

**IMPLEMENTACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PROCESO PARA LA  
MEDICIÓN DE LAS VARIABLES REQUERIDAS EN EL PRIMER ANILLO DE  
CALIBRACIÓN DE FLUJO DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DE LA  
NORMA NTC1063-3 REFERENTE AL ENSAYO MEDIANTE EL MÉTODO DE  
“RECOLECCIÓN”.**

**ANDREA PAOLA PABÓN ORTEGA  
ARIEL SEBASTIAN MELO GOMEZ**



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

**2016**

**IMPLEMENTACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PROCESO PARA LA  
MEDICIÓN DE LAS VARIABLES REQUERIDAS EN EL PRIMER ANILLO DE  
CALIBRACIÓN DE FLUJO DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DE LA  
NORMA NTC1063-3 REFERENTE AL ENSAYO MEDIANTE EL MÉTODO DE  
“RECOLECCIÓN”.**

**INTEGRANTES:**

**ANDREA PAOLA PABÓN ORTEGA  
ARIEL SEBASTIAN MELO GOMEZ**

**PROYECTO DE GRADO**

**DIRECTOR DEL PROYECTO:**

**ESP. JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA**



**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, Enero 2016

*Bucaramanga, Enero 2016*

*Agradezco a Dios por guiar cada paso que doy, por llenar mi vida de bendiciones y por darme la oportunidad de estudiar y salir adelante a pesar de las dificultades que se me han presentado, a mis padres que desde el cielo me protegen les agradezco el haberme enseñado a enfrentar la vida y ser una persona independiente, a mis hermanas por darme esa fuerza para seguir adelante y a mi familia por todo su apoyo y confianza, gracias a ellos seré una gran Ingeniera.*

Andrea Paola Pabón Ortega

Bucaramanga, Enero 2016

*A Dios por todas y cada una de las experiencias brindadas y oportunidades de aprender, a mis padres que me han facilitado todos los medios para educarme correctamente y me han enseñado a perseverar por las metas que quiero alcanzar, a mi novia que me ha apoyado durante mi proceso de formación, a mis amigos y compañeros de estudio quienes me acompañaron y ayudaron en el transcurso de mi estudio y a mis profesores quienes han transmitido y contribuido en la formación de mi conocimiento, a todos ellos agradezco su presencia en mi formación profesional.*

Ariel Sebastián Melo Gómez

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradecemos a Dios por su compañía, y por darnos tanta fuerza para salir adelante e iluminar nuestro camino y entendimiento.

A nuestra familia quienes nos brindaron todo su apoyo y confianza, al ingeniero Juan Carlos Mantilla Saavedra por su acompañamiento, orientación y amistad, a la ingeniera Leidy Johanna Olarte Silva y a la ingeniera Jessica por su colaboración y apoyo en temas referentes a la tesis.

Al ingeniero Nelson y a los integrantes del laboratorio de metrología del Acueducto Municipal de Bucaramanga AMB por el acompañamiento en la capacitación, al ingeniero Gerardo Porras por brindar apoyo en las visitas técnicas y a los docentes de la facultad de Ingeniería Electrónica por transmitirnos conocimiento.

A nuestros compañeros de estudio con quienes vivimos muchas experiencias.

## CONTENIDO

Pág.

<b>1. ANTECEDENTES DEL MÓDULO DE FLUJO.....</b>	<b>22</b>
<b>1.1 FASE 1. DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2 FASE 2. IMPLEMENTACIÓN BÁSICA DEL BANCO DE FLUJO.....</b>	<b>24</b>
<b>1.3 FASE 3. IMPLEMENTACIÓN DEL PRIMER ANILLO DE CALIBRACIÓN DEL BANCO DE FLUJO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.4 REFERENTES DEL ENTORNO INDUSTRIAL.....</b>	<b>26</b>
<b>1.4.1 Visita técnica al AMB.....</b>	<b>28</b>
<b>1.4.2 Visita técnica al CDT de Gas.....</b>	<b>29</b>
<b>1.4.3 Visita técnica al Instituto Nacional de Metrología INM.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.4 Pasantía en el Laboratorio de Vibraciones de la UPB.....</b>	<b>32</b>
<b>1.4.4.1 Generalidades de la Norma ISO 17025.....</b>	<b>33</b>
<b>1.4.4.2 Requisitos de gestión.....</b>	<b>33</b>
<b>1.4.4.3 Requisitos técnicos.....</b>	<b>34</b>
<b>2. REVISIÓN DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC1063.....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 GENERALIDADES.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2 PARTES DE LA NORMA.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.1 Parte 1. Especificaciones.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.2 Parte 2. Requisitos de instalación.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.3 Parte 3. Equipos y métodos de ensayo.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.3.1 Equipos y métodos de ensayo.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.3.2 Lista de chequeo al método de ensayo.....</b>	<b>38</b>
<b>3 ADECUACIÓN DEL MÓDULO DE FLUJO EN FUNCIÓN DEL INCISO 5-3 DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC1063.....</b>	<b>41</b>

3.1 REVISIÓN Y AJUSTE DEL CABLEADO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO.....	41
3.2 AFORAMIENTO DE TANQUES PATRÓN.....	42
3.3 CRITERIOS DE INGENIERÍA PARA LA SELECCIÓN DE LOS SENSORES DEL BANCO DE FLUJO.....	43
3.3.1 Sensores de Temperatura.....	45
3.3.1.1 RTD Pt100.....	45
a. Información general de la RTD.....	45
b. Fundamentos de la RTD.....	47
c. Cómo realizar mediciones con una RTD.....	48
d. Configuración de conexión.....	49
e. Consideraciones de ruido de una RTD.....	50
3.3.2 Sensores de Presión.....	50
3.3.2.1 Clases de Presión.....	50
3.3.2.2 Manómetro.....	53
3.3.2.3 Transmisor de Presión.....	54
4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	58
4.1 DESCRIPCIÓN.....	58
4.2 PARTES DE UN SISTEMA DAQ.....	58
4.3 MÓDULOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DEL BANCO DE FLUJO.....	59
4.3.1 Módulo de entradas análogas.....	60
4.3.2 Módulo de entradas digitales.....	60
4.3.3 Módulo salidas digitales.....	61
4.4 ESTANDAR 4 A 20 mA.....	61
4.5 TRANSMISORES DE TEMPERATURA 4 A 20 mA.....	63
4.5.1 Conexión del Transmisor de Temperatura.....	64
4.6 PLANO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO.....	65

<b>4.7 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PRELIMINAR...</b>	<b>66</b>
4.7.1 Comunicación digital.....	66
4.7.2 Interfaz RS485.....	70
4.7.3 Protocolo MODBUS.....	72
4.7.3.1 Parámetros para comunicación MODBUS.....	73
4.7.3.2 Estructura de mensaje Modbus RTU.....	78
a. Campo de arranque / parada.....	79
b. Campo de Dirección.....	79
c. Campo de función.....	80
d. Campo de datos.....	80
e. Campo de comprobación CRC.....	81
4.7.3.3 Diseño de tramas Modbus RTU.....	82
<b>4.8 DISEÑO HMI (INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA).....</b>	<b>85</b>
4.8.1 Recirculación.....	89
4.8.1.1 Generación de reportes.....	90
4.8.1.2 Encendido y apagado de las Bombas.....	92
4.8.1.3 Adquisición de Señales Análogas.....	93
a. Flujo, Temperatura y Presión.....	93
4.8.1.4 Alarmas.....	105
4.8.2 Volumetría.....	106
4.8.2.1 Control de llenado de los Tanques Patrones.....	107
4.8.2.2 Control de vaciado de los Tanques Patrones.....	108
4.8.2.3 Sensores capacitivos.....	109
4.8.3 Monitoreo.....	110
4.8.4 P&ID (Piping and Instrumentation Diagram).....	113
4.8.5 Información.....	114
<b>5 OPERACIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>115</b>
<b>5.1 REPORTE DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN</b>	
<b>REALIZADAS.....</b>	<b>115</b>

<b>5.2 GUÍA DE LABORATORIO.....</b>	<b>116</b>
<b>5.3 PRESTANCION DE SERVICIOS.....</b>	<b>116</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>126</b>

## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Descripción del Banco de Ensayo .....	38
<b>Tabla 2.</b> Tubería.....	39
<b>Tabla 3.</b> Sensores más comunes de Temperatura.....	44
<b>Tabla 4.</b> Comparación de Sensores de Temperatura comunes.....	46
<b>Tabla 5.</b> Datos técnicos Transmisor de Presión Siemens SINTRANS P200.....	56
<b>Tabla 6.</b> Parámetros grupo 3 Variador de Frecuencia.....	74
<b>Tabla 7.</b> Parámetros grupo 8 del Variador de Frecuencia.....	75
<b>Tabla 8.</b> Parámetros Variador de Frecuencia.....	76
<b>Tabla 9.</b> Estructura de mensaje Modbus RTU.....	78
<b>Tabla 10.</b> Tramas para el Variador de Frecuencia FC102.....	83
<b>Tabla 11.</b> Tramas para el Variador FC51.....	84
<b>Tabla 12.</b> Datos de caudal y corriente del Variador de Frecuencia FC102.....	97
<b>Tabla 13.</b> Datos de caudal y corriente del Variador de Frecuencia FC51.....	98
<b>Tabla 14.</b> Datos de temperatura y corriente de la RTD Pt100.....	101
<b>Tabla 15.</b> Datos de corriente vs presión del Transmisor de Presión.....	103
<b>Tabla 16.</b> Prueba de volumetría.....	115

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Diseño del Módulo de Flujo fase 1.....	23
<b>Figura 2.</b> Diseño pérdidas de presión fase 1.....	24
<b>Figura 3.</b> Diseño del Módulo de Flujo fase 2.....	25
<b>Figura 4.</b> Diseño de los Tanques Patrones fase 3.....	27
<b>Figura 5.</b> Diseño y ubicación del Gabinete Eléctrico.....	27
<b>Figura 6.</b> Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.....	28
<b>Figura 7.</b> Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas.....	30
<b>Figura 8.</b> Instituto Nacional de Metrología.....	31
<b>Figura 9.</b> Laboratorio de Vibraciones de la UPB.....	32
<b>Figura 10.</b> Cableado de las bombas.....	41
<b>Figura 11.</b> Terminal para RTD de 3 Hilos.....	42
<b>Figura 12.</b> Probeta.....	43
<b>Figura 13.</b> Aforo Tanques Patrones.....	43
<b>Figura 14.</b> Arquitectura física de una RTD.....	47
<b>Figura 15.</b> Curva de resistencia vs temperatura para una RTD de Platino de 100 $\Omega$ , $a = 0.00385$ .....	48
<b>Figura 16.</b> Realizar una medida con RTD/Termistor de 2 Cables.....	49
<b>Figura 17.</b> Realizar una medida con RTD de 4 Cables.....	49
<b>Figura 18.</b> Clases de Presión.....	51
<b>Figura 19.</b> Manómetro de Tubo de Bourdón.....	54
<b>Figura 20.</b> Transmisor de Presión SITRANS P200 de Siemens.....	55

<b>Figura 21.</b> Diagrama de Función del Transmisor de Presión SITRANS P200.....	56
<b>Figura 22.</b> Partes de un Sistema DAQ.....	59
<b>Figura 23.</b> Sistema de Adquisición de Datos usado en el Módulo de Flujo.....	60
<b>Figura 24.</b> Módulo análogo de corriente NI 9203.....	62
<b>Figura 25.</b> Módulo de entradas digitales NI 9421.....	62
<b>Figura 26.</b> Módulo de Salidas digitales NI 9472.....	63
<b>Figura 27.</b> Transmisor de Temperatura RTD.....	63
<b>Figura 28.</b> Conexión transmisor de Temperatura a la tarjeta de Adquisición de Datos NI 9203.....	64
<b>Figura 29.</b> Plano eléctrico.....	65
<b>Figura 30.</b> Secuencia de bits.....	66
<b>Figura 31.</b> Red tipo bus.....	67
<b>Figura 32.</b> Conexión conversor RS485 a los convertidores de Frecuencia en topología bus.....	68
<b>Figura 33.</b> Conexión del bus en el Gabinete.....	69
<b>Figura 34.</b> Conexión del Variador de Frecuencia FC 51.....	69
<b>Figura 35.</b> Conexión del Variador de Frecuencia FC 102.....	70
<b>Figura 36.</b> Conexión ADAM.....	70
<b>Figura 37.</b> Sistema multipunto con conexión por bus con RS485.....	71
<b>Figura 38.</b> Cálculo CRC-16bits en LabVIEW.....	82
<b>Figura 39.</b> Programa para el cálculo del CRC-16 bits.....	82
<b>Figura 40.</b> Interfaz de prueba.....	85
<b>Figura 41.</b> Programación comunicación básica serial.....	85
<b>Figura 42.</b> Datalogging and Supervisory Control Module DSC, LabVIEW.....	86
<b>Figura 43.</b> Ejemplo de activación de tuberías y válvulas en LabVIEW.....	87
<b>Figura 44.</b> Programación del ejemplo de activación de tuberías y válvulas en LabVIEW.....	87

<b>Figura 45.</b> Activación de tubería en labVIEW.....	88
<b>Figura 46.</b> Activación de Válvulas en LabVIEW.....	88
<b>Figura 47.</b> Ventana de Recirculación HMI.....	90
<b>Figura 48.</b> Selección tipo de caudal a manejar en la prueba.....	90
<b>Figura 49.</b> Generación de reporte HMI.....	91
<b>Figura 50.</b> Programación generación de reportes HMI.....	91
<b>Figura 51.</b> Botones de encendido y de apagado de las Bombas.....	92
<b>Figura 52.</b> Programación de los botones de encendido, de apagado y de frecuencia.....	94
<b>Figura 53.</b> Botones de frecuencia de la Interfaz.....	95
<b>Figura 54.</b> Sensor de Flujo E&H.....	95
<b>Figura 55.</b> Transmisor del sensor de Flujo E&H.....	96
<b>Figura 56.</b> Gráfica Corriente vs Caudal, variador FC102.....	96
<b>Figura 57.</b> Gráfica Corriente vs Caudal, variador FC51.....	98
<b>Figura 58.</b> Adquisición de Flujo, Presión y Temperatura en LabVIEW, para Caudales máximos y de transición.....	99
<b>Figura 59.</b> Adquisición de Flujo, Presión y Temperatura en LabVIEW, para Caudales mínimos.....	99
<b>Figura 60.</b> RTD Pt100.....	100
<b>Figura 61.</b> Montaje del Termopozo y del Transmisor de Presión.....	100
<b>Figura 62.</b> Toma de datos utilizando Baño Seco.....	101
<b>Figura 63.</b> Linealización RTD Pt100.....	102
<b>Figura 64.</b> Conversión de la señal de corriente adquirida a unidades de temperatura en LabVIEW.....	102
<b>Figura 65.</b> Gráfica de corriente vs presión del Transmisor de Presión.....	103
<b>Figura 66.</b> Programación para la visualización de presión en la HMI.....	104
<b>Figura 67.</b> Prueba de medida sensores de presión.....	104

<b>Figura 68.</b> Alarma de presión HMI.....	105
<b>Figura 69.</b> Mirilla de Flujo.....	105
<b>Figura 70.</b> Prueba de Volumetría HMI.....	106
<b>Figura 71.</b> Botones y Válvulas de la interfaz.....	107
<b>Figura 72.</b> Activación y desactivación de las Válvulas de llenado de Tanques Patrones.....	108
<b>Figura 73.</b> Botones y Válvulas de vaciado HMI.....	108
<b>Figura 74.</b> Programación de los Botones de las Válvulas de vaciado.....	109
<b>Figura 75.</b> Ubicación de los sensores Capacitivos en la HMI.....	110
<b>Figura 76.</b> Programación de los Sensores Capacitivos.....	111
<b>Figura 77.</b> Pestaña de monitoreo HMI.....	112
<b>Figura 78.</b> Programación para el monitoreo de Válvulas.....	112
<b>Figura 79.</b> Programación para el monitoreo de sensores.....	113
<b>Figura 80.</b> P&ID del Módulo de Flujo en HMI.....	113
<b>Figura 81.</b> Pestaña de Información HMI.....	114
<b>Figura 82.</b> Prestación de servicios usando la HMI .....	117
<b>Figura 83.</b> Prestación de servicios usando el Sensor E&H.....	117

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A.</b> Guía del laboratorio de Instrumentación.....	127
<b>Anexo B.</b> P&ID Módulo de Flujo.....	128
<b>Anexo C.</b> Manual de Instrucciones Sensor E&H.....	129
<b>Anexo D.</b> Información Técnica Sensor E&H.....	130
<b>Anexo E.</b> Calibración del Sensor E&H.....	131
<b>Anexo F.</b> Parámetros del Sensor E&H.....	132
<b>Anexo G.</b> Guía de Diseño Variador de Frecuencia FC51.....	133
<b>Anexo H.</b> Guía de Diseño Variador de Frecuencia FC102.....	134
<b>Anexo I.</b> Cotización ADAM.....	135
<b>Anexo J.</b> Parámetros ADAM.....	136
<b>Anexo K.</b> Cotización RTD y transmisor de Temperatura.....	137
<b>Anexo L.</b> Cotización Transmisor de Presión.....	138

## GLOSARIO

**ACREDITACIÓN:** Proceso en el que se evalúa la competencia y eficacia de una entidad que realiza una actividad que busca cumplir un modelo estándar, siendo revisado dicho modelo por una organización que verifica el cumplimiento del modelo y logros planteados, con el fin de estar asegurando la fiabilidad de los resultados obtenidos de dicho proceso.[26]

**AFORAR:** Calcular la capacidad de un receptáculo. [30]

**AISLAMIENTO GALVÁNICO:** El aislamiento Galvánico entre dos circuitos eléctricos o electrónicos inmediatamente vecinos significa que la corriente no puede fluir directamente entre los dos circuitos. El aislamiento galvánico no impide la transferencia de energía o información, pero no se presenta ningún contacto eléctrico, en otras palabras, no existe conexión alguna. [36]

**BARÓMETRO:** Instrumento que sirve para determinar la presión atmosférica. [34]

**CALIBRACIÓN:** Estimar o determinar las cualidades o la importancia de alguien. [28]

**CERTIFICACIÓN:** Es el procedimiento mediante el cual por medio de un certificado, se da garantía de que un producto, proceso o servicio cumple con los requisitos y normas respectivas. [26]

**DIAFRAGMA:** En micrófonos, manómetros, etc., lámina metálica fina y elástica que se deforma por la acción de las variaciones de la presión del aire. [35]

**LABVIEW:** Entorno de desarrollo diseñado específicamente para acelerar la productividad de ingenieros y científicos. Con una sintaxis de programación gráfica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería. [31]

**METROLOGÍA:** Ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesas y medidas. [29]

**ONAC:** Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, es una corporación sin ánimo de lucro, constituida en 2007, cuyo objetivo principal es la acreditación de Organismos de Evaluación de la Conformidad de acuerdo con la normatividad internacional y nacional aplicable. [25]

**PSI:** Se denomina PSI (del inglés Pounds per Square Inch) a una unidad de presión cuyo valor equivale a 1 libra por pulgada cuadrada. [33]

**SI:** El Sistema Internacional de Unidades (SI), conocido también como el sistema métrico moderno, es el estándar científico de pesas y medidas. [32]

**TRAZABILIDAD:** Propiedad de un resultado de medida que permite relacionarlo con una referencia superior mediante una cadena documentada de calibraciones. [27]

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** IMPLEMENTACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PROCESO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES REQUERIDAS EN EL PRIMER ANILLO DE CALIBRACIÓN DE FLUJO DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NTC1063-3 REFERENTE AL ENSAYO MEDIANTE EL MÉTODO DE “RECOLECCIÓN”.

**AUTORES:** ANDREA PAOLA PABÓN ORTEGA  
ARIEL SEBASTIAN MELO GOMEZ

**FACULTAD:** FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DIRECTOR:** JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

La evolución del módulo de flujo ubicado en el laboratorio de Instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana ha sido desarrollado a lo largo de tres fases, la primera de ellas se basó en el diseño del banco de ensayo para la medición de agua, la segunda correspondió a la adaptación de dicho diseño a las condiciones de laboratorio y a la tercera a la implementación del primer anillo de calibración de Flujo.

Se realizó un estudio a fondo de la ingeniería ejecutada en las tres fases anteriores, encontrándose algunas falencias y requerimientos exigidos en la norma NTC1063. Requerimientos que demandaron una evaluación de los componentes que cumplieran con la tarea estipulada y las especificaciones dadas por la norma, llevando esto a elegir como sensor de temperatura la RTD PT100 y como sensor de presión el transmisor de Presión tipo Piezorresistivo. Dichos sensores fueron ubicados aguas arriba y aguas abajo del sensor de Flujo tipo electromagnético E&H, cumpliendo así con el requerimiento de medición estipulado por la norma NTC1063. La puesta en funcionamiento de los nuevos sensores integrados al anillo de flujo exigió el diseño e implementación de una nueva interfaz humano máquina, con la cual se permitió la automatización del módulo de flujo, disminuyendo riesgos al usuario, facilitando el manejo del módulo y permitiendo la adquisición de datos importantes a la hora de elaborar informes de calibración

**PALABRAS CLAVES:** Flujo, Norma técnica Colombiana NTC1063, Interfaz, Sensor de Flujo, Tanque.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** IMPLEMENTATION OF THE CONDITION PROCESS FOR THE MEASUREMENT OF THE REQUIRED VARIABLES IN THE FIRST RING OF THE FLOW CALIBRATION, ACCORDING TO THE SPECIFICATIONS OF THE NTC1063-3 NORM, RELATING TO THE "GATHERING" METHOD.

**AUTHORS:** ANDREA PAOLA PABÓN ORTEGA  
ARIEL SEBASTIAN MELO GOMEZ

**FACULTY:** FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DIRECTOR:** JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

The evolution of the flow module located at the instrumentation lab of the Pontificia Bolivariana University, had been developed throughout three phases. The first one it has based on the design of the test bank for the water measurement. The second corresponded to the adaptation of that design to the laboratory conditions and the third one was the implementation of the first flow calibration ring.

