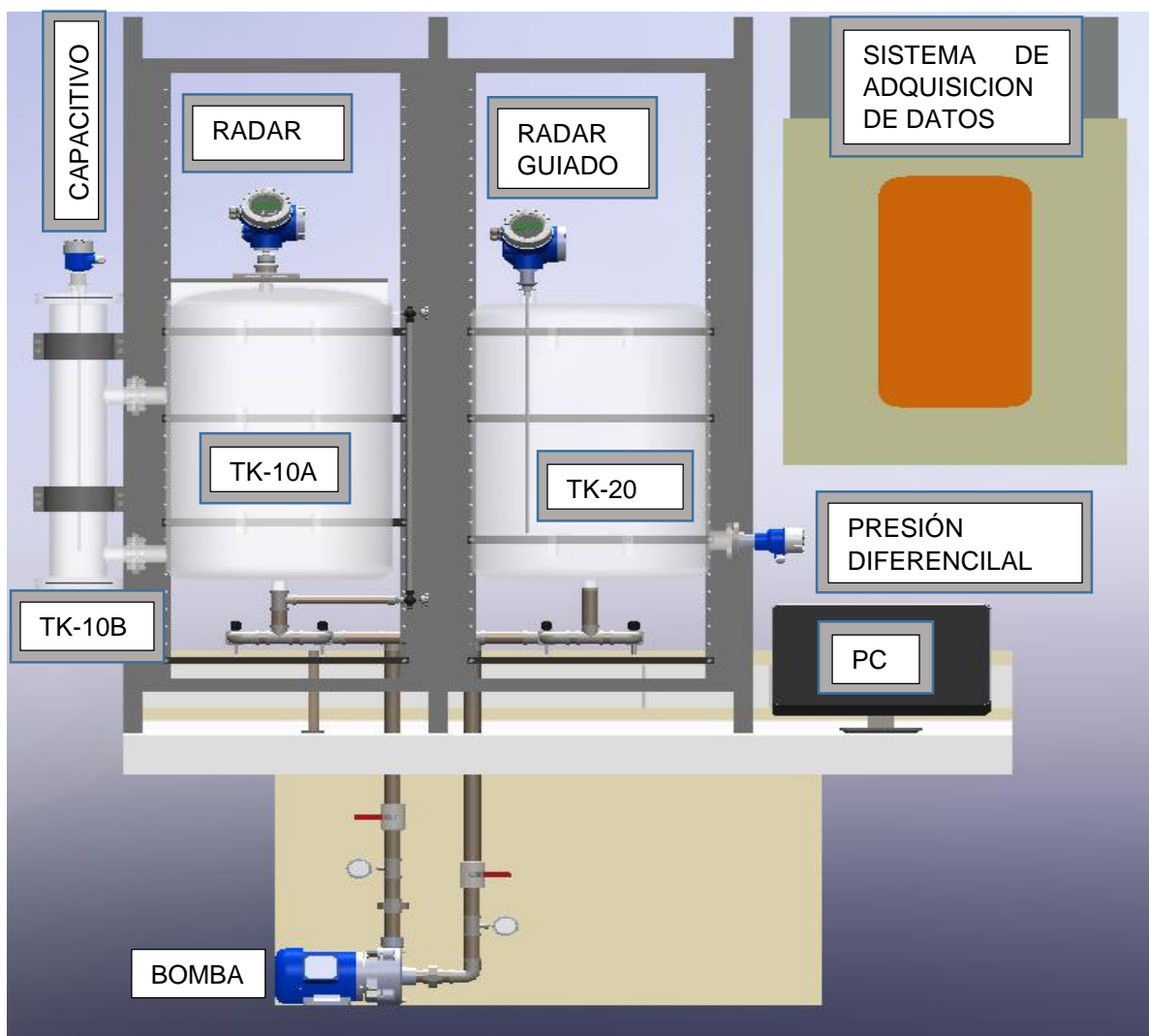


FIGURA 5-1: MÓDULO NIVEL. FUENTE: AUTOR

2. Análisis de conexiones HART en el módulo de nivel de líquidos.
3. Realice una revisión de los parámetros de los sensores con el calibrador universal HART 475.
4. Realice una inspección visual y detallada de toda la tubería, desde el nivel de los tanques Ω de almacenamiento, hasta las uniones de la tubería, verificando que no exista ningún tipo de fuga de agua.
5. Después de hacer la inspección visual del módulo, se dirigen a manipular la HMI.