A deep study of the engineering implemented in the previous three phases of the first calibration ring of the flow unit was done. In this study, some shortcomings and requirements demanded in the NTC1063 norm were found. These requirements demanded an evaluation of the components that comply with the stipulated task and the specifications given by the norm, therefore, the temperature sensor chosen was the RTD PT100 and the pressure sensor was the Piezoresistive Pressure Transmitter. Those sensors were located water up and down the electromagnetic E&H-type flow sensor, thus, the required measurement demanded in the NTC1063 norm was complied. Incorporating the new integrated sensors to the flow ring demanded the design and implementation of a new human-machine interface, which allows automation of the flow module. This Interface reduced risks to the user, facilitated the module management and allowed the acquisition of important data when making the calibration report.

**KEY WORDS:** Flow, Colombian Technical Standard NTC1063, Interface, Flow sensor, Tank

**V ° B ° DIRECTOR WORKING GRADE.**

## INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos a los que se les ha destinado gran cantidad de dinero, tiempo y esfuerzo es a la medición y control de fluidos, ya que esta variable física permite determinar tanto el volumen introducido en un proceso como la cantidad de fluido consumido, estos datos facilitan el cálculo de costos y permite a la industria un mayor control de la producción y de los procesos de transferencia de custodia. Dicho esto, la variable flujo es para muchas empresas su caja registradora.

Para seleccionar el sensor adecuado, se deben tener en cuenta algunas características básicas del fluido como son la viscosidad, la densidad, compresibilidad, temperatura y presión.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se realizó la selección de los componentes faltantes y las recomendaciones de mejora con el fin de adecuar el módulo de flujo basado en la norma NTC 1063, y de esta forma se realizó la documentación requerida que sirve como guía para el aprendizaje de los estudiantes de pregrado y posgrado de las facultades de Ingeniería Electrónica, Mecánica e industrial.

Por último se mejoró el diseño de la interface HMI facilitando el manejo del banco, y de los distintos componentes que conforman el anillo de calibración, generando reportes básicos de las distintas variables requeridas para la calibración de instrumentos, a partir de un sistema de adquisición de datos, control y visualización.

## **1. ANTECEDENTES DEL MÓDULO DE FLUJO**

La evolución del Módulo de Flujo consta de cuatro fases, en la primera de ellas se realizó el diseño del banco, la selección de algunos componentes como son el variador de velocidad, una de las bombas y el tipo de sensor para la medición de la variable de flujo. La segunda de las fases consistió en adaptar el diseño a las condiciones del laboratorio de instrumentación ubicado en el edificio k de la universidad Pontificia Bolivariana, además de realizar las primeras pruebas de funcionamiento de los equipos seleccionados en la fase 1. La tercera de las fases se basa en la Norma Técnica Colombiana NTC1063 para el diseño y ubicación de los tanques patrones usados en la prueba de volumetría con el fin de implementar el primer anillo de calibración de medidores de flujo. Y por último se encuentra la fase cuatro, la cual se enfoca en la implementación de la norma NTC 1063 con el fin de realizar de forma correcta la calibración de medidores de flujo empleando el método de “recolección”.

### **1.1 FASE 1. DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO**

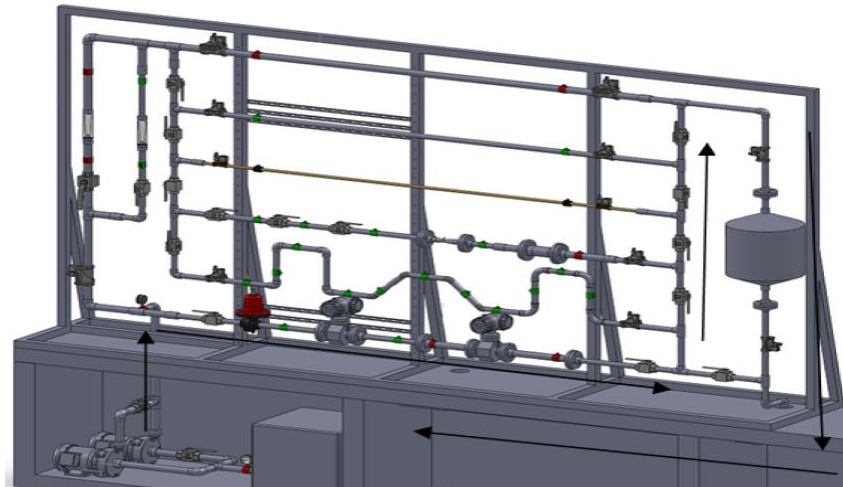
El desarrollo de esta fase tuvo como objetivo diseñar un banco de flujo para el laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana, que cumpliera con los requerimientos técnicos y especificaciones para realizar las pruebas de calibración de flujo como se observa en la figura 1 y pérdida de presión como se observa en la figura 2, este diseño se divide en dos etapas.

- Etapa 1: Se realizó el diseño del primer anillo de calibración de elementos para la medición de la variable flujo, en este diseño se tienen en cuenta dos métodos de calibración referenciados a la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1063.

El primer método es usando un dispositivo con certificado de calibración, el cual otorga una seguridad en la lectura, comparándolo con el elemento a calibrar y de esta forma se puede determinar el error en la indicación.

El segundo método dispone de un patrón de referencia que tiene un volumen conocido, teniendo en cuenta este volumen y el tiempo que transcurre en llegar al nivel deseado, se puede determinar el flujo y así compararlo con la indicación o medición que realiza el elemento a calibrar y de esta forma se puede determinar el error en la medición.

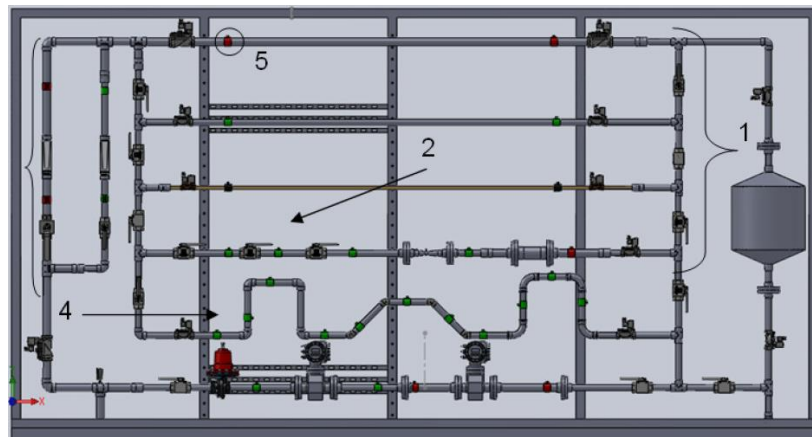
**Figura 1.** Diseño Módulo de Flujo fase 1.



Fuente: LATORRE, ANDRES RICARDO, Diseño de un banco de ensayo para la medición de flujo de agua basado en la Norma Técnica Colombiana NTC1063

- Etapa 2: Tiene como objetivo realizar ensayos de pérdida de presión debido a diversos tramos con tuberías de distintos diámetros , codos, uniones y válvulas de distintos tipos como se puede observar en la figura 2, con el objeto de simular y medir dichas pérdidas.

**Figura 2.** Diseño pérdidas de presión fase 1.



Fuente: LATORRE, ANDRES RICARDO, Diseño de un banco de ensayo para la medición de flujo de agua basado en la Norma Técnica Colombiana NTC1063.

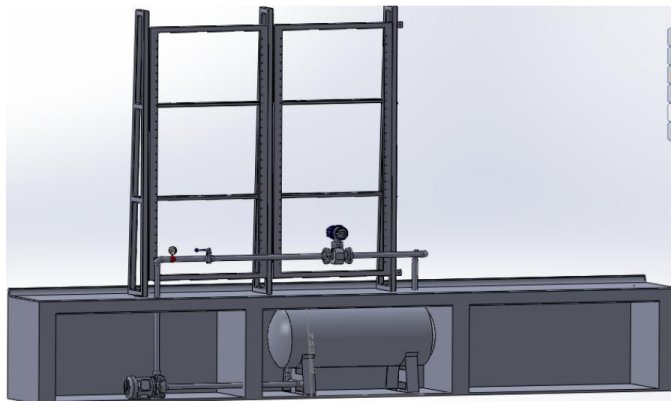
## **1.2 FASE 2. IMPLEMENTACIÓN BÁSICA DEL BANCO DE FLUJO**

En esta segunda fase se hizo un análisis y estudio de los diseños de la primera fase y de esta forma se determinaron los pasos claves para la implementación y montaje físico de un tramo de la estructura mecánica, tanque de almacenamiento, tubería y demás accesorios necesarios para el funcionamiento del primer anillo de calibración de flujo.

En este estudio se evaluaron factores como la facilidad de manejo en la tubería, la resistencia del andamio mecánico, capacidad del tanque de almacenamiento, accesorios para el montaje, medidas basadas en la norma NTC 1063 y demás requerimientos para cumplir con lo estipulado en la norma NTC 1063.

En la figura 3 se muestra el diseño del montaje físico de la fase 2 del banco de flujo.

**Figura 3.** Diseño del Módulo de flujo fase 2.



Fuente: CACERES, HERNAN M., RUEDA FABIO A., Depuración de la ingeniería detallada e implementación básica del banco de ensayo para la medición del flujo de agua basado en la Norma Técnica Colombia NTC 1063.

El correcto uso y distribución del espacio del laboratorio dieron como resultado un entorno seguro con buenas condiciones de trabajo para los estudiantes y docentes, además de cumplir los requerimientos exigidas por la norma NTC 1063.

Una de dichas condiciones es la medición de humedad y temperatura del ambiente donde se esta realizando las pruebas de calibración ya que estos factores pueden alterar la medición, para darle solución a esta problemática fue necesario instalar un sensor de temperatura y humedad en el laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana.

### **1.3 FASE 3. IMPLEMENTACIÓN DEL PRIMER ANILLO DE CALIBRACIÓN DEL BANCO DE FLUJO**

Con el fin de acondicionar el laboratorio de instrumentación y el banco de flujo como método de calibración, se realizaron los cambios necesarios teniendo en cuenta al detalle los aspectos y diseños generados en las dos fases anteriores, los cuales generaron parámetros y especificaciones sobre los materiales y accesorios entre otros, permitidos en la norma NTC 1063.

El cambio en el diseño geométrico de los tanques patrones para la implementación de la fase 3 del modulo de flujo, se hizo necesario para adecuarlo a las características físicas del laboratorio y seguridad de los operarios, se diseñaron dos tanques con una capacidad aproximada de 120 litros cada uno para una capacidad total aproximada de 240 litros, con la finalidad de reducir los riesgos de accidente por fallas de la estructura mecánica donde se encuentran alojados distribuyendo el peso como se muestra en la figura 4.

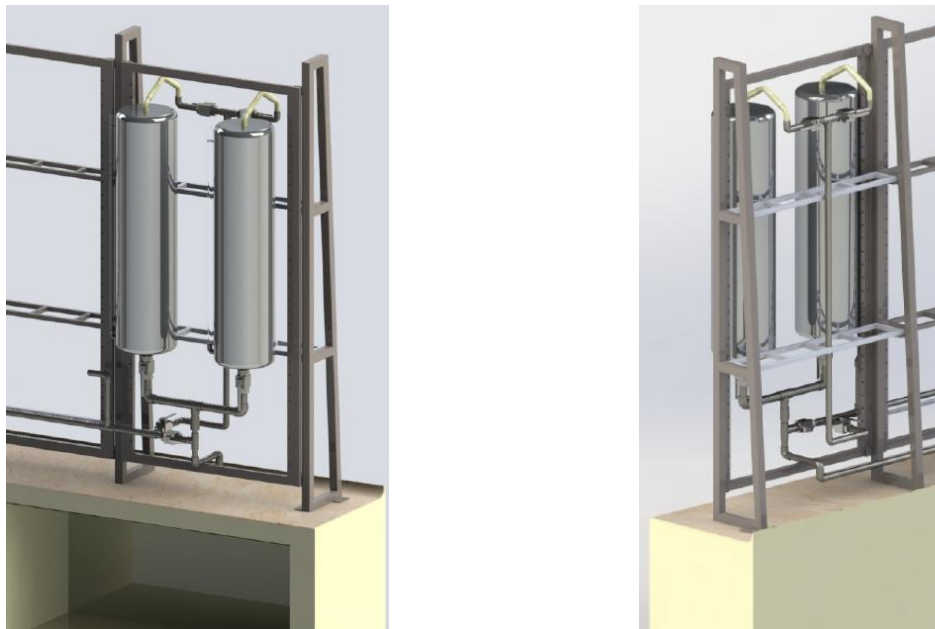
Con estas modificaciones también se facilitan las pruebas del modulo en caudales mínimos, de transición y máximos mediante la habilitación de los tanques individualmente la cual se puede realizar con un juego de electroválvulas en la parte superior accionadas desde la HMI y válvulas tipo mariposa en parte inferior de los tanques.

El montaje del tablero de control y distribución eléctrica fue llevado a cabo siguiendo las especificaciones y recomendaciones de las fases anteriores, este fue anclado al techo mediante 2 bigas reforzadas, con esto se optimizo el espacio del laboratorio permitiendo colocar el computador y puesto de trabajo debajo de el como se muestra en la figura 5.

#### **1.4 REFERENTES DEL ENTORNO INDUSTRIAL**

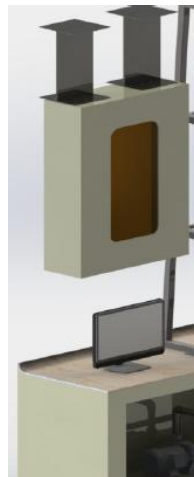
A continuación se hará mención de las visitas técnicas realizadas en el transcurso de la tesis, estas visitas se realizaron con el fin de formar al estudiante sobre temas relacionado con los métodos de ensayos más utilizados, equipos empleados, métodos de calibración, estándares y metrología.

**Figura 4. Diseño de los Tanques Patrones Fase 3**



Fuente: GÓMEZ ALVAREZ, ALVARO DANIEL. Implementación del primer anillo de calibración del banco de medición de flujo de agua basado en la norma técnica colombiana ntc1063 para el laboratorio de instrumentación de la universidad pontificia bolivariana

**Figura 5. Diseño y ubicación Gabinete Eléctrico**



Fuente: GÓMEZ ALVAREZ, ALVARO DANIEL. Implementación del primer anillo de calibración del banco de medición de flujo de agua basado en la norma técnica colombiana ntc1063 para el laboratorio de instrumentación de la universidad pontificia bolivariana

### 1.4.1 Visita técnica al AMB

La visita al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, AMB, permitió conocer más a fondo el proceso de calibración empleando el método de recolección, basándose en la norma Técnica Colombiana NTC 1063, ya que este es el método que ellos emplean al momento de realizar la calibración de medidores de flujo, Cabe resaltar que se encuentran acreditados por la ONAC para la calibración de medidores de flujo con diámetros de 1", ½" y ¾" de pulgada.

**Figura 6.** Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.



Fuente: <http://www.amb.com.co/frmlInformacion.aspx?inf=26>

El laboratorio cuenta con filtros que ayudan a mantener potable el agua, además de realizar periódicamente pruebas químicas al agua para verificar su estado. También cuenta con tres tanques patrones debidamente certificados, que son empleados por independiente en cada prueba de calibración, la selección de estos tanques depende del tipo de caudal que se vaya a trabajar, ya que pueden ser mínimos, máximos o de transición.

En cada prueba se pueden calibrar desde uno a 20 medidores de flujo a la vez, ya que el anillo de calibración del laboratorio del AMB cuenta con la ventaja de poder desmontar secciones de tubería con facilidad.

Algunas de las recomendaciones son: mantener las condiciones ambientales como son temperatura y humedad en el rango permitido por la norma, para cada caudal

se hace mínimo tres repeticiones para el cálculo del error e incertidumbre, además se debe tener una tabla de datos en la que se tenga información referente a la prueba y sensor utilizado en dicha prueba, tomar trazabilidad y serial de cada sensor, el tipo de prueba, fecha de calibración, cantidad de medidores calibrados, tiempo de prueba, volumen nominal y real, e incertidumbre.

#### **1.4.2 Visita técnica al CDT de Gas**

El Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas, (CDT de Gas), cuenta con un laboratorio de ensayos en el que se evalúan el funcionamiento y operatividad de equipos y accesorios utilizados en la industria, con el fin de verificar su cumplimiento con los requisitos establecidos en los estándares y así mejorar la calidad de procesos, productos y servicios prestados a la comunidad.

Ya que el laboratorio cuenta con patrones de calibración con trazabilidad a patrones internacionales, permite prestar servicios de calibración acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025.

Algunos de los servicios de Calibración prestados por el CDT de Gas y que son acreditados por la ONAC son los siguientes:

- ✓ Calibración Volumen y Caudal de Gases
- ✓ Calibración Presión
- ✓ Calibración Temperatura
- ✓ Calibración señales Eléctricas

Y los no Acreditados:

- ✓ Calibración Volumen y Caudal de Líquidos
- ✓ Calibración Analizadores de Gases de chimenea “isocinéticos”

- ✓ Calibración Masas y Balanzas
- ✓ Calibración Humedad en Gas Natural
- ✓ Calibración Anemometría

Aunque la calibración de volumen y caudal de líquidos no se encuentra acreditada, el CDT de Gas presta este servicio para instrumentos medidores de tipo Coriolis con un intervalo de 1kg/min a 130 kg/min, y se pretende en un futuro prestar servicios de calibración a medidores de líquidos tipo volumétrico como turbinas, y de tipo electromagnético con intervalo de medición de 1kg y 1430 kg/min. [1]

**Figura 7.** Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas



Fuente: Autor

### **1.4.3 Visita técnica al Instituto Nacional de Metrología INM**

El INM 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 balanzas
- ✓ Metrología dimensional
- ✓ Par torsional
- ✓ Potencia y energía eléctrica
- ✓ Presión
- ✓ Tiempo y frecuencia
- ✓ Volumen
- ✓ Análisis espectrofotométrico

**Figura 8.** Instituto Nacional de Metrología



Fuente: <http://metrologia.com.ve/2014/archivos/406>

Ya que 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 el servicio de calibración certificados.

#### 1.4.4 Pasantía en el Laboratorio de Vibraciones de la UPB

El laboratorio de vibraciones presta servicios a la facultad de ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana con el curso Optativo de Vibraciones que se ofrece según norma ISO 18436-2 para analista de vibraciones Nivel II.

A través del departamento de extensión se ofrecen cursos especializado a la medida de las necesidades de clientes empresariales.

Para la calibración de sensores de vibración se basan en el método por comparación a un transductor de referencia de la norma ISO 16063-21, complementándose con las recomendaciones sobre los sistemas de protección de maquinaria de la norma API 670. [2]

**Figura 9.** Laboratorio de Vibraciones de la UPB



Fuente: Autor

Ya que el laboratorio se encuentra acreditado por la ONAC, la pasantía abarcó una breve introducción a la norma ISO 17025, la cual trata sobre los requisitos generales

que se deben tener en cuenta al momento de buscar la acreditación de laboratorios de Ensayo y Calibración.

#### **1.4.4.1 Generalidades Norma ISO 17025**

La norma se encuentra dividida en Requisitos de Gestión que abarcan todo lo competente al campo administrativo y Requisitos Técnicos como toma de muestras, cálculos de incertidumbre y validación de métodos.

#### **1.4.4.2 Requisitos de Gestión:**

1. Organización (organigrama, quien es el líder)
2. Sistema de gestión de la calidad (Documentos, mecanismos que llevan a cumplir una norma, políticas de calidad)
3. Control de Documentos (todos los documentos estén actualizados como manuales, procedimientos, instructivos, registros)
4. Revisión de Solicitudes, ofertas y contratos (si está en capacidad de realizar un procedimiento)
5. Subcontratación de ensayos y calibraciones (en caso de tener mucha demanda, se contrata otro laboratorio)
6. Compra de servicios y suministros (se debe tener un vendedor competente y lo mejor sería que este acreditado, en caso de que no lo este, se debe realizar una auditoria)
7. Servicio al cliente
8. Quejas
9. Control de trabajos de ensayo o de calibraciones no conformes (se debe documentar los errores con el fin de saber que se está equivocando)
10. Mejoras
11. Acciones correctivas (como una no conformidad con un requisito)

12. Acciones preventivas (antes de que ocurra una no conformidad con el fin de evitarlas)
13. Control de los Registros (Certificados de calibración, manejando confidencialidad)
14. Auditorías internas (revisión de requisitos)
15. Revisiones por la dirección ( cada seis meses o cada año se debe realizar una revisión al laboratorio)

#### **1.4.4.3 Requisitos Técnicos**

1. Generalidades
2. Personal (seguridad industrial, capacitaciones, supervisión al personal)
3. Instalaciones y condiciones ambientales
4. Métodos de ensayo y calibración y validación de métodos (el método de calibración puede ser normalizado, es decir, si sigue la norma ISO y/o API, se hace una lista de chequeo para confirmar si cumple requerimientos)
5. Equipos (Datos, Daños, y realizar calibración, verificación y mantenimiento)
6. Trazabilidad de las medidas
7. Muestreo
8. Manipulación de objetos de ensayo y calibración
9. Aseguramiento de calidad de los resultados de ensayo y calibraciones
10. Informe de resultados (no debe contener opiniones)

## **2. REVISIÓN DE LA NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC1063**

### **2.1 GENERALIDADES**

Siendo el ICONTEC el organismo nacional de normalización, encargado de velar por el bienestar del consumidor, colabora junto con el sector gubernamental, en la creación y actualización de normas que rigen algunos procesos, como por ejemplo la medición del flujo de agua en conductos cerrados a sección llena regida por la norma NTC1063.

El método referido en esta norma usado para la determinación de los errores de medición e indicación es denominado método de “recolección”, en el que un flujo de agua atraviesa el medidor y es recolectado en uno o más recipientes calibrados determinando así el volumen o masa de dicho flujo.

Para conocer un poco sobre esta norma, a continuación se presentan las tres partes en que se encuentra dividida la norma NTC1063.

### **2.2 PARTES DE LA NORMA**

#### **2.2.1 Parte 1. Especificaciones**

“Esta norma especifica la terminología, las características técnicas, metrológicas y los requisitos de pérdida de presión para medidores de agua potable fría y de agua caliente”, aplicada a medidores de agua que posean cualquier dispositivo o principio eléctrico y/o electrónico.

La parte de terminología presenta las diferentes definiciones empleadas en la norma, las características técnicas especifican el tamaño y dimensiones de los diferentes tipos de medidores y qué clase de conexión emplear, los requisitos

metrológicos se refieren a la designación de los diferentes tipos de caudales, el rango de medición, cálculos de error, condiciones de operación nominal y requisitos para los medidores.

“Las especificaciones de esta norma se aplican a medidores de agua, independientemente de la tecnología, definidos como instrumentos de medición integradores que determinan continuamente el volumen del agua que fluye a través de ellos” [3].

### **2.2.2 Parte 2. Requisitos de Instalación**

“Esta parte de la norma establece los criterios para la selección de medidores de agua sencillos, combinados y concéntricos, los accesorios asociados, la instalación, los requisitos especiales para medidores, y la operación inicial de los medidores nuevos o reparados, con el propósito de garantizar mediciones constantes exactas y lecturas confiables del medidor”, aplicada a medidores de agua que funcionan con cualquier dispositivo o principio eléctrico y/o electrónico.

Las recomendaciones de esta norma se aplican a medidores de agua, independientemente de su tecnología, definidos como instrumentos de medición integradores que determinan continuamente el volumen del flujo de agua que pasa a través de ellos [4].

### **2.2.3 Parte 3. Equipos y Métodos de Ensayo**

Esta norma establece los métodos de ensayo y los medios que se deben emplear en la determinación de las principales características de los medidores de agua que funcionan con cualquier dispositivo o principio eléctrico y/o electrónico.

En los primeros capítulos se encuentran los requisitos comunes para el desarrollo de cualquier tipo de ensayo como son la calidad que debe tener el agua y la instalación, en los siguientes capítulos presentan los diferentes tipos de ensayo, como por ejemplo los ensayos para determinar los errores de indicación empleando el método de “recolección” el cual es el utilizado en el módulo de flujo, también hacen mención de los componentes necesarios para la implementación del ensayo, las precauciones que se deben tomar a la hora de la ejecución, principales factores que afectan la determinación de los errores de indicación, resaltando que en el presente proyecto se hace énfasis en las secciones 5.3 y 5.4, también se encuentra la descripción de otros ensayos como el de presión estática y de pérdidas de presión, y por último presentan como hacer el informe de ensayo [5].

#### **2.2.3.1 Equipos y métodos de ensayo**

Basado en el método de ensayo de recolección presentado en la norma NTC 1063 el cual consiste en un flujo de agua que atraviesa el medidor y es recolectado en uno o más recipientes calibrados determinando así el volumen o masa de dicho flujo y buscando con esto comparar la medición del elemento a calibrar con el volumen recolectado en los recipientes para determinar el error en la medición, se han instalado nuevos sensores en el primer anillo de flujo de la Universidad Pontificia Bolivariana los cuales permiten hacer la medición de dos condiciones exigidas por la norma NTC 1063, que son la medición de la temperatura de trabajo y la presión de trabajo, donde la temperatura de trabajo es la temperatura promedio del agua en la tubería, medida aguas arriba y aguas abajo del medidor de agua y la presión de trabajo es la presión promedio del agua en la tubería, medida aguas arriba y aguas abajo del medidor de agua.

Dichos sensores se posicionaron aguas arriba y aguas abajo del sensor principal E&H con el fin de cumplir con los requerimientos de la norma NTC 1063.

### 2.2.3.2 Lista de chequeo al método de ensayo

La tabla 1 presenta la lista de chequeo de las condiciones cumplidas con la norma NTC1063-3 sección 5.3.

**Tabla 1. DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYO**

CONDICIÓN	CUMPLE	CUMPLE PARCIALMENTE	NO CUMPLE
Suministro de agua	X	-	-
Tubería	X	-	-
Dispositivo de referencia calibrado	X	-	-
Instrumento para medir el tiempo del ensayo	X	-	-
Dispositivo para automatizar el ensayo	X	-	-
Dispositivo para medir la temperatura del agua de ensayo	X	-	-
Dispositivo para medir la presión del agua	X	-	-
Dispositivo para determinar la densidad*	-	-	-
Dispositivo para determinar la conductividad*	-	-	-

**\*si es necesario**

Fuente: Autor

Debido a las condiciones de la prueba no es necesario medir la densidad ni la conductividad del fluido, ya que se maneja agua y dichos valores son constantes.

La tabla 2 presenta la lista de chequeo de las condiciones cumplidas con la norma NTC1063-3 sección 5.4

**Tabla 2.** Tubería

CONDICIÓN	CUMPLE	CUMPLE PARCIALMENTE	NO CUMPLE
Una sección de ensayo en la que está(n) colocado(s) el(los) medidor(es).	X	-	-
Instrumentos para establecer el caudal deseado	X	-	-
Uno o dos dispositivos de separación	-	X	-
Instrumentos para determinar el caudal	X	-	-
Una o más purgas de aire*	-	-	X
Un dispositivo de no retorno*	-	-	X
Un separador de aire*	-	-	X
Un filtro*	-	-	X
Medios para verificar que la tubería se llena a un nivel de referencia antes y después del ensayo*	X	-	-

\*si es necesario

Fuente: Autor

Debido a las condiciones de la prueba no es necesario tener un dispositivo de no retorno al igual que un filtro para el proceso, ya que se carece de la purga de aire pues aún no se ha hecho el respectivo diseño para la implementación de la misma.

### 3. ADECUACIÓN DEL MÓDULO DE FLUJO EN FUNCIÓN DEL INCISO 5-3 DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC1063

#### 3.1 REVISIÓN Y AJUSTE DEL CABLEADO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL MODULO

Uno de los problemas que se notó en el momento de comenzar el proyecto fue el desorden en el cableado eléctrico, tanto en las bombas, como en los sensores, desorden que dificultaba las tareas de mantenimiento, detección de errores y seguridad para el personal que opera el módulo.

Por esta razón se procedió a redistribuir el cableado de una forma más segura instalando canaletas para resguardar el cableado y brindar orden al igual que proporcionar una vista más estética al módulo.

**Figura 10.** Cableado de las Bombas



Fuente: Autor

Esta reestructuración del cableado también fue aplicada al tablero de control debido a que los nuevos elementos instalados lo requerían. Teniendo cuidado con no mezclar cableado de alimentación con el cableado de control y así evitar corrientes parasitas en las señales de comunicación y control del módulo.

Una de las conexiones de mayor cuidado fue el empalme de la RTD Pt-100 de 3 hilos la cual necesita un conector especial (ver figura 11) que no afecta la impedancia del cable y permite una mayor precisión en la medida tomada.

**Figura 11.** Terminal para RTD de 3 Hilos



Fuente: <http://www.technoinjectiontools.com/conectores>

### **3.2 AFORAMIENTO DE TANQUES PATRÓN**

Parte importante del proceso de calibración de elementos de medición es tener una medida de referencia, con la cual comparar el funcionamiento de dicho elemento.

En el caso referente al método de recolección empleado en este trabajo se hizo el aforamiento de los tanques patrones que hacen parte del módulo. Dichos tanque fueron aforados litro a litro con una probeta con volumen de un litro. Con estos se determinó el volumen del tanque y se marcaron los valores correspondientes al volumen de llenado en el tanque.

Es importante resaltar que el elemento y método que se uso para el aforamiento del tanque no están certificados y los resultados de esta prueba fueron tomados solo para poder tener un punto de referencia para la prueba de calibración.

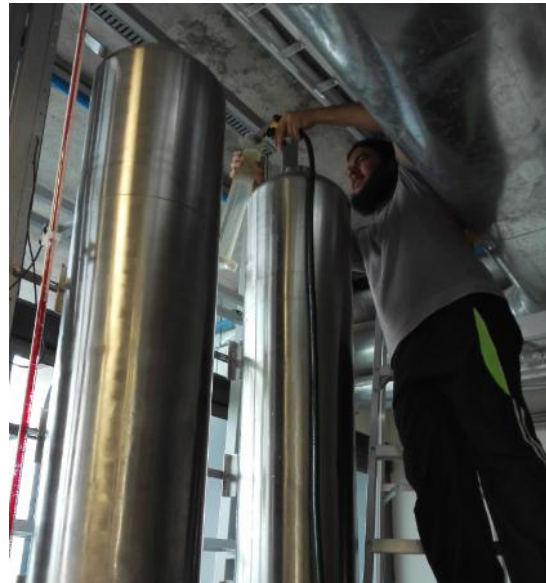
En la figura 12 se puede observar la probeta que fue usada para hacer dicho aforo y el método se puede ver en la figura 13.

**Figura 12. Probeta**



Fuente: Autor

**Figura 13. Aforo Tanque Patrones**



Fuente: Autor

### **3.3 CRITERIOS DE INGENIERÍA PARA LA SELECCIÓN DE LOS SENSORES DEL BANCO DE FLUJO**

En la actualidad se ve la necesidad de la medición de fenómenos físicos como son la temperatura, la intensidad de luz, la presión, el sonido, entre otros, que pueden ser medidos por sensores o transductores que convierten dicho fenómeno en una señal eléctrica medible como voltaje, corriente, resistencia, etc. En la tabla 3 se podrá observar algunos de los sensores más comunes.

Debido al gran número de fenómenos naturales que pueden ser medidos, existe gran variedad de sensores en el mercado, en caso del módulo de flujo y basados en la Norma Técnica Colombiana NTC 1063, se requiere la medición de temperatura y presión aguas arriba y aguas abajo del sensor de flujo, a continuación se hará

mención de algunos de los sensores usados para la toma de temperatura y presión.  
[6]

**Tabla 3.** Sensores de más comunes de temperatura

Sensor	Fenómeno
Termopar, RTD, Termistor	Temperatura
Fotosensor	Luz
Micrófono	Sonido
Galga Extensiométrica, Transductor Piezoeléctrico	Fuerza y Presión
Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico	Posición y Desplazamiento
Acelerómetro	Aceleración
Electrodo pH	pH

Fuente: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

✓ Temperatura

- Termopares
- RTD
- Termistor
- Fibra Óptica

✓ Presión

- Absoluta
- Manómetro
- Vacío
- Diferencial
- Sellado

### 3.3.1 SENSORES DE TEMPERATURA

Para la medición de temperatura se emplean termopares, termistores, RTDs (detectores de temperatura por resistencia) y sensores de fibra óptica, siendo estos últimos más especializados y creciendo en popularidad. [6]

Una comparación de estos sensores permite ver porque fue elegida la RTD para el desarrollo de este proyecto, dicha comparación se puede observar en la tabla 4.

#### 3.3.1.1 RTD PT100

Son casi tan conocidas como los termopares pero más costosas y pueden trabajar bien por años. Su rango de medición es menor comparado con el de los termopares (-200 to 500 °C), necesitan de excitación de corriente y su tiempo de respuesta oscila de 2.5 a 10 segundos. Además se emplean para realizar mediciones exactas ( $\pm 1.9\%$ ) donde no requieren de poco tiempo. [7]

Es posible ver su arquitectura física en la figura 14.

##### a. Información General de RTD

Un *detector resistivo de temperatura (RTD)* de platino posee una resistencia típica de 100  $\Omega$  a una temperatura de 0 °C, variando su valor de resistencia a medida que cambia la temperatura, pueden medir altas temperaturas generalmente hasta 850 °C.

La RTD está compuesta por una película delgada de platino en una película de plástico, y al pasar corriente a través de ella se genera un voltaje, teniendo estos datos es posible determinar el valor de resistencia y temperatura ya que la relación entre estas variables es relativamente lineal.[7]

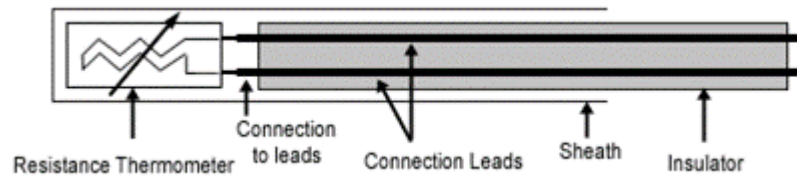
**Tabla 4.** Comparación de Sensores de Temperatura Comunes.

Sensor	Acondicionamiento de Señales Requerido	Exactitud	Sensibilidad	Comparación
<b>Termopares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplificación</li> <li>• Filtrado</li> <li>• Compensación de unión fría</li> </ul>	Bueno	Bueno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auto-Energizado</li> <li>• Económico</li> <li>• Robusto</li> <li>• Rango de Alta Temperatura</li> </ul>
<b>RTD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplificación</li> <li>• Filtrado</li> <li>• Excitación de Corriente</li> </ul>	Excelente	Mejor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy Exacto</li> <li>• Muy Estable</li> </ul>
<b>Termistor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplificación</li> <li>• Filtrado</li> <li>• Excitación de Voltaje</li> </ul>	Mejor	Excelente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta Resistencia</li> <li>• Baja Masa Térmica</li> </ul>
<b>Fibra Óptica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy Poca o Sin Amplificación</li> <li>• Filtrado</li> </ul>	Excelente	Excelente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideal para Entornos Peligrosos</li> <li>• Ideal para Largas Distancias</li> <li>• Inmune al Ruido Inducido por Interferencia Electromagnética (EMI)</li> <li>• Pequeño, Ligero</li> </ul>

Fuente: <http://www.ni.com/white-paper/13654/es/#h35>

Para la tabla 4, al momento de comparar la funcionalidad de los sensores se debe tener en cuenta el grado de calificación, siendo Excelente el de mayor grado de importancia y bueno el de menor.

**Figura 14.** Arquitectura física de una RTD



Fuente: <http://www.ni.com/tutorial/7115/es/>

### **b. Fundamentos de RTD**

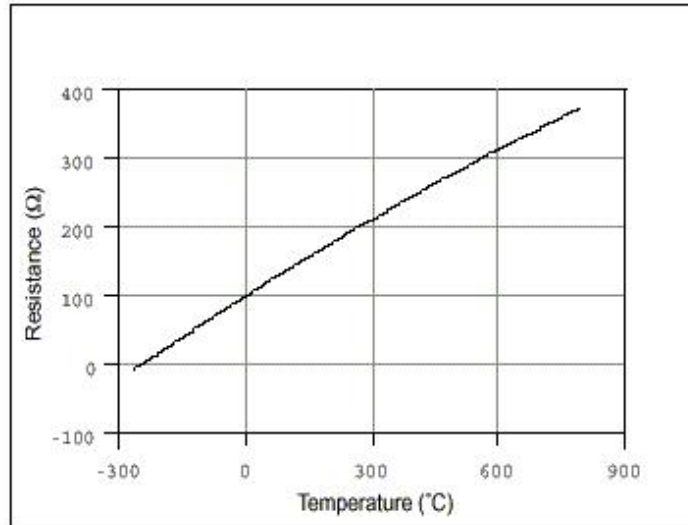
Las RTDs realizan la medición basándose en el cambio del valor de resistencia eléctrica de los metales puros, como son el níquel (Ni), cobre (Cu) y platino (Pt), siendo este último el más utilizado debido al amplio rango de temperatura, precisión y estabilidad que maneja.

Se caracterizan por ser estables y mostrar un cambio lineal positivo entre resistencia y temperatura, presentan baja sensibilidad y un tiempo de respuesta lento, además de ser propensas a auto calentarse ya que requieren de excitación de corriente para su funcionamiento.

Comúnmente se clasifican por su resistencia nominal a una temperatura de 0 °C, siendo los valores típicos de resistencia nominal para RTDs de platino de película delgada 100  $\Omega$  y 1000  $\Omega$ .

En la figura 15 se presenta la curva de resistencia vs temperatura para una RTD de platino de 100  $\Omega$  también conocida como Pt100, se puede ver que la relación entre resistencia y temperatura es casi lineal. [7]

**Figura 15.** Curva de Resistencia vs Temperatura para una RTD de Platino de 100  $\Omega$ ,  $a = 0.00385$



Fuente: <http://www.ni.com/tutorial/7115/es/>

### c. Cómo Realizar Mediciones con RTD

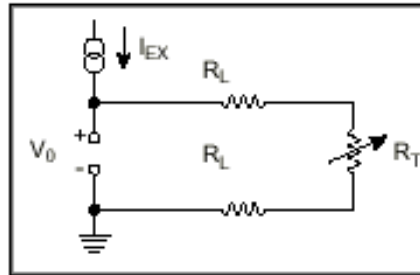
Generalmente las RTDs son diseñadas con una combinación de cables de color rojo y negro o rojo y blanco, siendo el cable rojo es el cable de excitación y los cables negro o blanco cables a tierra. Para comprobar dichas conexiones puede emplear un multímetro para medir la resistencia entre los terminales, así si el valor de la resistencia es cerca de 0  $\Omega$  se considera que se encuentra al mismo nodo, pero si el valor de resistencia se acerca al valor nominal 100  $\Omega$  los cables son opuestos.

Para realizar la medición empleando la RTD se le debe aplicar una corriente de excitación para poder leer el voltaje a través de sus terminales y así poder calcular la temperatura empleando un algoritmo. Ya que el flujo de corriente que atraviesa la RTD puede provocar calentamiento se recomienda disminuir este valor lo más posible. [7]

#### d. Configuración de Conexión

La conexión más sencilla es la de dos cables.

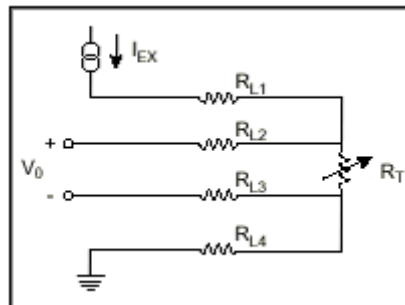
**Figura 16.** Realizar una Medida con RTD/Termistor de 2 Cables



Fuente: National Instruments. Elegir un Sistema de Medidas de RTD o Termistor <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>

Los dos cables que alimentan al RTD con su corriente de excitación también se usan para medir el voltaje en el sensor. Debido a la baja resistencia nominal de los RTDs, la exactitud de las medidas se puede ver afectada significativamente por la resistencia del cable. Por ejemplo, los cables con una resistencia de  $1\ \Omega$  conectados a un RTD de platino de  $100\ \Omega$  causan un error de medida del 1%. [8]

**Figura 17.** Realizar una Medida con RTD de 4 Cables



Fuente: National Instruments. Elegir un Sistema de Medidas de RTD o Termistor <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>

Este método puede eliminar los efectos de resistencia del cable de medición. La conexión coloca las terminales en una trayectoria de alta impedancia a través del dispositivo de medida, eliminando de manera efectiva los errores causados por la resistencia del cable de medición ver figura 17. [8]

#### **e. Consideraciones de Ruido RTD**

Las RTDs son sensibles al ruido debido a la señal de salida tan pequeña, por lo que se ve necesario emplear filtros pasa bajos con el fin de eliminar el ruido de la línea de potencia de 60 Hz que constantemente los afecta, dichos filtros pueden estar disponibles la mayoría de veces en los sistemas de adquisición de datos RTD. [7]

Para mejorar el rendimiento de la medición se sugiere amplificar los voltajes de salida de la RTD, escogiendo la ganancia deseada con el fin de optimizar los límites de entrada al convertidor analógico-digital (ADC), para visualizar su medida se puede emplear el software de programación gráfica como Labview. [7]

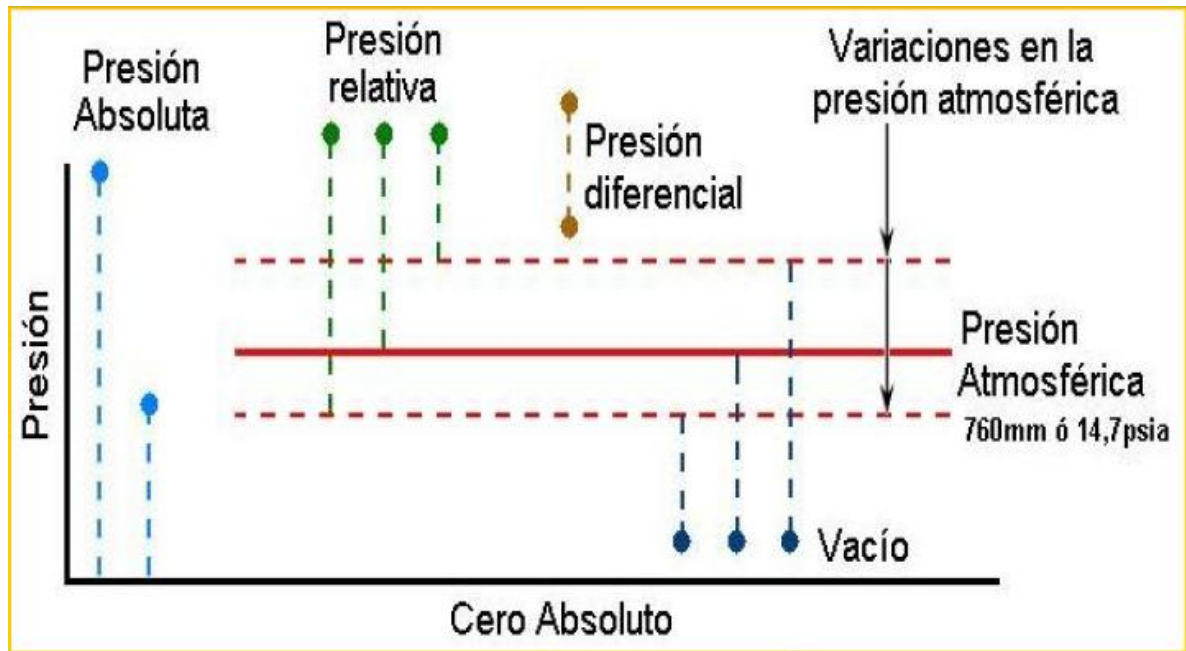
### **3.3.2 Sensores de Presión**

La presión es una fuerza por unidad de superficie, siendo la unidad para el SI el Pascal ( $N/m^2$ ), encontrando otras también usadas como el psi (libra por pulgada cuadrada), atmósfera, bar, pulgadas de mercurio, milímetros de mercurio y torr. [9]

#### **3.3.2.1 Clases de Presión**

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales, en la figura 18, se podrá observar las clases de presión que los instrumentos miden comúnmente en la industria. [10]

Figura 18. Clases de Presión



Fuente: ANTONIO CREUS SOLÉ, Instrumentación Industrial

- **La presión absoluta** se mide con relación al cero absoluto de presión
- **La presión atmosférica** es la presión ejercida por la atmósfera terrestre y puede ser medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm de mercurio absolutos o 14,7 psia (libras por pulgada cuadrada absolutas).
- **La presión relativa** es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición.
- **La presión diferencial** es la diferencia entre dos presiones.
- **El vacío** es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica.

Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío. [10]

Para la medición de presión se clasifican los instrumentos en cuatro grupos:

### **Mecánicos**

- **Primario de Medida Directa:** Miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas. Algunos son: Barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana
- **Primarios Elásticos:** se deforman por la presión interna del fluido que contienen, ejemplo el tubo de Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle

### **Neumáticos**

- Utilizan elementos mecánicos con desplazamiento de gases

### **Electromecánicos**

- Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerza
- Resistivos
- Magnéticos
- Capacitivos
- Extensiométricos
- Piezoeléctricos

### **Electrónicos**

- Mecánicos
- Medidor McLeod
- Térmicos

- Ionización [11]

En el módulo de flujo se han instalado para la medición de presión un manómetro de Tubo Bourdon con Glicerina y dos transmisores de presión capacitivos encargados de tomar la presión aguas arriba y aguas abajo del sensor de flujo.

### 3.3.2.2 Manómetro

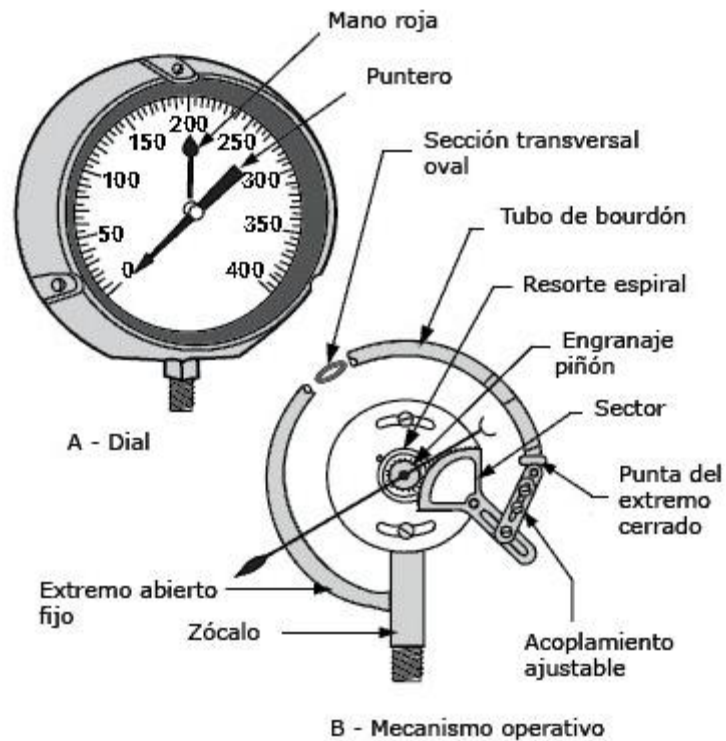
Los manómetros permiten realizar la medición de presión relativa de fluidos, ya sean líquidos o gases.

**Manómetro de Tubo Bourdon con Glicerina:** Contiene en su interior un tubo metálico elástico en forma de anillo casi completo y cerrado por un extremo. Así al aumentar la presión en el interior del tubo, este tiende a enderezarse y el movimiento se transmite a una aguja indicadora por medio de un sector dentado y un piñón esta estructura se puede ver en la figura 19. [12]

Aun cuando los manómetros soportan la máxima presión indicada es recomendable que la presión de operación no exceda el 75% del rango total para las presiones sostenidas y el 65% del rango total para presiones fluctuantes.[13]

La presencia de la glicerina es con el fin de prolongar la vida útil del manómetro, ya que minimiza el desgaste lubricando todos los elementos movibles del mecanismo, además evita que se empañe el cristal y que se deteriore la escala de la carátula, mejorando la visualización de la medida. [13]

**Figura 19. Manómetro de Tubo de Bourdón**



Fuente: Sapiensman. Conceptos básicos de neumática e hidráulica, dispositivos de control y medida de la presión <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica34.htm>

### 3.3.2.3 Transmisor de Presión

El transmisor de Presión instalado en el módulo de flujo es de tipo Electromecánico y está formado por una célula de medida piezorresistiva con membrana, montado en una caja de acero inoxidable.

Es de marca Siemens, referencia SITRANS P200 el cual se puede ver en la figura 20, mide la presión relativa y absoluta de líquidos, gases y vapores.

Su rango de medida es de 0 a 4 bar relativo y absoluto, su caja viene en acero inoxidable, tiene una alta precisión de medida y alta resistencia a la sobrecarga, estas características se pueden observar en la tabla 5.

**Figura 20.** Transmisor de Presión SITRANS P200 de Siemens.

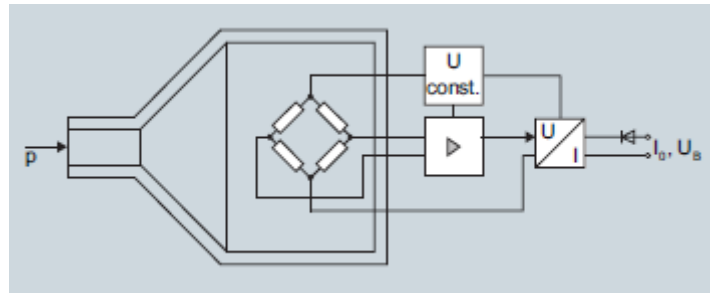


Fuente:[http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS\\_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf](http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf)

El sensor piezorresistivo contiene varias láminas delgadas de silicio, al ser sometidas a una presión, cambia el valor de resistencia según la deformación por lo que cambia el valor de voltaje. Por lo general, el elemento sensor de deformación piezorresistivo es de 4 resistencias ubicadas en el diafragma de silicio, formando el puente de wheatstone, el cual se encarga de medir el valor de resistencia mediante el equilibrio de los brazos del puente, dando a la salida una tensión proporcional a la presión.

Estos sensores se caracterizan por su amplio rango de medición, alta precisión, y debe ser alimentado por una fuente de tensión o corriente constante. [14]

**Figura 21.** Diagrama de Función del Transmisor de Presión SITRANS P200



Fuente: [http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS\\_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf](http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf)

La célula de medida de cerámica dispone de un puente de resistencias, la presión "p" se transmite a través de una membrana cerámica.

La tensión de salida de la célula de medida es conducida hacia el amplificador y transformada en una corriente de salida de 4 a 20 mA o en una tensión de salida de 0 a 10 V DC.

La corriente y la tensión de salida son linealmente proporcionales a la presión de entrada dicha estructura se puede ver en la figura 21. [15]

**Tabla 5.** Datos Técnicos Transmisor de Presión Siemens SINTRANS P200.

<b>Campo de aplicación</b>	
Medición de presión relativa y absoluta	Líquidos, gases y vapores
<b>Modo de operación</b>	
Principio de medición	Célula de medida piezorresistiva (membrana cerámica)
Magnitud de medida	Presión relativa y absoluta
<b>Entrada</b>	
Rango de medida	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presión relativa</li> <li>- Métrico</li> <li>- Rango de medida para EE.UU</li>   <li>• Presión absoluta</li> <li>- Métrico</li> <li>- Rango de medida para EE.UU</li> </ul>	<p>0 – 4 bar 0 - 58 psi</p> <p>0,6 – 16 bar a (10 – 232 psia) 10 – 300 psia</p>
<p><b>Salida</b></p> <p>Señal de Intensidad</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga</li> <li>• Alimentación auxiliar <math>U_B</math></li> </ul> <p>Señal de tensión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga</li> <li>• Alimentación auxiliar <math>U_B</math></li> <li>• Consumo de Corriente</li> </ul> <p>Característica</p>	<p>4 – 20 mA <math>(U_B - 10V) / 0.02 A</math> 7 – 33 V DC (10 – 30 V para Ex)</p> <p>0 – 10 V DC <math>\geq 10 k\Omega</math> 12 – 33 V DC &lt; 7 mA a 10 k<math>\Omega</math> Lineal creciente</p>

Fuente:[http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS\\_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf](http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf)

## **4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

### **4.1 DESCRIPCIÓN**

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir un fenómeno eléctrico (voltaje, corriente) o físico como temperatura, presión o sonido por medio de un computador.

Un sistema DAQ está compuesto por sensores encargados de tomar las señales del exterior, hardware de medidas DAQ que se encarga del acondicionamiento de las señales tomadas y por ultimo por una computadora con software programable con el fin de aprovechar el procesamiento, productividad, visualización y las habilidades de conectividad de los computadores. [16]

### **4.2 PARTES DE UN SISTEMA DAQ**

El hardware DAQ actúa como interfaz entre las señales del mundo exterior y una PC, ya que se encarga de digitalizar las señales analógicas tomada por los sensores para que la computadora las pueda interpretar.

En la Figura 22 se podrá observar los tres componentes de un dispositivo DAQ los cuales son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. [16]

#### **Acondicionamiento de Señales**

Ya que las señales de los sensores pueden requerir amplificación, atenuación, filtrado o aislamiento, se requiere de circuitos de acondicionamiento de señal, estos se encargan de manipular la señal para que sea apropiada para la entrada del ADC.

**Figura 22.** Partes de un Sistema DAQ



Fuente: National Instruments. ¿Qué es Adquisición de Datos? <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

### **Convertidor Analógico Digital ADC**

Este se encarga de convertir las señales análogas, tomada por los sensores a una representación digital.

### **Bus de la PC**

Funciona como la interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y la PC para pasar instrucciones y datos medidos, algunos de ellos pueden ser USB, PCI, PCI Express y Ethernet.

### **4.3 Módulos para la Adquisición de Datos del Banco de Flujo**

Para el banco de flujo se seleccionó el chasis de National Instruments NI 9174 de tipo modular con 4 ranuras, con una configuración maestro-esclavo es decir que depende de un computador para su funcionamiento, como se ve en la figura 23, en este momento solo se está haciendo uso de tres módulos para el control y adquisición de datos. Cabe resaltar que cada módulo posee un circuito acondicionador de señal lo cual permite conectar directamente los dispositivos

industriales como actuadores, relés, interruptores industriales, transductores y dispositivos.

**Figura 23.** Sistema de Adquisición de Datos Usado en el Módulo de Flujo.



Fuente: Autor

#### 4.3.1 Módulo de entradas análogas.

Se tiene un módulo de *entradas análogas* **NI 9203** que se ve en la figura 24, para la adquisición de la señal de corriente del transmisor de flujo Endress & hausser, de las dos RTDs cada una conectada a un transmisor de corriente (4-20 mA) y los dos transmisores de presión, este módulo cuenta con 8 canales de entrada de corriente, con rango programable de  $\pm 20$  mA, posee una resolución de 16 bit's con una tasa de muestreo de 200kS/s.[17]

#### 4.3.2 Módulo de entradas digitales.

El módulo de *entradas digitales* **NI 9421** que se ve en la figura 25, se encarga de la adquisición de las señales de los cuatro sensores capacitivos que indican el nivel de los tanques patrones, este módulo cuenta con 8 canales de entrada digital que soportan hasta 24 Vdc, con una frecuencia de muestres de 100  $\mu$ s, posee protección

de sobre-voltaje transitorio de 2,300 Vrms entre los canales de entrada y de tierra física, cada canal cuenta con un LED que indica el estado del canal. [18]

### **4.3.3 Módulo salidas digitales**

El módulo de *salidas digitales* **NI 9472** que se ve en la figura 26, se encarga del control de las válvulas solenoides y de los variadores de velocidad; este módulo cuenta con 8 canales de salidas digitales, con un rango de voltaje de 6 a 30 Vdc, periodo de salida digital es de 100  $\mu$ s. Posee protección 2,300 Vrms contra sobretensiones transitorias entre los canales de salida y el plano trasero, Al igual que el módulo de entradas digitales, cada canal del NI 9472 cuenta con un LED que indica el estado de ese canal. [19]

## **4.4 ESTANDAR 4 A 20 mA**

Es el estándar más utilizado para transmitir señales en instrumentación industrial, la señal de corriente representa la señal de medida del instrumento de forma proporcional a la variable de proceso, así, el valor de 4 miliamperios representa el 0% de la medida y el valor de 20 miliamperios representaría el 100% de la medida del instrumento, y cualquier valor entre 4 y 20 mA representa un porcentaje entre 0% y 100% de la variable medida. [20]

**Figura 24.** Módulo análogo de Corriente NI 9203



Fuente: National

Instruments.[http://sine.ni.com/nips/cds/pages/image?imagepath=/images/products/us/crio9203\\_1.jpg&title=NI%209203&oracleLang=esa](http://sine.ni.com/nips/cds/pages/image?imagepath=/images/products/us/crio9203_1.jpg&title=NI%209203&oracleLang=esa)

**Figura 25.** Módulo de Entradas Digitales NI 9421.



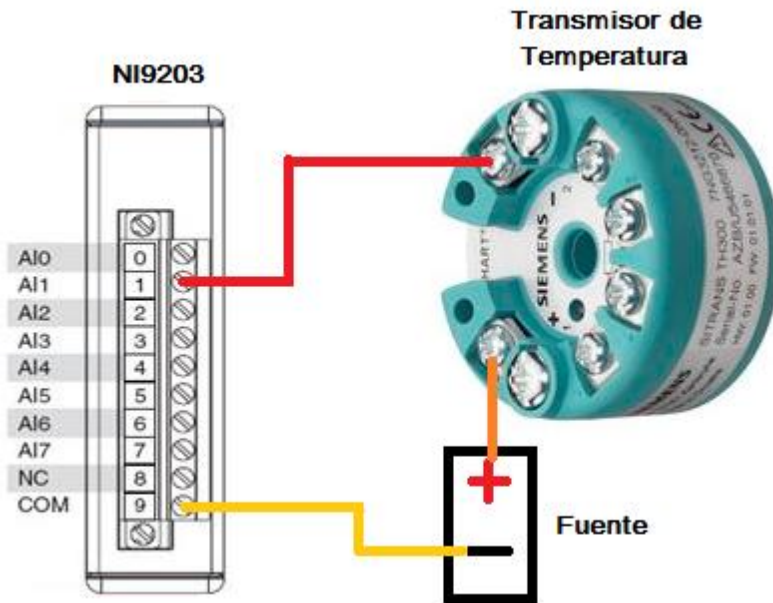
Fuente: National Instruments <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-87>



#### 4.5.1 Conexión del Transmisor de Temperatura

Todo transmisor debe ser alimentado con una fuente de corriente directa, para esto el terminal marcado con el símbolo (+) del transmisor debe conectarse con el terminal positivo de la fuente de alimentación y el símbolo (-) del transmisor deberá conectarse al canal de entrada del módulo **NI9203** (entrada análoga), cabe resaltar que se conectaron a este módulo 5 señales de corriente de 4 a 20 mA, correspondientes al sensor de flujo E&H (canal 0), la RTD ubicada aguas arriba del sensor de flujo ( canal 1), la RTD ubicada aguas abajo del sensor de flujo (canal 2), el transmisor de presión ubicado aguas arriba del sensor de flujo (canal 3) y el transmisor de presión conectado aguas abajo del sensor de flujo (canal 4). El terminal negativo de la fuente se conectó con el terminal común de la tarjeta de adquisición de datos NI9203, estas conexiones se pueden observar en la figura 28. [21]

**Figura 28.** Conexión transmisor de Temperatura a la tarjeta de Adquisición de Datos NI 9203

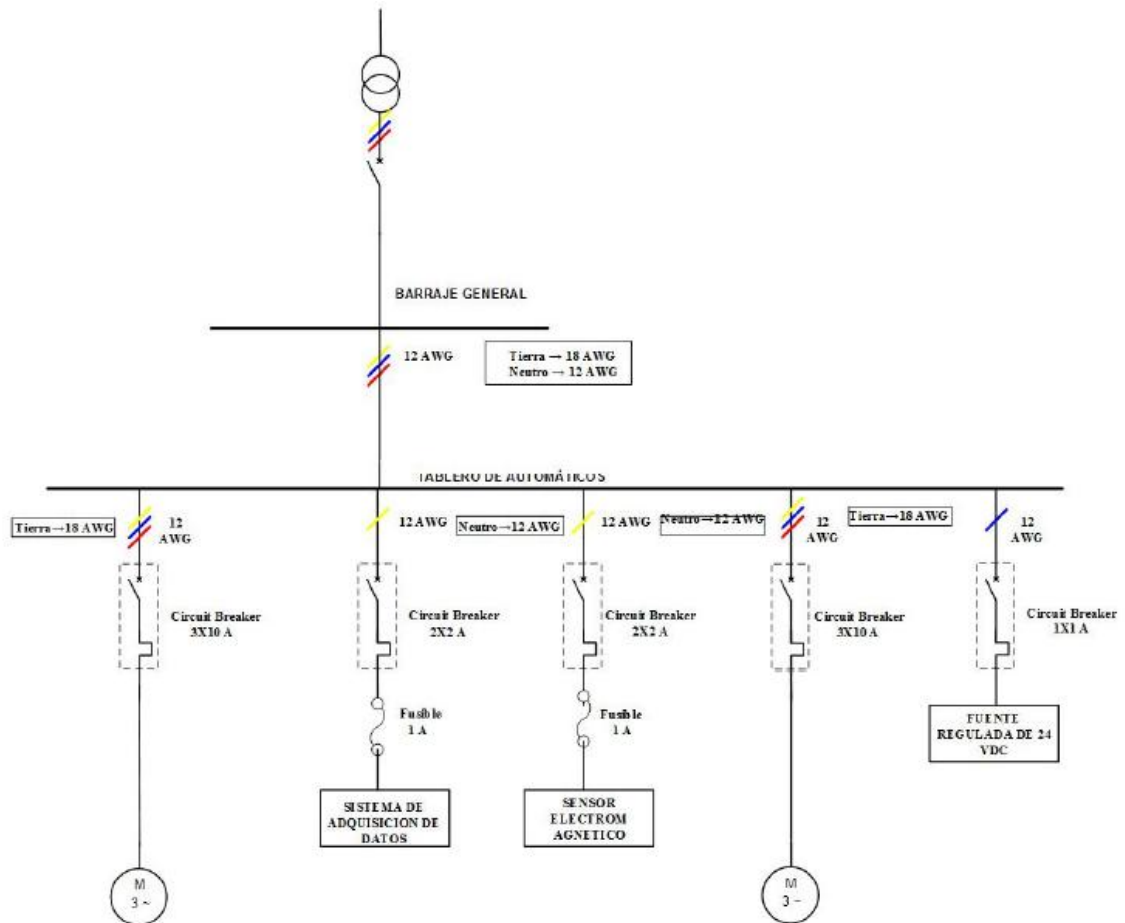


Fuente: autor

## 4.6 PLANO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

El plano eléctrico de la figura 29 presenta las conexiones del tablero de control del módulo de flujo.

Figura 29. Plano Eléctrico



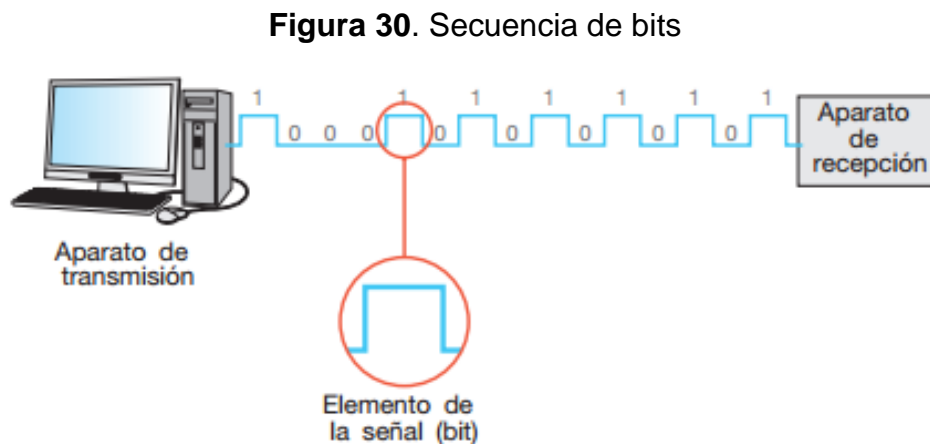
Fuente: GÓMEZ ALVAREZ, ALVARO DANIEL. Implementación del primer anillo de calibración del banco de medición de flujo de agua basado en la norma técnica colombiana ntc1063 para el laboratorio de instrumentación de la universidad pontificia bolivariana

## 4.7 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PRELIMINAR

### 4.7.1 Comunicación Digital

La comunicación digital es un intercambio de datos de tipo binario entre dos o más dispositivos electrónicos.

Esta comunicación por lo general se realiza de forma serial, transmitiendo bit a bit, uno detrás de otro a través del mismo canal de transmisión como se muestra en la figura 30. [22]



Fuente:[https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB\\_ES-OK.pdf](https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB_ES-OK.pdf)

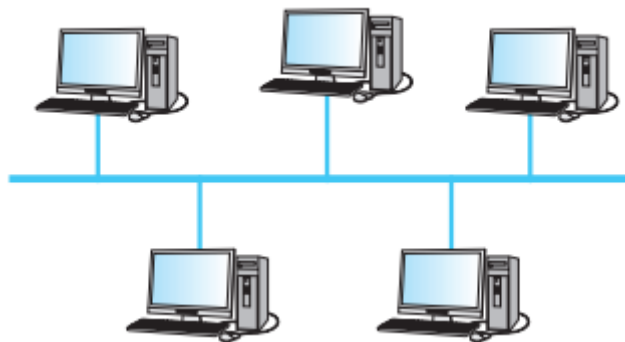
Para realizar el intercambio de datos e información los aparatos deben estar interconectados por medio de una red de comunicación, dicha red está compuesta por dispositivos que funcionan como punto de transmisión y/o recepción de datos también conocidos como nodos, los cuales están interconectados por líneas de comunicación que sirven como medio físico por el que viaja la información.

Las principales redes de comunicación pueden clasificarse en las siguientes topologías:

- **Red en anillo**
- **Red en estrella**
- **Red tipo bus**

La red montada en el módulo de flujo para la comunicación entre el PC y los Variadores de frecuencia es de tipo bus vista en la figura 31, también conocida como bus de campo. Esta se basa en un medio de transmisión común para todos los nodos conectados a esta, presentando la ventaja de que si uno de los nodos falla, la red no presentará problemas.