PRACTICA

6. Llene completamente el tanque TK-10A y TK-10B, asegurándose que el tanque TK-20 quede completamente vacío. Para esto active las electroválvulas FV -10A FV-10B y la bomba desde la HMI. Una vez llenado el tanque TK-10A y TK-10B, apague la bomba y cierre las electroválvulas.
 - Encienda las electroválvulas FV-20A FV-20B y la bomba, de modo que el agua fluya en sentido opuesto. Registrar de 10 en 10 los niveles de líquido para los sensores del tanque TK-20, una vez completada este proceso se desactiva la bomba y las electroválvulas. Vuelva a repetir el paso 6, repita este paso dos (2) veces más.
7. Llene completamente el tanque TK-20, asegurándose que el tanque TK-10A y TK-10B quede completamente vacío. Para esto active las electroválvulas FV-20A FV-20B y la bomba desde la HMI. Una vez llenado el tanque TK20, apague la bomba y cierre las electroválvulas.

- Encienda las electroválvulas FV-10A FV-10B y la bomba, de modo que el agua fluya en sentido opuesto. Registrar de 10 en 10 los niveles de líquido para los sensores del tanque TK-10A y TK-10B, una vez completada este proceso se desactiva la bomba y las electroválvulas. Vuelva a repetir el paso 7, repita este paso dos (2) veces más.

8. Realizando 2 curvas de nivel en ascenso-descenso, analice el comportamiento de los sensores, su zero, su span, e interrelacione sus curvas características. ¿Podría determinar la histéresis y la repetibilidad de los sensores?

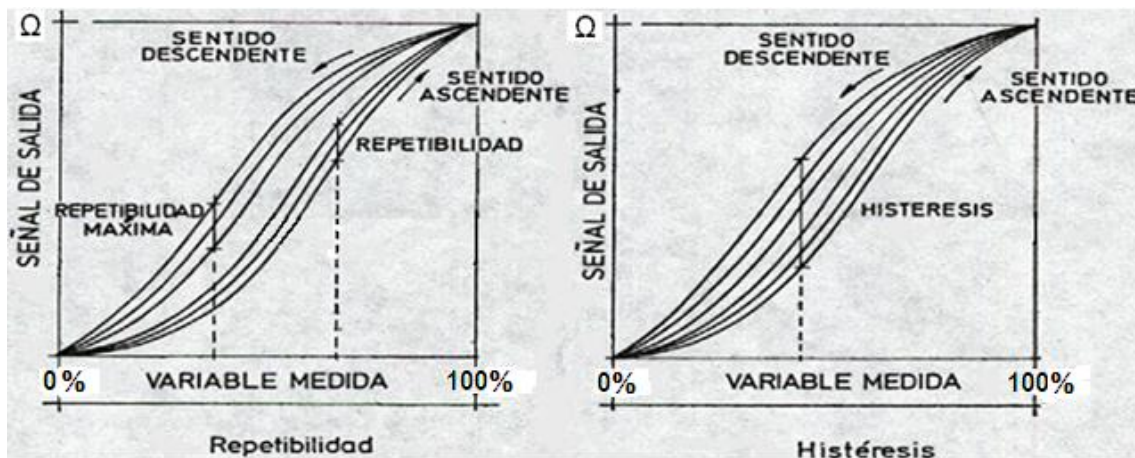


FIGURA 5-2: CURVAS DE NIVEL ASCENSO Y DESCENSO.

FUENTE: AUTOR

9. Finalmente, active las válvulas de aire encendidas, con el fin de generar turbulencia en el sistema. Esto lo puede realizar desde la interfaz gráfica de LabVIEW y analice el comportamiento de los sensores.

ANÁLISIS DE RESULTADO

- a. Determine todas las fuentes de incertidumbre de la medida del experimento.
- b. Con las curvas características de ascenso-descenso analice el comportamiento de los sensores, su zero, su span, e interrelacione sus curvas características. ¿Podría determinar la histéresis y la repetibilidad de los sensores?
- c. Determine cual sensor es el más inestable al momento de generarse turbulencia.
- d. Conclusiones y Recomendaciones.

5.2 PRESTACIÓN DE SERVICIOS.

Durante el desarrollo del proyecto de grado, el módulo de nivel ha prestado un servicio a los estudiantes de la comunidad Bolivariana, hablando más específicamente a los posgrados de la especialización en control e instrumentación industrial, en el cual los estudiantes observaron el funcionamiento del Módulo de nivel, visualizando el control del proceso desde el sistema SCADA.

Diseñando una guía del laboratorio como material de apoyo a asignaturas de procesos de las facultades de Ingeniería Industrial, Mecánica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Esta guía de trabajo permite conocimientos tales como:

- Conocer las diferentes tecnologías para medición de nivel de líquidos.
- Entender el funcionamiento de los elementos del módulo.
- Familiarizarse con un sistema SCADA básico de tal manera que controle un proceso de la industria.
- Hacer una comparación de los comportamientos de los sensores involucrados en este módulo.

Este servicio es parte importante de la operación del módulo de nivel, facilitando el conocimiento, entendimiento y operación de los elementos del sector industrial en la Figura 5-2 se observa el acompañamiento y explicación del Módulo.



FIGURA 5-3: ACOMPAÑAMIENTO A ESTUDIANTES DE LA ESPECIALIZACIÓN.

FUENTE: AUTOR

RECOMENDACIONES.

Durante el desarrollo de la presente fase se realizó un sistema SCADA del módulo de nivel de líquidos y se adicionaron elementos importantes, por esta razón se presentan las siguientes recomendaciones para las fases futuras del banco de nivel de líquidos.

- Por motivos de seguridad se recomienda hacer una guía del calibrador HART universal 475.
- Debido al uso no constante, la bomba puede presentar nuevamente oxidación, por ello es recomendable mantenimiento constante de la bomba.
- Para una correcta medición se recomienda cada cierto tiempo realizar un ajuste a todos los sensores y componentes que conforman el módulo de nivel.
- Antes de colocar el módulo de nivel de líquidos en marcha, se debe de asegurar que cada uno de los elementos estén funcionando adecuadamente.
- Para una mejor lectura de los sensores, se debe cambiar el agua cada 2 semanas.

CONCLUSIONES.

La medición de la variable nivel en la industria, son muy importantes desde el punto de vista de funcionamiento porque permite optimizar los procesos de producción y los recursos utilizados en este.

Los instrumentos para la medición de nivel varían en complejidad de acuerdo con la aplicación y su dificultad, en lo cual se debe tener la seguridad de realizar la mejor selección teniendo en cuenta un rango de medición, la naturaleza del fluido que va ser medido y las condiciones de operación en las que se va a trabajar.

El estudio en esta sección de la variable nivel va dirigido a la investigación cualitativa, en comparar y destacar semejanzas y diferencias entre los instrumentos al momento de llenar o vaciar un tanque.

La automatización industrial ha permitido la implementación de nuevas estrategias de control y supervisión de operaciones industriales cada vez más precisas y confiables. Como resultado de este trabajo se obtiene el diseño de una VI basado en un sistema SCADA, el cual cumple con los requerimientos funcionales de normatividad, coordinación y que permite el desarrollo de una red inteligente gracias al control y monitoreo de los sensores.

El transporte de información y comunicación de los sensores se realiza a través del protocolo del Bus HART (técnica multipunto). En el caso del régimen de operación multipunto se debe realizar el direccionamiento de la red HART antes de realizar los ajustes de parámetros, con el fin de evitar que se solapen unos con otros al momento de comunicarse y solicitar una orden del el maestro-esclavo.