**Figura 31.** Red tipo bus



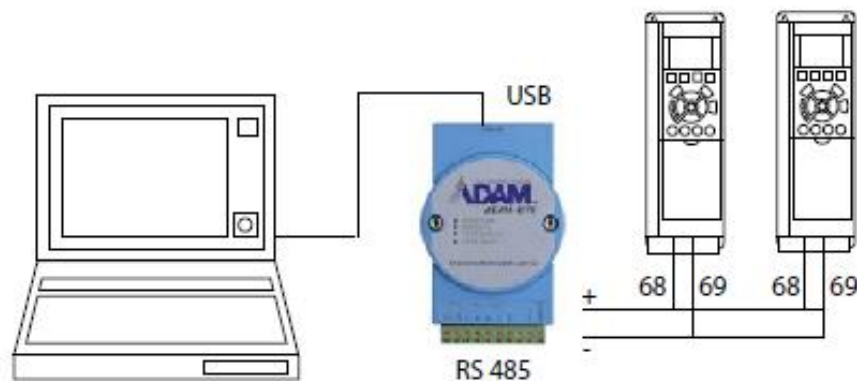
Fuente:[https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB\\_ES-OK.pdf](https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB_ES-OK.pdf)

Esta red se caracteriza por ser sencilla, por permitir una transmisión bidireccional, multipunto, serial y permitiendo no solo la lectura de sensores, sino también el de transportar órdenes a actuadores, realizando tareas de supervisión y control, como en el caso del banco, el encendido, apagado y cambio de velocidad de las bombas a través de los variadores de velocidad Danfoss.

Para la conexión entre el pc y los variadores, se empleó el ADVANTECH ADAM 4561 el cual es un conversor RS-485 a USB con aislamiento galvánico, la conexión entre los variadores y el conversor se utilizó cable trenzado apantallado de 6 hilos con calibre 24 como se observa en la figura 36, mientras que la conexión entre el conversor y el PC se hizo a través de un cable USB como se observa en la figura 32.

Así cada variador conectado en la red de comunicación debe de tener una dirección única. Conectando el terminal 68 a la señal P (TX+, RX+), mientras que el terminal 69 está conectado a la señal N (TX-, RX-), para el variador de frecuencia FC 102 como se observa en la figura 35 y para el variador de frecuencia FC 51 en la figura 34, además en la figura 33 se puede observar la conexión del bus.

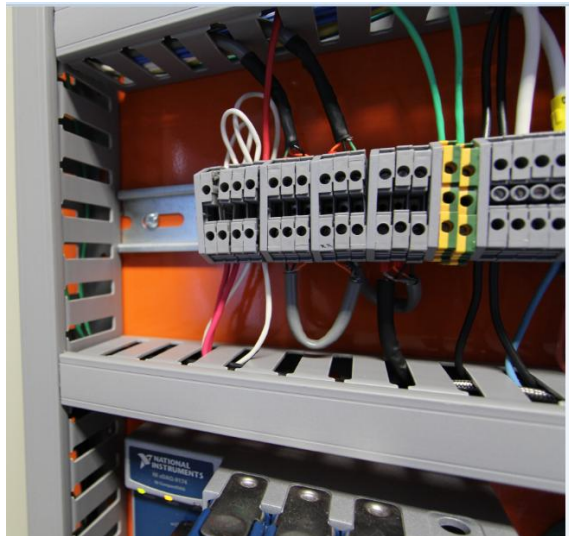
**Figura 32.** Conexión conversor RS485 a los convertidores de Frecuencia en topología bus



Fuente: autor

Es importante disponer de una conexión a tierra de baja impedancia para el apantallamiento de cada nodo, también a frecuencias altas. Por ello, debe conectar una gran superficie del apantallamiento a tierra, por ejemplo, por medio de una abrazadera de cable o un prensacables conductor.

**Figura 33.** Conexión del bus en el Gabinete



Fuente: Autor

**Figura 34.** Conexión del Variador de Frecuencia FC 51



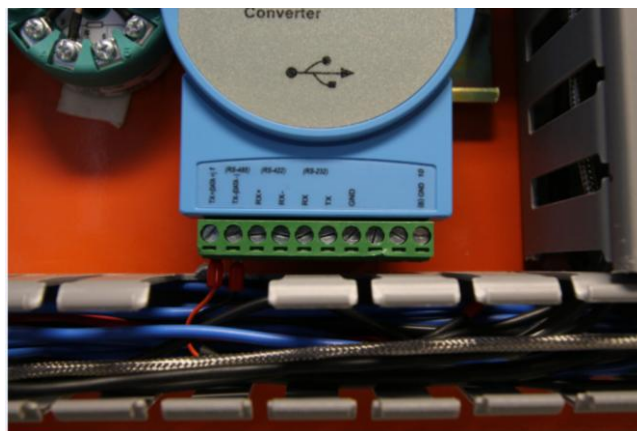
Fuente: Autor

**Figura 35.** Conexión del Variador de Frecuencia FC 102



Fuente: Autor

**Figura 36.** Conexión ADAM



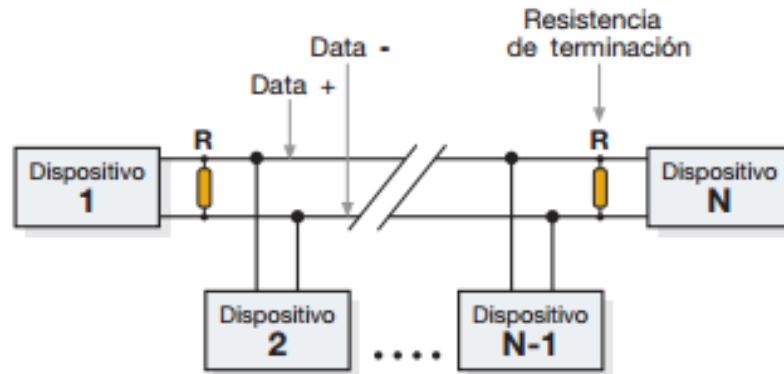
Fuente: Autor

#### **4.7.2 Interfaz RS485**

RS485 es una interfaz de bus de dos hilos compatible con la topología de red multi-drop, es decir, en la que los nodos se pueden conectar como un bus, o mediante cables conectados a una línea de tronco común. Se pueden conectar un total de 32

nodos a un segmento de red, además presenta inmunidad a las perturbaciones eléctricas dicha conexión se observa en la figura 37. [23]

**Figura 37.** Sistema multipunto con conexión por bus con RS485



Fuente:[https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB\\_ES-OK.pdf](https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB_ES-OK.pdf)

En la RS485, todos los dispositivos están conectados en paralelo a un único bus formado por dos conductores, denominados: Data+ y Data-, A y B o Data1 y Data2, según los diferentes fabricantes de los dispositivos.

Ya que los bits se representan por la diferencia de potencial entre Data+ y Data- , se usaran señales diferenciales. Los conductores se encuentran trenzados y próximos el uno del otro, para que las perturbaciones eléctricas les afecten con la misma intensidad, de manera que la diferencia de tensión se altere lo menos posible.

Al entrar en “recepción” un dispositivo, este deja de transmitir y eleva el valor de la impedancia en el puerto de comunicación.

Cabe resaltar que para una correcta transmisión máximo deben haber 31 dispositivos “en recepción” conectados a la línea, ya que RS485 garantiza una

correcta comunicación con un número máximo de dispositivos conectados al bus de 32 y, en cada ciclo de comunicación, un dispositivo está "en transmisión" y los otros 31 "en recepción".

Ya que todos los dispositivos están conectados en paralelo a un único bus, sólo puede transmitir uno a la vez, ya que de lo contrario las señales se superponen y se vuelven irreconocibles. Es importante tener en cuenta que todos los dispositivos conectados a un mismo bus deben estar programados de la misma manera para poder comunicarse entre sí. [22]

#### **4.7.3 Protocolo MODBUS**

“El protocolo de comunicación es el sistema de normas y comportamientos que dos entidades deben respetar para intercambiar información, se trata de una convención precisa asociada a los datos intercambiados entre las partes”. [22]

Cada variador de frecuencia cuenta con dos tipos de protocolos, el FC desarrollado por Danfoss y MODBUS RTU, seleccionando este último para realizar la comunicación entre el PC y los variadores de velocidad.

Siendo el protocolo MODBUS el más usado debido a ser público y de fácil implementación. Este protocolo fue desarrollado por la marca MODICON (modular digital controller) y posee una arquitectura de tipo maestro-esclavo, con una estructura de bus lineal, encontrando un solo maestro y uno o más dispositivos que actúan como esclavos, que responden y proceden según lo requerido por el maestro. Así el maestro puede comunicarse con un esclavo individualmente o puede enviar un mensaje a todos los esclavos.

Físicamente, la comunicación se da en forma serial asíncrona bajo los estándares RS232 o RS485 para enlace semi.duplex (half-duplex) y RS422 para enlace full-dúplex.

Este protocolo posee dos modos de comunicación de datos, ASCII y RTU (o binaria), con características definidas para el envío y recepción de tramas, así el número de bits de dichas tramas dependerán del modo de transmisión que se utilice. El contenido de cada trama permitirá conocer el origen y objetivo de cada una, así al llegar al dispositivo deseado, este podrá ejecutar la función o responder el mensaje.

La longitud de las tramas es variable y pero tiene un máximo de 256 caracteres. Dependiendo de las características técnicas de los dispositivos que conformen el bus, el usuario deberá escoger uno de los dos modos de transmisión, así como los parámetros de comunicación serial, velocidad de transmisión, paridad, número de bits de parada, para configurar adecuadamente el controlador. Estas especificaciones deben ser ajustadas de igual forma en todos y cada uno de los dispositivos que conformen la red para garantizar su buen funcionamiento. [24]

#### **4.7.3.1 Parámetros para comunicación MODBUS**

Para realizar la comunicación entre los dos variadores de velocidad y el computador fue necesario modificar los parámetros en cada uno de los variadores descritos en la tabla 6 y 7, siendo estos de aplicación a la interfaz RS485.

**Tabla 6.** Parámetros grupo 3 variador de frecuencia

<b>Parámetros Grupo 3</b>		
<b>Referencia / Rampas</b>		
<b>Parámetro</b>		<b>Función</b>
3_02	Referencia mínima	20Hz
3_03	Referencia máxima	60Hz
3_04	Función de Referencia	[1]
3_10	Referencia Interna	[0]
3_11	Velocidad fina [Hz]	0,0Hz
3_13	Lugar de Referencia	[0]
3_14	Referencia Interna relativa	0.00%
3_15	Fuente 1 de referencia	[0]
3_16	Fuente 2 de referencia	[0]
3_17	Fuente 3 de referencia	[0]
3_41	Rampa 1 tiempo acel. Rampa	5s
3_42	Rampa 1 tiempo desacel. Rampa	5s
3_51	Rampa 2 tiempo acel. Rampa	3s
3_52	Rampa 2 tiempo desacel. Rampa	3s
3_80	Tiempo rampa veloc. Fija	3s
3_82	Tiempo de rampa de arranque	3s
3_90	Tamaño paso	10%
3_91	Tiempo de rampa	1s
3_92	Restitución de Energía	[0]
3_93	Límite máximo	100%
3_94	Límite mínimo	0%
3_95	Retardo de rampa	000:00:00,001

Fuente: Autor

Parámetros tomados del manual guía de programación fc102 y fc51

**Tabla 7.** Parámetros grupo 8 del variador de frecuencia.

Parámetros Grupo 8		
Comunicaciones y opciones		
Parámetro		Función
8_01	Puesto de control	[2]
8_02	Fuente de control	[1]
8_03	Valor de tiempo límite ctrl.	60s
8_04	Función tiempo límite ctrl.	[0]
8_05	Función tiempo límite	[0]
8_06	Reiniciar tiempo límite ctrl.	[0]
8_07	Accionadro diagnóstico	[0]
8_08	Trama control	[0] [0]
8_10	Trama control	[0]
8_13	STW de código de estado configurable	[12] [1]
8_30	Protocolo	[2] <b>MODBUS</b>
8_31	Dirección	(2para FC102)(1 para FC51)
8_32	Velocidad en baudios	[2](9600 baudios)
8_33	Pariedad / Bits de parada	[2](sin pariedad, 1 bit de parada)
8_34	Estimated cycle time	100ms
8_35	Retardo respuesta mín.	500ms
8_36	Retardo respuesta máx.	5000ms
8_37	Retardo máx. Intercarac.	1,72ms
8_40	Selección de telegrama	[1]
8_42	PCD write configuration	[0][1680]
8_43	PCD read configuration	[0][1603]
8_50	Selección inercia	[1]
8_52	Selección freno CC	[1]
8_53	Selec. Arranque	[1]
8_54	Selec. Sentido inverso	[0]
8_55	Selec. Ajuste	[1]
8_56	Selec. Referencia interna	[1]
8_80	Contador mensajes de bus	46
8_81	Contador errores de bus	[0] 0
8_82	Mensajes de esclavo recibidos	46

8_83	Contador errores de esclavo	0
8_84	Mensajes de esclavo enviados	46
8_85	Errores de tiempo lím. Esclavo	0
8_94	Realim. De bus 1	0
8_95	Realim. De bus 2	0
8_96	Realim. De bus 3	0

Fuente: Autor

**Tabla 8.** Parámetros Variador de Frecuencia

Parámetro	Función
<b>8_30 Protocol</b>	Seleccionar el protocolo de aplicación a utilizar en la interfaz RS485
<b>8_31 Address</b>	Ajustar la dirección del nodo. Nota: el rango de direcciones depende del protocolo seleccionado en 8_30 Protocol
<b>8_32 Baud Rate</b>	Ajustar la velocidad en baudios. Nota: la velocidad predeterminada depende del protocolo seleccionado en 8_30 Protocol
<b>8_33 Rarity/Stop Bits</b>	Ajustar la pariedad y el número de bits de parada. Nota: la selección predeterminada depende del protocolo seleccionado en 8_30 Protocol
<b>8_35 Minimum Response Delay</b>	Especificar un tiempo mínimo de retardo entre la recepción de una petición y la transmisión de la respuesta. Esta función se utiliza para reducir el retardo de procesamiento del módem
<b>8_36 Maximum Response Delay</b>	Especificar un tiempo de retardo máximo entre la transmisión de una petición y la recepción de una respuesta.

Fuente: Manual variador FC51 guía de diseño [22]

*El protocolo Modbus RTU establece el formato para la petición del maestro poniendo en ella la dirección del dispositivo (o de la transmisión), un código de función que define la acción solicitada, los datos que se deban enviar y un campo de comprobación de errores.*

*El mensaje de respuesta del esclavo también se construye utilizando el protocolo Modbus. Contiene campos que confirman la acción realizada, los datos que se hayan de devolver y un campo de comprobación de errores. Si se produce un error en la recepción del mensaje, o si el esclavo no puede realizar la acción solicitada, este generará un mensaje de error y lo enviará en respuesta, o se producirá un error de tiempo límite.[22]*

El empleo del protocolo Modbus permite al maestro controlar varias funciones del convertidor de frecuencia, algunas de ellas son:

- ✓ Arranque
- ✓ Detener el convertidor de frecuencia de diversas formas:
  - Paro por inercia
  - Parada rápida
  - Parada por freno de CC
  - Parada normal (rampa)
- ✓ Reinicio tras desconexión por avería
- ✓ Funcionamiento a velocidades predeterminadas
- ✓ Funcionamiento en sentido inverso
- ✓ Cambiar el ajuste activo
- ✓ Controlar el relé integrado del convertidor de Frecuencia. [22]

#### 4.7.3.2 Estructura de mensaje Modbus RTU

El dispositivo “maestro” envía un mensaje Modbus RTU teniendo un formato con un comienzo conocido y un punto final.

Esto permite a los dispositivos receptores “esclavos” saber dónde inicia el mensaje, y así poder leer la parte de la dirección, determinar a qué dispositivo se dirige (o a todos, si el mensaje es una transmisión) y reconocer cuando el mensaje se ha completado. En caso de presentarse un mensaje incompleto, este se detecta y se determina su causa.

*Los caracteres que se van a transmitir deben estar en formato hexadecimal 00 a FF en cada campo. El convertidor de frecuencia monitoriza continuamente el bus de red, también durante los intervalos «silenciosos». Cuando el primer campo (el campo de dirección) es recibido, cada convertidor de frecuencia o dispositivo lo descodifica para determinar a qué dispositivo se dirige. Los mensajes Modbus RTU dirigidos a cero son mensajes de difusión. No se permiten respuestas a los mensajes de difusión. En Tabla 9, se muestra un formato de mensaje. [22]*

**Tabla 9.** Estructura de mensaje Modbus RTU

<b>Arranque</b>	<b>Dirección</b>	<b>Función</b>	<b>Datos</b>	<b>Comprobación CRC</b>	<b>Final</b>
T1-T2-T3- T4	8 bits	8 bits	N x 8 bits	16 bits	T1-T2-T3- T4

Fuente: Manual variador de frecuencia fc51 [22]

#### **a. Campo de Arranque / parada**

El mensaje comienza con un periodo de silencio de al menos 3,5 intervalos de caracteres. Esto se implementa como un múltiplo de intervalos de caracteres a la velocidad en baudios seleccionada.

Por esta razón si un mensaje inicia antes de este tiempo, tras un mensaje previo, el dispositivo receptor lo considerará una continuación del mensaje anterior, provocando un error.

De forma similar, tras el último carácter transmitido, un periodo de 3,5 intervalos de carácter marca el fin del mensaje. Después de este periodo, puede comenzar otro mensaje.

En caso de presentarse retardos, el dispositivo receptor descarta el mensaje incompleto y asume que el siguiente dato corresponde al inicio del campo dirección de un nuevo mensaje.

#### **b. Campo de Dirección**

*El campo de dirección de un mensaje contiene 8 bits. Las direcciones validas de dispositivos esclavos están en el rango de 0 a 247 decimales. Los dispositivos esclavos individuales tienen direcciones asignadas en un rango entre 1 y 247 (0 se reserva para el modo de transmisión, que reconocen todos los esclavos). Un maestro se dirige a un esclavo poniendo la dirección de este en el campo de dirección del mensaje. Cuando el esclavo envía su respuesta, pone su propia dirección en dicho campo, para que el maestro sepa que esclavo le está contestando.*

### **c. Campo de función**

*El campo de función de un mensaje contiene 8 bits. Los códigos válidos están en el rango de 1 a FF. Estos campos de función se utilizan para enviar mensajes entre el maestro y el esclavo. Al enviar un mensaje desde el maestro a un dispositivo esclavo, el campo de código de función le indica al esclavo la clase de acción que debe realizar. Cuando el esclavo responde al maestro, utiliza el campo de código de función para indicar una respuesta normal (sin error), o que se ha producido un error de alguna clase (esta respuesta se denomina «excepción»).*

*Para dar una respuesta normal, el esclavo simplemente devuelve el código de función original. Para responder con una excepción, el esclavo devuelve un código equivalente al de la función original, pero con su bit más significativo cambiado a 1 lógico. Además, el esclavo pone un código único en el campo de datos del mensaje de respuesta. Esto le indica al maestro el tipo de error ocurrido o la razón de la excepción. [22]*

### **d. Campo de datos**

*El campo de datos se construye utilizando grupos de dos dígitos hexadecimales, en el intervalo de 00 a FF en hexadecimal.*

*El campo de datos de los mensajes enviados desde un maestro a un dispositivo esclavo contiene información adicional que el esclavo debe utilizar para realizar la acción definida por el código de función. Este puede incluir elementos tales como direcciones de registro o bobinas, la cantidad de elementos que se manejarán y el contador de los bytes de datos reales del campo. [22]*

#### **e. Campo de comprobación CRC**

*Los mensajes incluyen un campo de comprobación de errores, que se comporta en base al método de Comprobación de redundancia cíclica (CRC). El campo CRC comprueba el contenido de todo el mensaje.*

*El valor CRC lo calcula el dispositivo emisor, que añade el CRC como último campo del mensaje. El dispositivo receptor vuelve a calcular un CRC durante la recepción del mensaje y compara el valor calculado con el valor recibido en el campo CRC.*

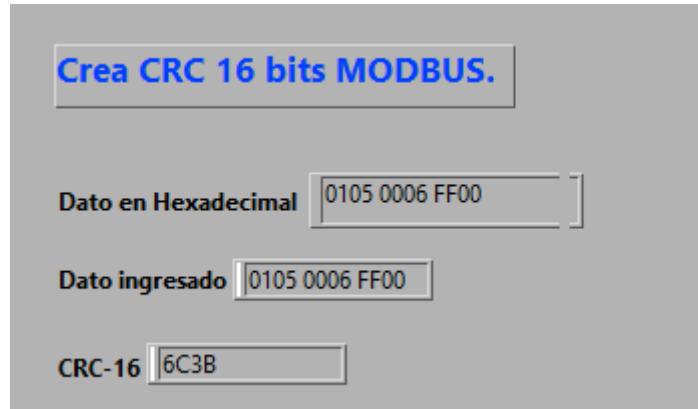
*El campo de comprobación de errores contiene un valor binario de 16 bits implementado como dos bytes de 8 bits. Cuando esto se ha realizado, el byte de orden bajo del campo se añade primero, seguido del byte de orden alto. El byte de orden alto del CRC es el último byte que se envía en el mensaje. [22]*

Para el cálculo del CRC de 16 bits se descargó un ejemplo de la página de National Instruments <http://www.ni.com/example/26488/en/>.

En dicho ejemplo se ingresa el dato que se desea enviar en Hexadecimal, y el programa calcula el CRC de 16 bits correspondiente a dicho dato ingresado.

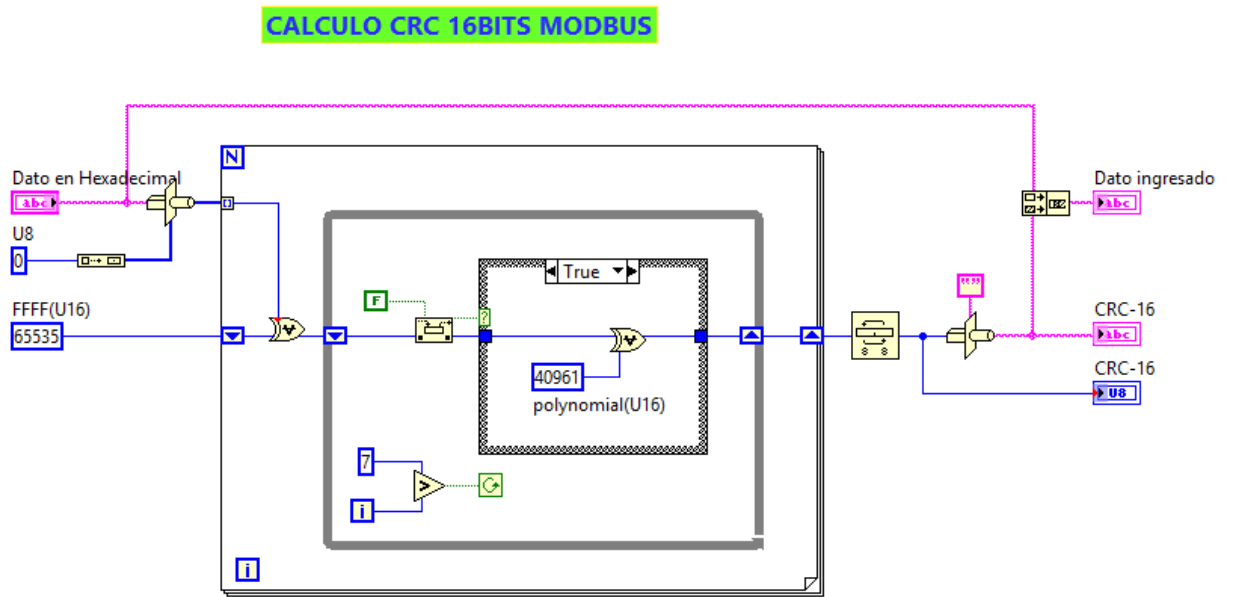
En la figura 38 y 39 se puede observar cómo se realiza el cálculo para la trama que corresponde para el arranque en rampa del variador FC51.

**Figura 38.** Calculo CRC-16bits en LabVIEW



Fuente: <http://www.ni.com/example/26488/en/>

**Figura 39.** Programa para el cálculo del CRC-16 bits



Fuente: <http://www.ni.com/example/26488/en/>

### 4.7.3.3 Diseño Tramas Modbus RTU

Basados en las especificaciones dadas en las guías de diseño de los variadores Danfoss FC51 y FC102 vistas tablas 10 y 11, se diseñaron las tramas para el

encendido, apagado y variación de velocidad (frecuencia) de dichos variadores, aplicando el protocolo Modbus RTU.

Se debe resaltar que el cálculo del CRC fue con ayuda de un ejemplo proporcionado por National instrument.

**Tabla 10.** Tramas para el variador de frecuencia FC102

VARIADOR DE FRECUENCIA FC 102				
Acción	TRAMA EN HEX			
	Dirección del Esclavo [8 bits]	Función [8 bits]	Datos [N x 8 bits] (Dirección bobina-registro)	CRC [16 bits]
Arranque rampa	02	05	0006 FF00	6C08
Arranque por registros	02	06	0AF9 047C	5931
Arranque inercia	02	05	0003 FF00	7C09
Parada rampa	02	05	0006 0000	2DF8
Parada por registros	02	06	0AF9 043C	58C1
Velocidad 33.3% - 20 Hz	02	06	0AFA 0000	AA10
Velocidad 41.7% - 25 Hz	02	06	0AFA 0800	ADD0
Velocidad 50 % - 30 Hz	02	06	0AFA 1000	A7D0
Velocidad 58.3% - 35 Hz	02	06	0AFA 1800	A010
Velocidad 66.7% - 40 Hz	02	06	0AFA 2000	B3D0
Velocidad 75% - 45 Hz	02	06	0AFA 2800	B410
Velocidad 83.3% - 50 Hz	02	06	0AFA 3000	BE10
Velocidad 91.7 % - 55 Hz	02	06	0AFA 3800	B9D0
Velocidad 100% - 60 Hz	02	06	0AFA 4000	9BD0
Gambiar frecuencia de salida mantenida	02	05	0005 FF00	9C08
Mantener frecuencia de salida	02	05	0005 0000	DDF8
Leer frecuencia de salida	02	03	0B5E 0001	E7CF
Leer bobina 7	02	01	0006 0001	1DF8
Reiniciar comunicación	02	08	0001 FF00	F008

Fuente: Autor

Dichas tramas permiten automatizar el encendido, apagado y cambio de velocidad de las bombas, por medio de los variadores de frecuencia. Ya que se pueden realizar dichos cambios de forma remota, a través de la interfaz diseñada en LabVIEW.

**Tabla 11.** Tramas para el variador FC51

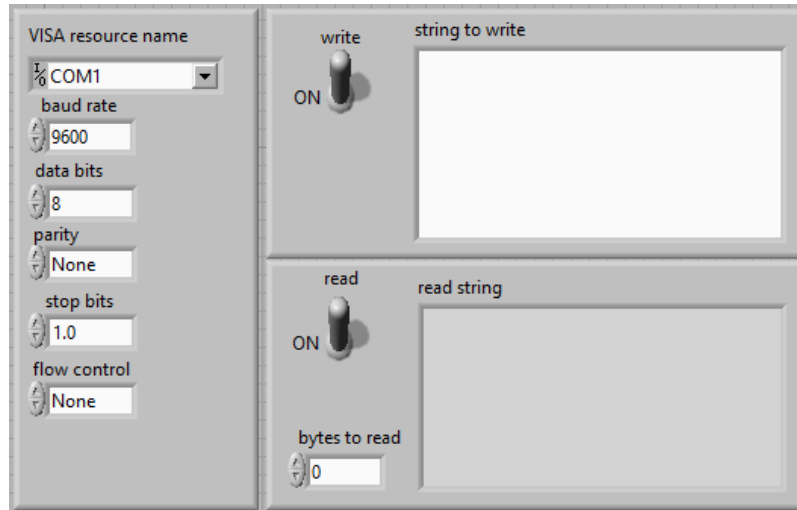
VARIADOR DE FRECUENCIA FC 51				
Acción	TRAMA EN HEX			
	Dirección del Esclavo [8 bits]	Función [8 bits]	Datos [N x 8 bits] (Dirección bobina-registro)	CRC [16 bits]
Arranque rampa	01	05	0006 FF00	6C3B
Parada rampa	01	05	0006 0000	2DCB
Parada por inercia	01	05	0003 0000	3DCA
Leer bobina 7	01	01	0006 0001	1DCB
Velocidad 33.3% - 20.5 Hz	01	06	0AFA 8000	CBE3
Velocidad 44.4% - 27.3 Hz	01	06	0AFA 0000	AA23
Velocidad 50% - 30.8 Hz	01	06	0AFA 1000	A7E3
Velocidad 56.7% - 35 Hz	01	06	0AFA 2350	B32F
Velocidad 64.3% - 39.8 Hz	01	06	0AFA 3980	B9D3
Velocidad 72.5% - 45 Hz	01	06	0AFA 5100	97B3
Velocidad 80.5% - 50 Hz	01	06	0AFA 6800	85E3
Velocidad 86.6% - 54 Hz	01	06	0AFA 7999	49D9
Leer frecuencia de salida	01	03	0B5E 0001	E7FC

Fuente: Autor

Como se mencionó con anterioridad el diseño de la interfaz se empleó el software LabVIEW de la compañía National Instruments, ya que el chasis y módulos empleados para la adquisición de datos del banco de ensayos y calibración fue de dicha empresa.

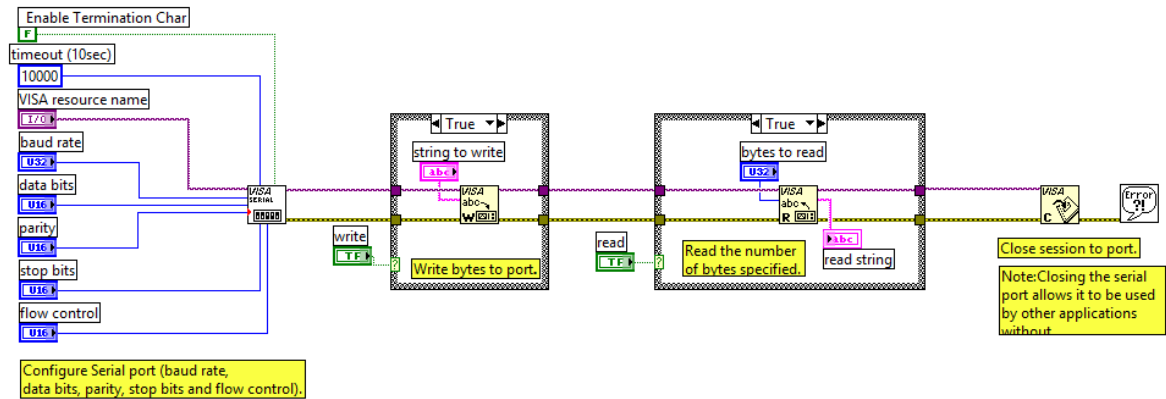
Para verificar la funcionalidad de las tramas, el bus montado y la comunicación con los variadores de velocidad, se ejecutó el ejemplo básico de comunicación serial proporcionado por LabVIEW visto en las figuras 40 y 41.

Figura 40. Interfaz de prueba



Fuente: Autor

Figura 41. Programación comunicación básica serial



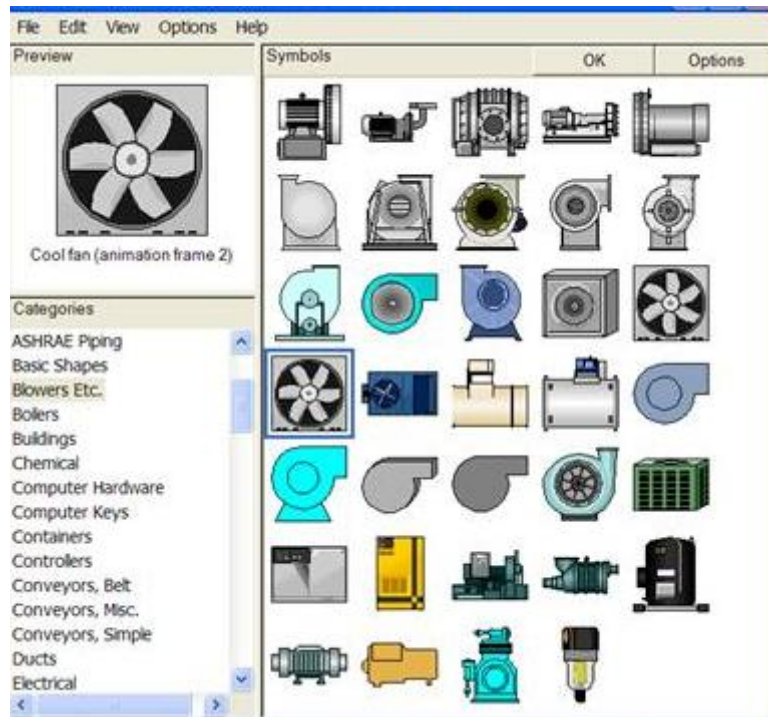
Fuente: Autor

## 4.8 DISEÑO HMI (INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA)

Para la detección y uso de los módulos usados para la adquisición y control de Señales, se emplearon los módulos express que posee LabVIEW, además del módulo DSC, "Datalogging and Supervisory Control Module", el cual cuenta con una librería que proporciona diferentes equipos e instrumentos para la representación de cada componente del proceso, como tuberías, válvulas, bombas, tanques,

sensores, entre otras, gran parte de las imágenes tienen un comportamiento Digital esto quiere decir que cambian su estado dependiendo de su entrada (alta o baja), como se ve en la figura 43.

**Figura 42.** Datalogging and Supervisory Control Module DSC, LabVIEW

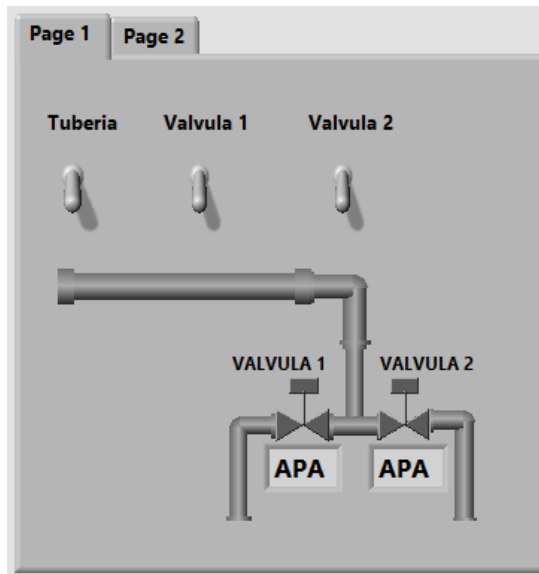


Fuente: <http://lmoptics.2ap.pl/labview-2009-dsc-module.htm>

A continuación se presenta un ejemplo de activación de tuberías y válvulas en LabVIEW, se puede observar el cambio de color al activarse cada instrumento con el cambio de estado del Switch booleano.

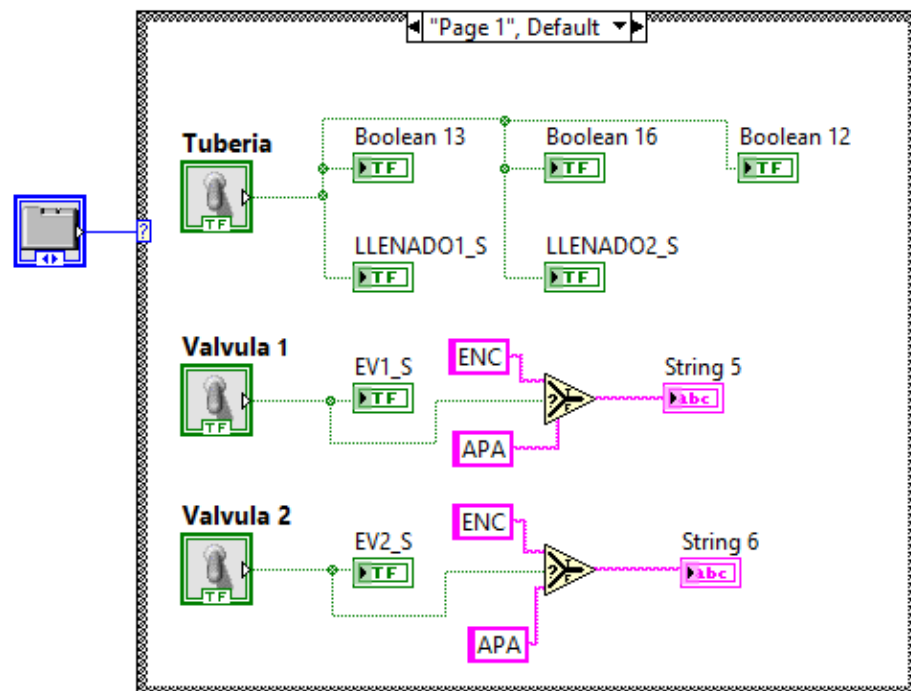
Dichos accesorios se pueden encontrar en el software LabVIEW como son presentados en la figura 42, pudiendo así desarrollar una interfaz más amigable y con un diagrama básico del proceso.

**Figura 43.** Ejemplo de activación de tuberías y válvulas en LabVIEW



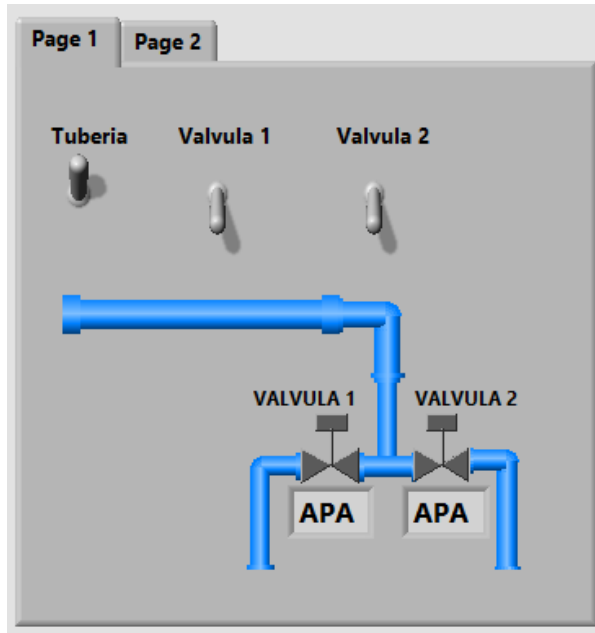
Fuente: Autor

**Figura 44.** Programación del ejemplo de activación de tuberías y válvulas en LabVIEW



Fuente: Autor

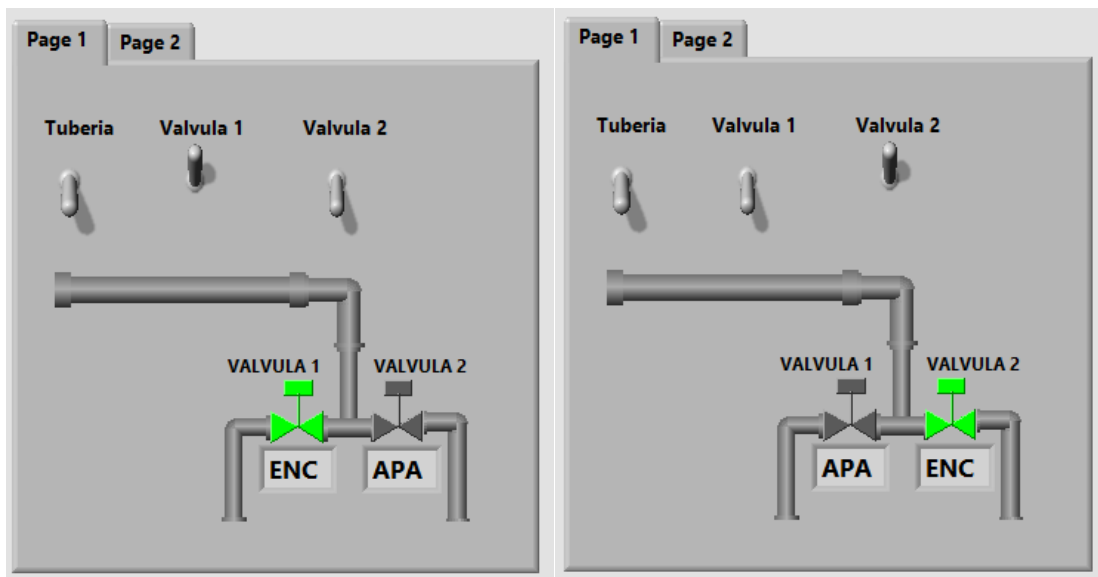
**Figura 45.** Activación de tubería en LabVIEW



Fuente: Autor

Se puede observar en las figuras 45 y 46 cómo se activa la tubería y válvulas al accionar el switch correspondiente a cada componente.

**Figura 46.** Activación de Válvulas en LabVIEW



Fuente: Autor

Para el diseño de la interfaz se tuvo en cuenta las clases de pruebas que se realizan en el módulo, así como la información y datos que se desean observar.

Por esta razón se optó por ubicar cada prueba realizada en el módulo en una pestaña, encontrando 6 pestañas en la interfaz.

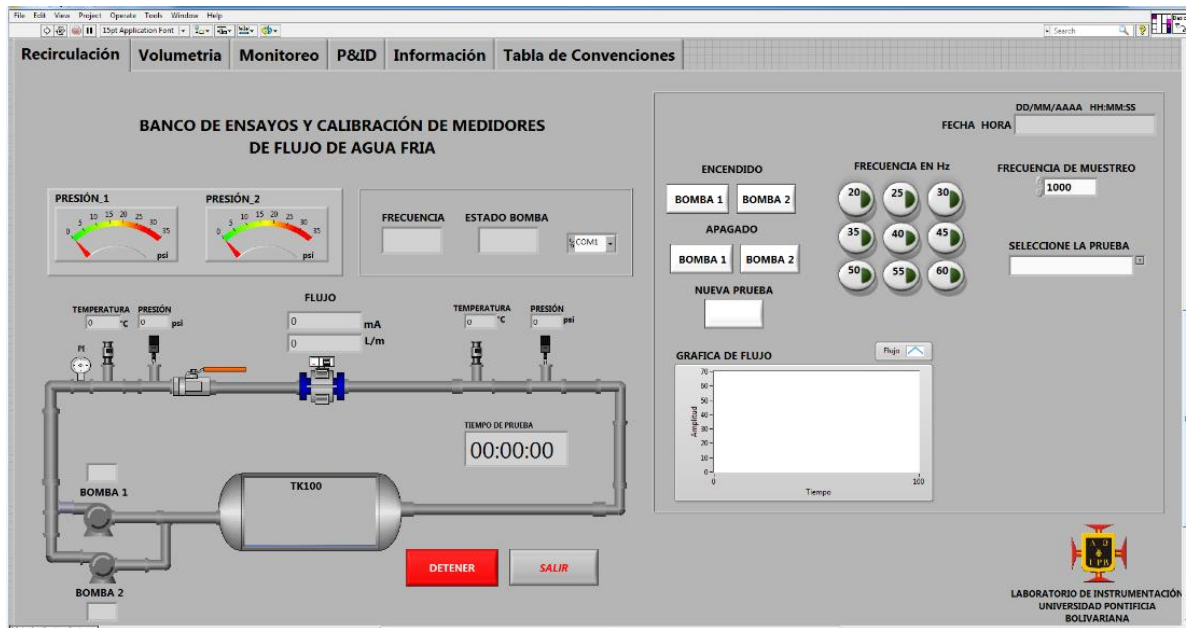
- Recirculación
- Volumetría
- Monitoreo
- P&ID
- Información

#### **4.8.1 Recirculación**

La primera pestaña contiene la prueba de Recirculación, esta prueba permite realizar la evaluación de funcionamiento, histéresis y repetibilidad del sensor de flujo E&H, además en la interfaz se podrá manejar el encendido, apagado y cambio de velocidad de las bombas por medio de botones, también se puede ver la temperatura, presión y caudal y un histórico de estos datos tal como se muestra en la figura 47.

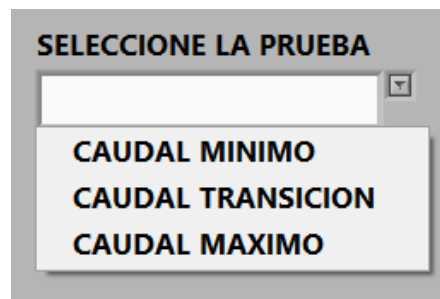
La interfaz permite seleccionar el tipo de caudal que se desea manejar en la prueba ya sea mínimo, máximo o de transición como se muestra en la figura 48. Se debe tener en cuenta que la **BOMBA 1** corresponde a la bomba *BARNES* que maneja caudales máximos y de transición, y la **BOMBA 2** corresponde a la bomba *PEDROLLO* para caudales mínimos.