Se realizó numerosas pruebas para determinar el correcto funcionamiento del sistema de medición de nivel de líquidos implementado, entre esas la toma de medidas en diferentes tiempos de nivel de los tanques, con esto se logró determinar desfases de calibración de los sensores al igual que en el sistema mecánico fue decisivo determinar el problema de agua contaminada que se generaba producto de la oxidación en las alas de la bomba, el cual era el causante de pequeños

desfases en la medición, que a pesar de ser en acero inoxidable con el tiempo empieza afectar tanto a las paredes de los tanques como a la lectura de los sensores. Lo que permitió dejar un sistema estable y con medidas garantizadas para la puesta en marcha del módulo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] Diccionario Galvanizar. Available: <https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=galvanizar>. [Último acceso: 26 Enero 2016].
- [2] ICG, INDUSTRIAL CONSULTING GROUP. Available: <http://industrialconsulting.com/COMISIONAMIENTO/> [Último acceso: 10 de junio 2016].
- [3] D. Rueda y L. Tavera, Especificación y Diseño de un Banco de Ensayo para la Medición de Nivel de Líquidos en el Laboratorio de Instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2014.
- [4] M. Mercado y J. Amador, Implementación de un Banco de ensayo para la medición de Nivel de Líquido en el Laboratorio de Instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2016.
- [5] Instituto Nacional de Metrología de Colombia. Available: <http://www.inm.gov.co/index.php/el-inm/red-colombiana-de-metrologia> [último acceso: 22 de mayo del 2016].
- [6] Norma ISA 5.1. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/92600943/norma-ISA-S5-1>. [Último acceso: 17 de marzo 2016].
- [7] Graphic Symbols for Process Displays. ANSI/ISA 5.5-1986
- [8] Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico de puestos con pantallas de visualización, 2da Edición. Available: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias_Ev_Riesgos/normastecnicaspvd.pdf. [Último acceso: 19 de Mayo 2016].
- [9] Las normas en ergonomía de software. Available: <http://es.ccm.net/faq/1632-las-normas-en-ergonomia-de-software>. [Último acceso: 19 Mayo 2016].
- [10] En busca del Diseño Centrado en el Usuario (DCU): definiciones, técnicas y una propuesta. Available. <http://www.nosolousabilidad.com/articulos/dcu.htm>. [Último acceso: 19 de Mayo 2016].

[11] National Instruments, «Configurador CompactRIO,» 2016. [En línea]. Available: <http://ohm.ni.com/advisors/crio/pages/common/intro.xhtml>. [Último acceso: 14 Enero 2016].

[12] National Instruments, «Configurador CompactRIO,» 2016. [En línea]. Available: <http://ohm.ni.com/advisors/crio/pages/common/intro.xhtml>. [Último acceso: 17 Mayo 2016]

[13] R.L. Krutz. Securing SCADA systems. Wiley Pub., 2005.

[14] Características HMI. [En línea]. Available: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>. [Último acceso: 17 Enero 2016].

[15] 475 Field Communicator [En línea]. Available: http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductReferenceAndGuides/475_ru_usermanual.pdf [Último acceso: 30 Mayo 2016]

[16] 475 Field Communicator, User´s Manual. [En línea]. Available: <https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=traductor>. [Ultimo acceso: 03 junio 2016]

[17] ICG, INDUSTRIAL CONSULTING GROUP. Available: <http://industrialconsulting.com/puesta%20en%20marcha/> [Último acceso: 10 de junio 2016].

ANEXO A

PLANO DE LA PROGRAMACIÓN

(VER CD)

ANEXO B

SOFTWARE DESARROLLADO EN LABVIEW

(VER CD)

ANEXO C

SOFTWARE DESARROLLADO EN LABVIEW

(VER CD)

ANEXO D

SOFTWARE DESARROLLADO EN LABVIEW

(VER CD)

ANEXO E

MAPAS DE CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

(VER CD)