**Figura 47.** Ventana de Recirculación HMI



Fuente: Autor

**Figura 48.** Selección tipo de caudal a manejar en la prueba



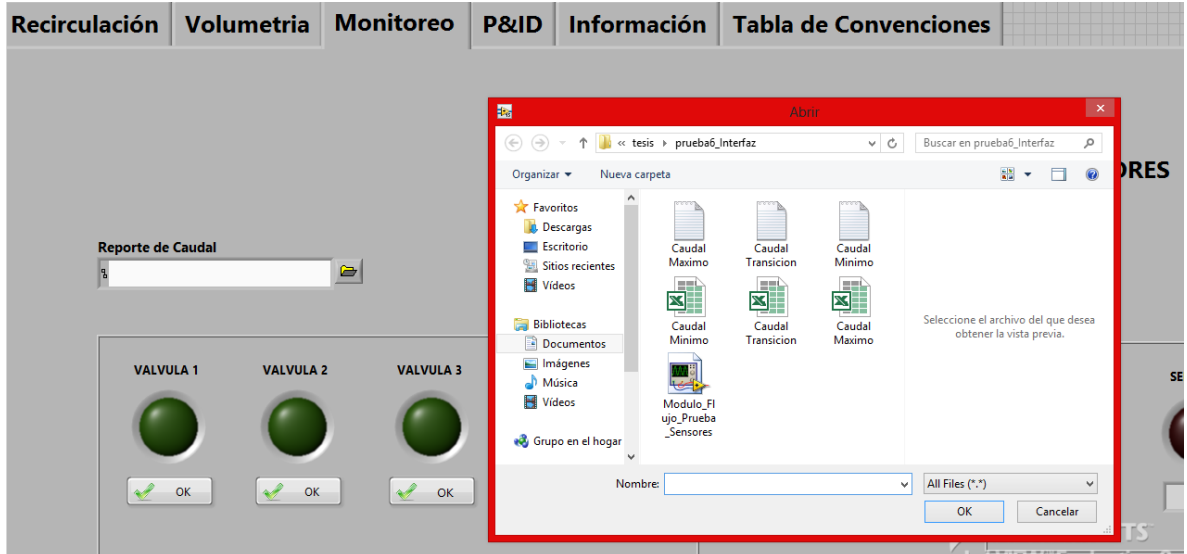
Fuente: Autor

#### 4.8.1.1 Generación de Reportes

El reporte de datos se encuentra en la pestaña de monitoreo, así que para generarlo, se debe seleccionar el tipo de caudal que se va ejecutar, como se observa en la figura 49.

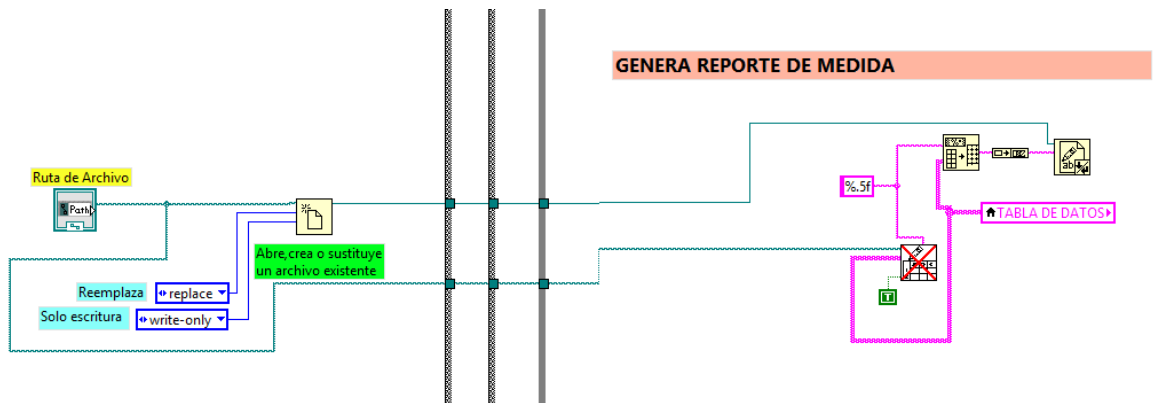
Este reporte se podrá observar en un archivo Excel o en un bloc de notas.

**Figura 49.** Generación de reportes HMI



Fuente: Autor



**Figura 50.** Programación generación de reportes HMI



Fuente: Autor



Este instrumento virtual **VI** permite abrir, crear o sustituir un archivo existente, este se configuro de tal manera que se reemplacen los datos cada vez que se ejecuta una prueba. Para guardar los datos se empleó el **write delimited**

*spreadsheet VI* . El *Array To Spreadsheet String Function VI*  permite convertir un array de x dimensión a una tabla de forma string.

#### 4.8.1.2 Encendido y apagado de las Bombas

Para el encendido de bombas se debe tener en cuenta el tipo de caudal que se desea manejar, ya que la bomba *BARNES (BOMBA 1)* de referencia 1515HHE-23 posee un motor de inducción trifásico a 60 Hz de 2HP, mientras que la bomba *PEDROLLO (BOMBA 2)* de referencia *PRO NGA 1A*, tiene un motor también eléctrico de inducción trifásico a 60 Hz pero con una potencia de 1HP, siendo esta última la empelada para caudales mínimos, y la *BARNES* para caudales máximos y de transición, la selección de la bomba con la que se desea trabajar se hace mediante los botones mostrados en la figura 51.

**Figura 51.** Botones de encendido y apagado de las Bombas.



Fuente: Autor

Para modificar la velocidad del motor de cada bomba y el encendido y apagado de estas, se utilizan dos variadores de frecuencia marca *Danfoss*, siendo el de referencia *VLT Micro Drive FC 51* con una capacidad de 2 HP el de la bomba

*PEDROLLO*, y el *VLT HVAC Drive FC 102* también con una capacidad de 2 HP el de la bomba *BARNES*.

Con el fin de evitar intervención directa con los variadores de velocidad, y poder tener un sistema de supervisión y control de datos, se diseñó la interfaz de tal manera que permitiera encender, apagar y modificar la frecuencia con tan solo oprimir un botón esta programación se puede observar en la figura 52.

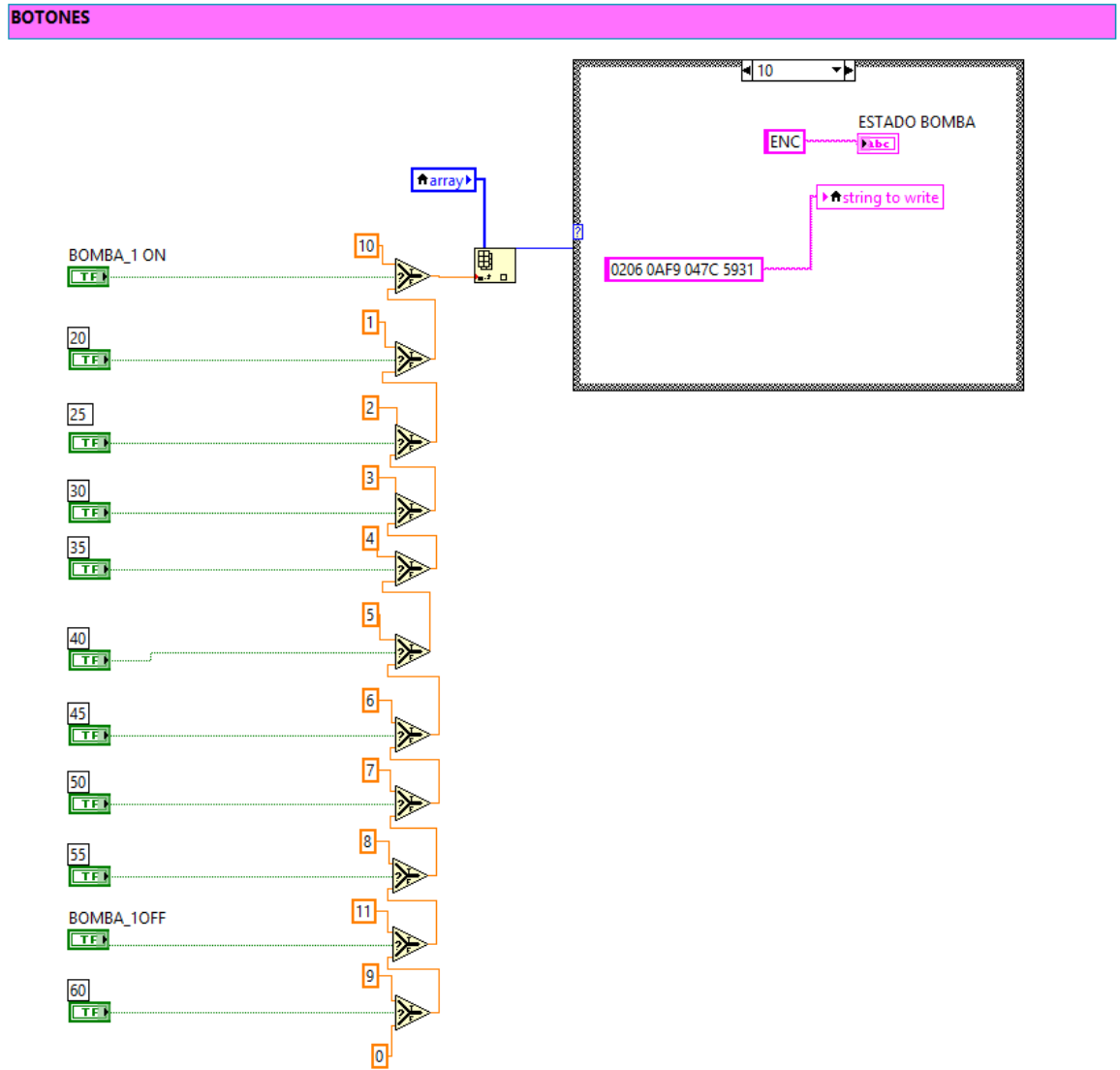
Dicha programación consiste: al oprimir el botón deseado, por ejemplo el de encendido, se ejecutara la ventana del case que corresponde con dicho botón, en este caso la 10 que contiene la trama de encendido del variador de frecuencia, enviando dicha trama por comunicación serial al variador y encendiendo la bomba. De la misma manera funciona con los botones de frecuencia y estos botones se pueden observar en la figura 53.

#### **4.8.1.3 Adquisición de Señales Análogas**

##### **a. Flujo, Temperatura y Presión**

Como se mencionó en el capítulo 4, el banco de flujo cuenta con tres módulos para la adquisición y control de señales, un módulo de entradas digitales, otro de salidas digitales y un tercero para la adquisición de señales análogas, este último se encarga de tomar las señales dadas por el sensor de Flujo E & H, las señales dadas por los transmisores de corriente que se encargan de convertir la señal dada por la RTD a la señal estándar 4 a 20 mA, y las señales dadas por los dos transmisores de presión.

Figura 52. Programación de los botones de encendido, de apagado y de frecuencia



Fuente: Autor

**Figura 53.** Botones de frecuencia de la Interfaz



Fuente: Autor

Ya que las señales de temperatura, presión y flujo adquiridas por el módulo NI9203 se encuentran en términos de corriente [4-20mA], se debe realizar una transformación con el fin de poder observar en la interfaz la temperatura en su unidad el Celsius [°C], la presión en psi y el flujo en L/min.

#### - Flujo

El Sensor de Flujo Endress and Hauser de tipo electromagnético ubicado en el anillo trasmite la señal estándar de 4-20mA observar en la figura 54 y 55.

**Figura 54.** Sensor de flujo E&H



Fuente: Autor

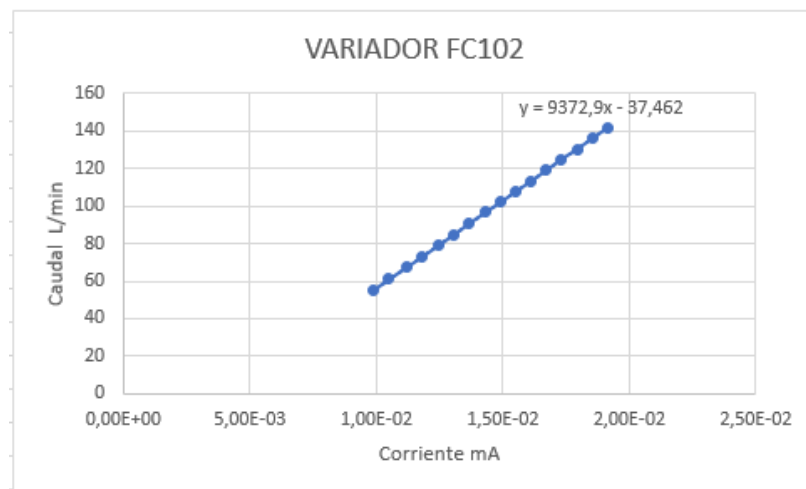
**Figura 55.** Transmisor del sensor de Flujo E&H



Fuente: Autor

Para determinar el valor por el cual se debe multiplicar la señal de corriente, y así obtener los datos en términos de L/min, se modificó la frecuencia de dos en dos, desde 20Hz hasta 50Hz, y tomando los datos de Caudal dados por el sensor de flujo, y la corriente se procedió a graficar y obtener la ecuación que permitirá mostrar el flujo en la interfaz véase tabla 12, estos datos fueron graficados y se pueden ver en la figura 56.

**Figura 56.** Grafica Corriente vs Caudal, variador FC102



Fuente: Autor

**Tabla 12.** Datos de caudal y corriente del Variador de Frecuencia FC102

Variador Fc 102		
Frecuencia Hz	Caudal L/min	I [mA]
20	55,03	9,86E-03
22	61,13	1,05E-02
24	67,2	1,12E-02
26	73,1	1,18E-02
28	79,12	1,25E-02
30	84,8	1,31E-02
32	90,85	1,37E-02
34	96,72	1,43E-02
36	102,1	1,49E-02
38	107,8	1,55E-02
40	113,45	1,61E-02
42	119	1,67E-02
44	125,03	1,73E-02
46	130,5	1,79E-02
48	136,4	1,85E-02
50	142,07	1,92E-02

Fuente: Autor

Ya que el módulo cuenta con dos bombas, fue necesario realizar la prueba con cada bomba, estando así, los datos obtenidos con la bomba PEDROLLO. contenidos en la tabla 13 y la gráfica obtenida de estos datos en la figura 57.

Para poder observar el flujo en términos de corriente y en unidades de L/min en la interfaz, se utilizó el express module de entrada análoga, ya que los datos están en mA se multiplica por 1000 para poder observarlos usando un indicador numérico. Para convertir dicha corriente en caudal, se usó la estructura Formula node de labVIEW, se diseñó un if de tal manera que se lograra observar la variable en las unidades deseadas.

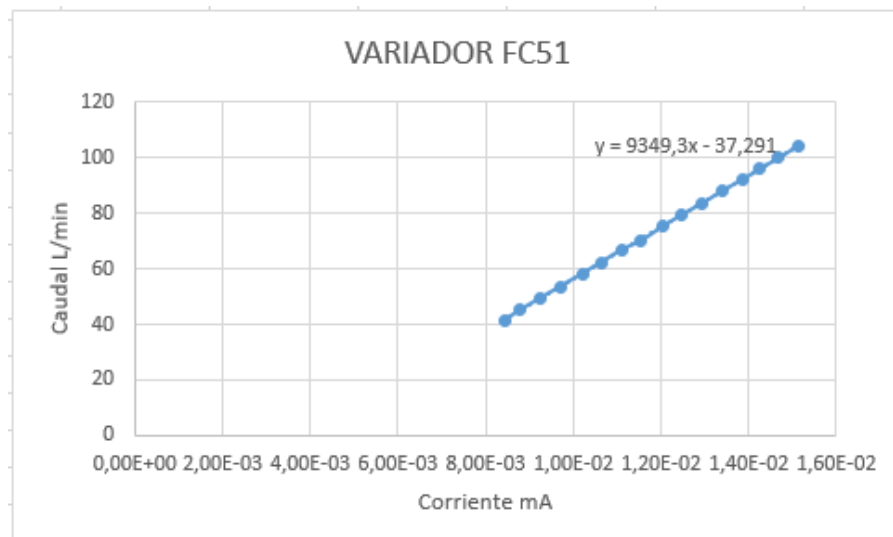
En las figuras 58 y 59. Se puede observar cómo se realizó la adquisición de flujo, temperatura y presión.

**Tabla 13.** Datos de caudal y corriente del Variador de Frecuencia FC51

Variador Fc 51		
Frecuencia [Hz]	Caudal [L/min]	I [mA]
20	41,5	8,44E-03
22	45,04	8,80E-03
24	49,24	9,24E-03
26	53,62	9,72E-03
28	58,11	1,02E-02
30	62,42	1,07E-02
32	66,8	1,11E-02
34	70,1	1,16E-02
36	75,3	1,21E-02
38	79,4	1,25E-02
40	83,65	1,30E-02
42	88,1	1,34E-02
44	92,2	1,39E-02
46	95,9	1,43E-02
48	99,9	1,47E-02
50	104,5	1,52E-02

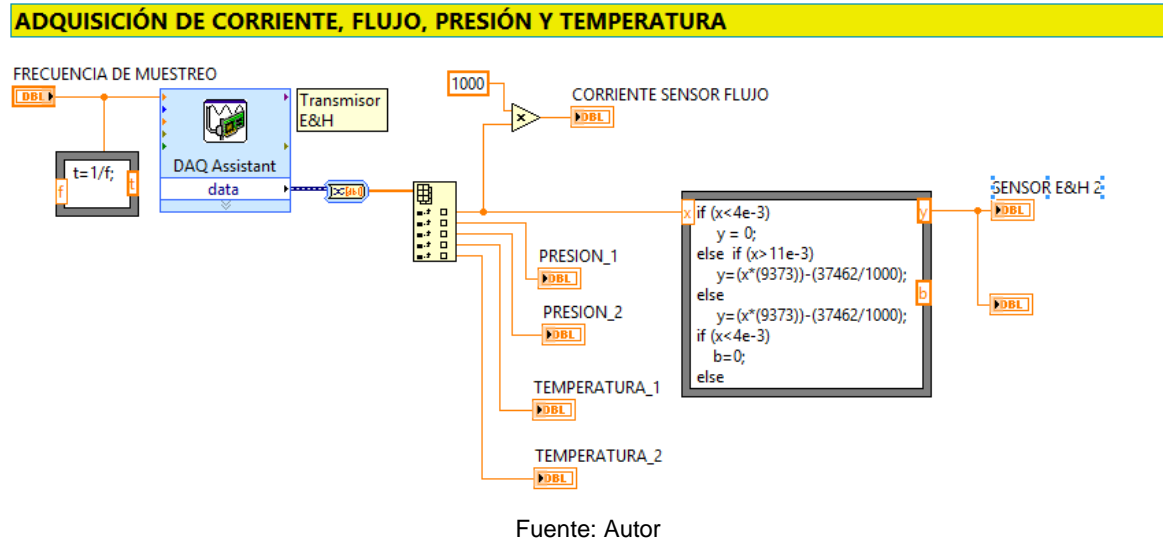
Fuente: Autor

**Figura 57.** Grafica Corriente vs Caudal, variador FC51

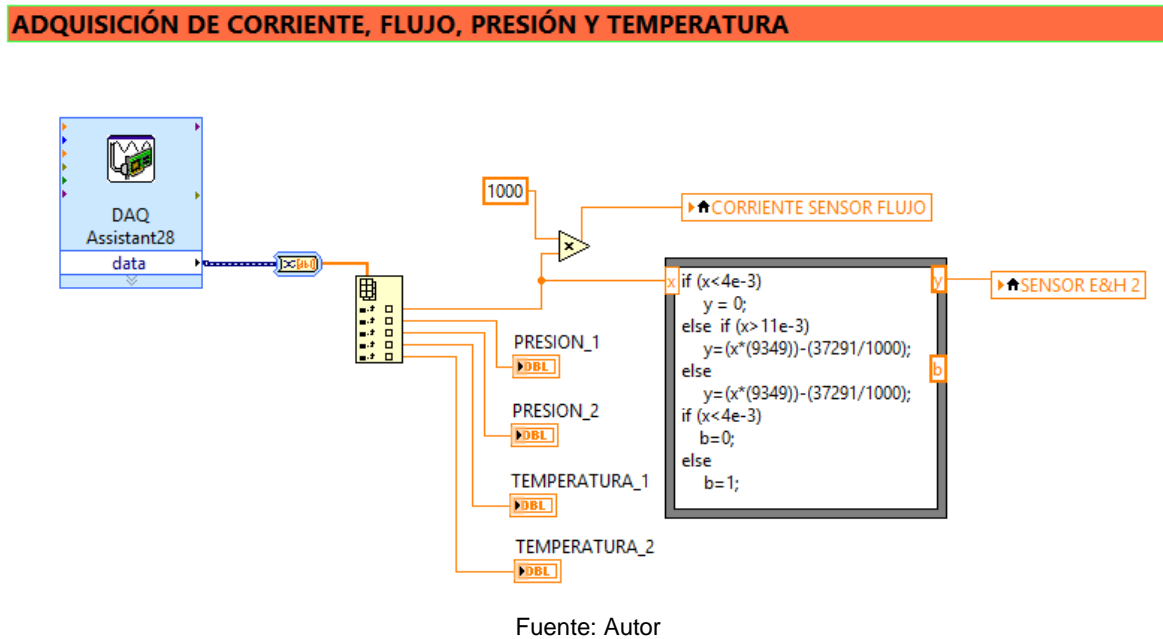


Fuente: Autor

**Figura 58.** Adquisición de Flujo, Presión y Temperatura en LabVIEW, para Caudales máximos y de transición



**Figura 59.** Adquisición de Flujo, Presión y Temperatura, para Caudales mínimos



## - Temperatura

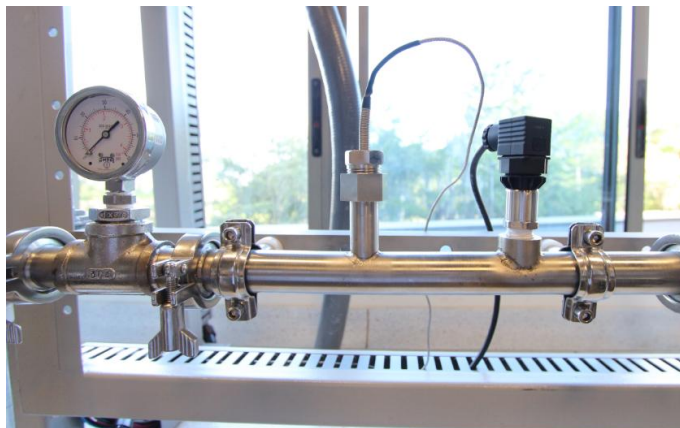
De acuerdo a la norma NTC 1063-3, se debe tomar la temperatura y presión aguas arriba y aguas abajo del sensor o sensores de flujo que se desean calibrar, para esto se ubicó en el anillo de flujo dos transmisores de presión y dos RTDs PT100 (ver figura 60) ubicadas dentro de un termopozo cada una, de tal manera que se pueda tomar la temperatura y presión del fluido dentro de la tubería, este montaje se podrá observar en la figura 61.

**Figura 60.** RTD PT100



Fuente. [http://es.aliexpress.com/promotion/promotion\\_rtd-lead-wire-promotion.html](http://es.aliexpress.com/promotion/promotion_rtd-lead-wire-promotion.html)

**Figura 61.** Montaje de termo pozo y transmisor de presión.



Fuente: Autor

Para hallar la ecuación que permita observar la temperatura en °C en la interfaz se montó en un baño seco la RTD PT100 y se modificó la temperatura del baño cada 5°C desde 0°C hasta 60°C, (incluyendo 100°C).

Se tomaron los datos de temperatura y corriente, graficando y linealizando como se observa en la tabla 14, y figura 54, Se obtiene la ecuación que permitirá obtener los datos en términos de la variable de proceso deseada.

**Figura 62.** Toma de datos utilizando baño seco



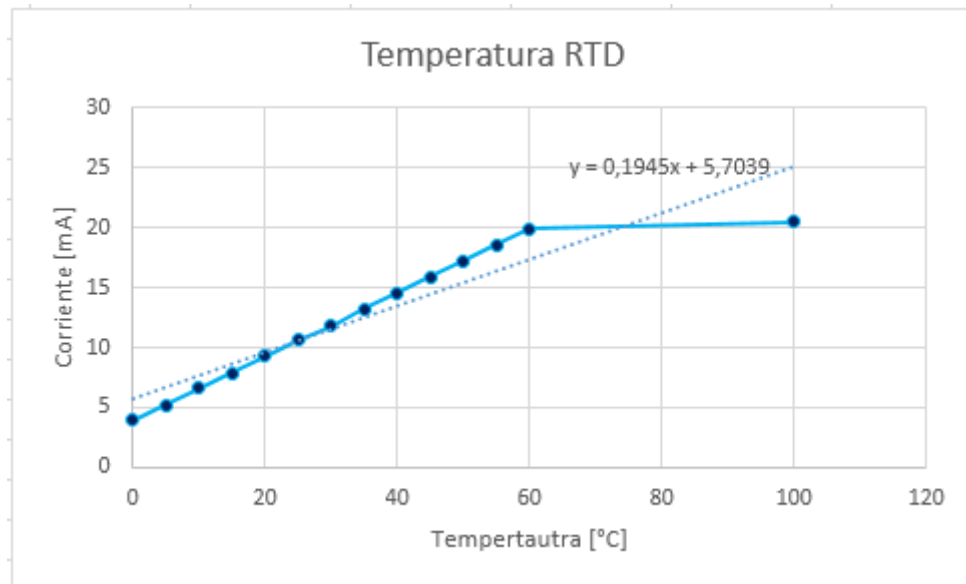
Fuente: Autor

**Tabla 14.** Datos de Temperatura y corriente de la RTD PT100

RTD	
Temperatura [°C]	Corriente [mA]
0	3,91
5	5,23
10	6,58
15	7,91
20	9,26
25	10,59
30	11,83
35	13,2
40	14,57
45	15,88
50	17,26
55	18,58
60	19,88
100	20,48

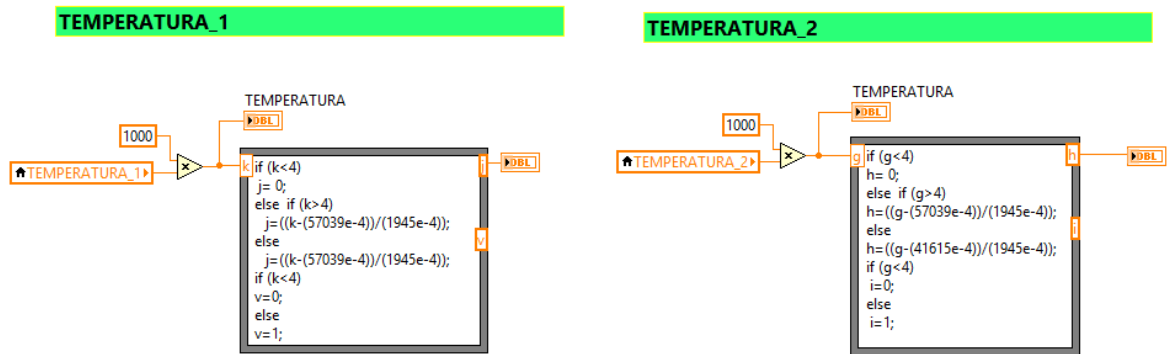
Fuente: Autor

**Figura 63.** Linealización RTD PT100



Fuente: Autor

**Figura 64.** Conversión de la señal de corriente adquirida a unidades de temperatura en LabVIEW



Fuente: Autor

### - Presión

Ya que la adquisición de presión también se encontraba en términos de corriente (estándar 4-20mA), y sabiendo el rango de medición del transmisor de presión (0 a

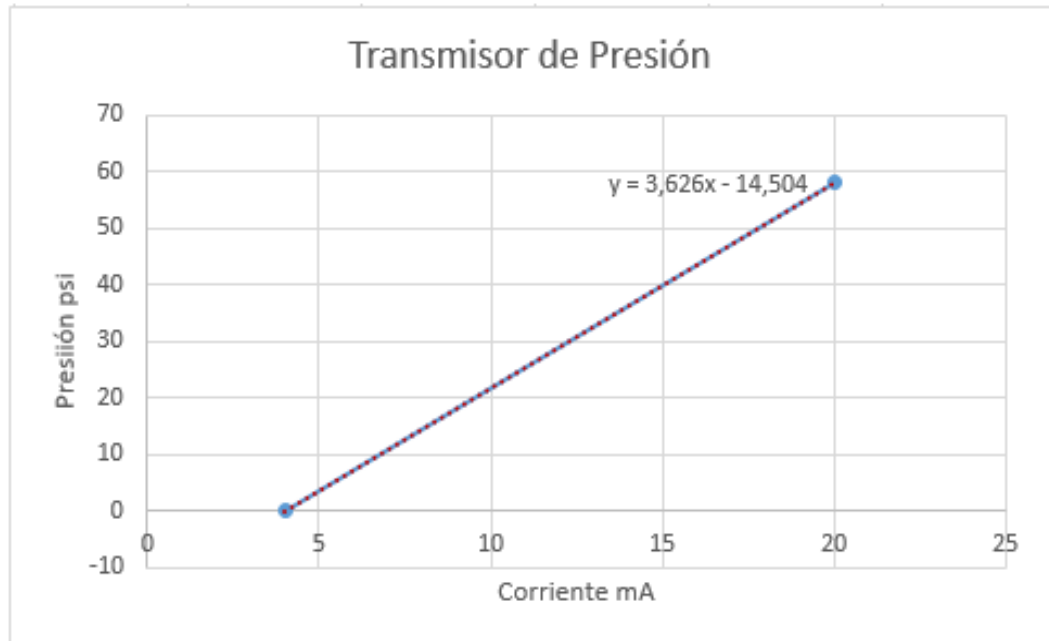
4 bar) se calculó la ecuación que permitirá transformar la corriente a términos de presión en psi, dichos datos se podrán observar en la tabla15, y la representación de estos en la figura 65.

**Tabla 15.** Datos de Corriente vs Presión del transmisor de Presión

Transmisor de Presion			bar	psi
Corriente [mA]	Presión [bar]	Presion [psi]	1	14,5038
4	0	0		
20	4	58,0152		

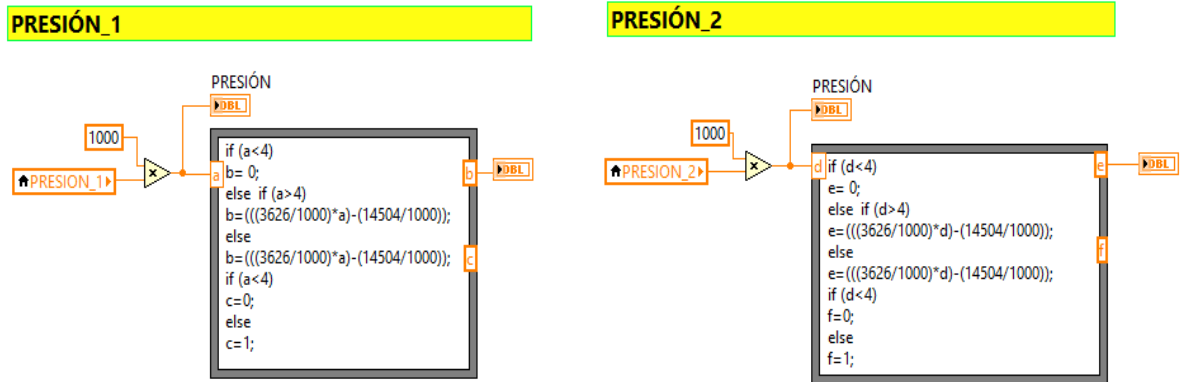
Fuente: Autor

**Figura 65.** Gráfica de corriente vs presión del transmisor de presión



Fuente: Autor

Figura 66. Programación para la visualización de presión en la HMI .

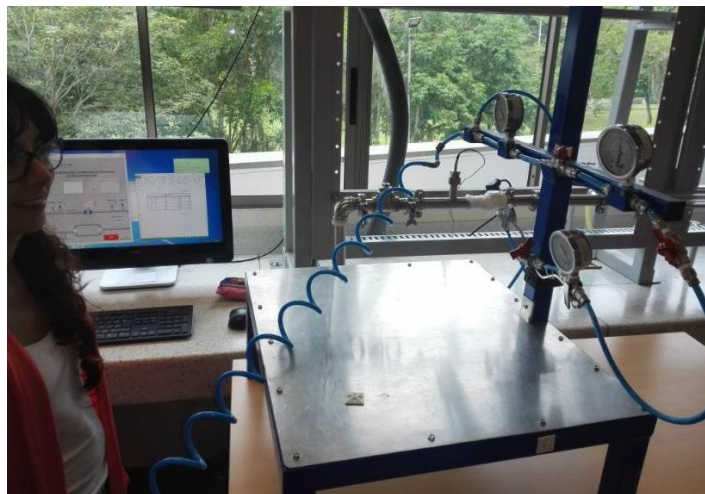


Fuente: Autor

#### - Comparación entre el Transmisor de Presión y el Manómetro

Para verificar la medición hecha por el Transmisor de presión y el Manómetro se procedió a realizar una prueba de presión confinada en la cual se comparó la exactitud del transmisor de presión piezorresistivo con el Manómetro, comprobando una mayor exactitud en el transmisor de presión, el desarrollo de dicha prueba se podrá observar en la figura 67.

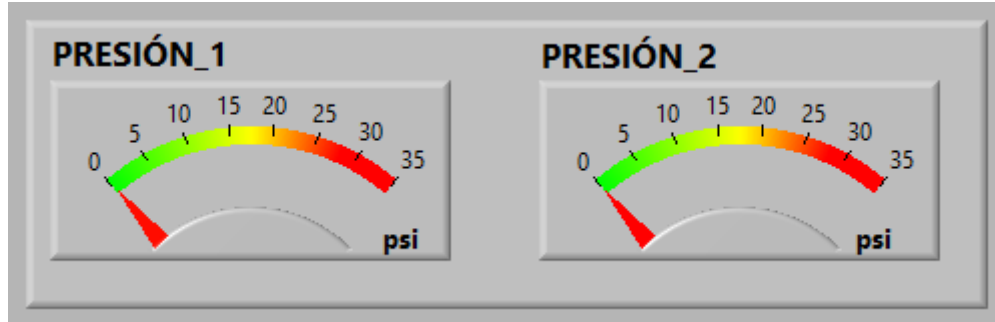
Figura 67. Prueba de medida sensores de presión



Fuente: Autor

#### 4.8.1.4 Alarmas.

**Figura 68.** Alarma de Presión HMI

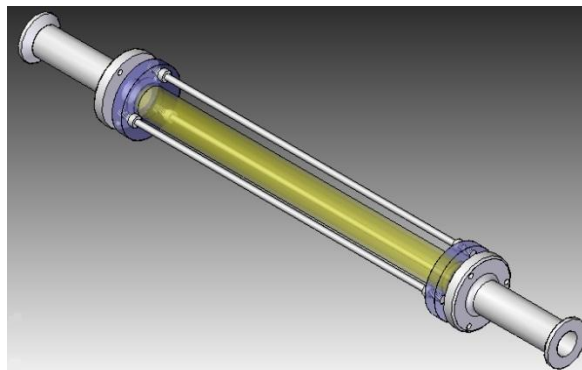


Fuente: Autor

De acuerdo a la norma NTC1063-1 sección 5.4.2.1 Presión admisible del Agua y para facilitar la lectura de la presión al usuario, la alarma de baja presión en el indicador **PRESIÓN\_2** será para un rango menor a 5 psi.

Por seguridad del usuario del módulo de flujo se establece como rango máximo de operación el comprendido entre 25 y 30 psi, ya que el anillo de flujo tiene una mirilla de vidrio (ver figura 69) para comprobar el estado del fluido y esta podría causar daños. ( El diseño de dichas alarmas se podrá ver en la figura 68).

**Figura 69.** Mirilla de Flujo

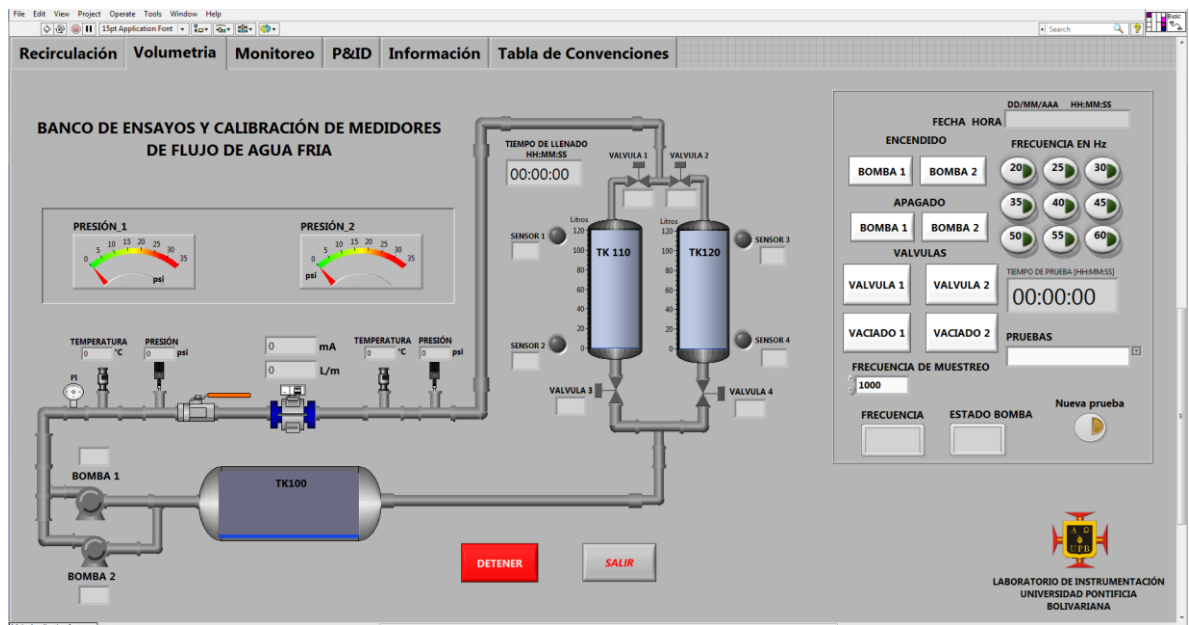


Fuente: Autor

## 4.8.2 Volumetría

La segunda pestaña de la interfaz fue diseñada para ejecutar la prueba de Volumetría, esta prueba implica el llenado de los tanques patrones para realizar la calibración de sensores de flujo, además permite observar el comportamiento de cada componente del anillo de flujo, datos como temperatura, presión, corriente y caudal, también se encuentran ubicados botones que permiten abrir y cerrar las electroválvulas y encender, apagar y variar la velocidad de las bombas, además de presentar un histórico de datos, esta pestaña se podrá observar en la figura 70.

**Figura 70.** Prueba de Volumetría HMI



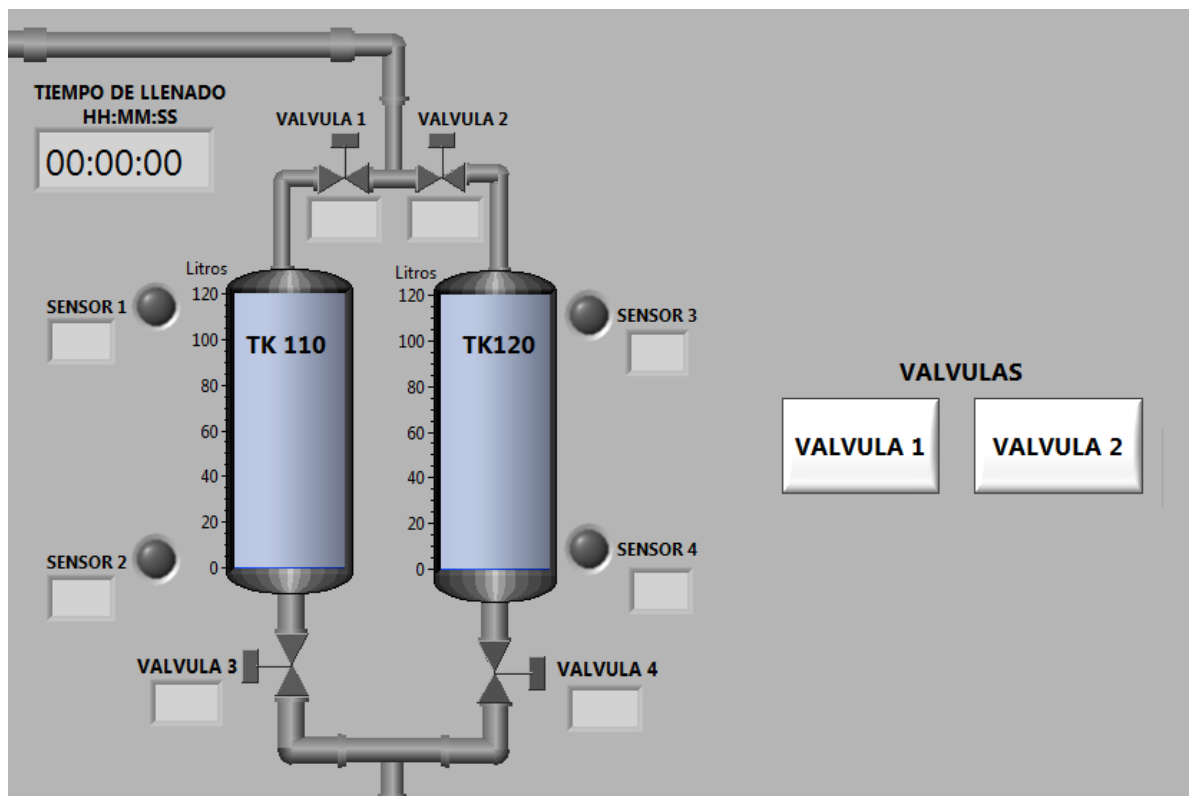
Fuente: Autor

El encendido, apagado y cambio de velocidad de las bombas, y la adquisición de caudal, temperatura y presión se diseñaron de la misma manera que la pestaña de la prueba de Recirculación.

#### 4.8.2.1 Control de llenado de los tanques Patrones

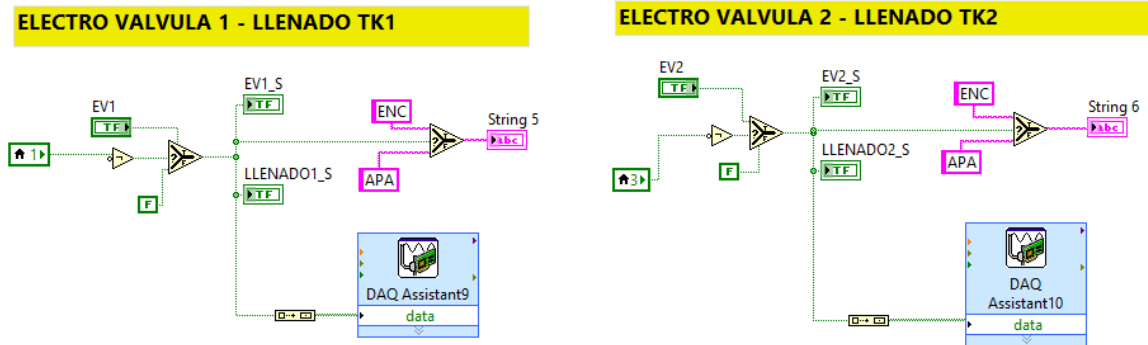
El llenado de los tanques depende del estado de las electroválvulas ubicadas en la parte superior de estos, razón por la cual se implementó un control on/off, así por medio del botón **válvula 1** se controlará el estado de la válvula del tanque 110, y el botón **válvula 2** la electroválvula del tanque 120 (ver figura 71), Cabe resalta que el llenado de los tanques depende de la ubicación de los sensores capacitivos (1 y 3) móviles que permiten la selección del volumen, ya que al activarse se cerraran automáticamente las dos válvulas y se apagará la bomba que esté en funcionamiento, la programación realizada se podrá ver en la figura 72.

**Figura 71.** Botones y Válvulas de la interfaz



Fuente: Autor

**Figura 72.** Activación y desactivación de las válvulas de llenado de Tanques Patrones

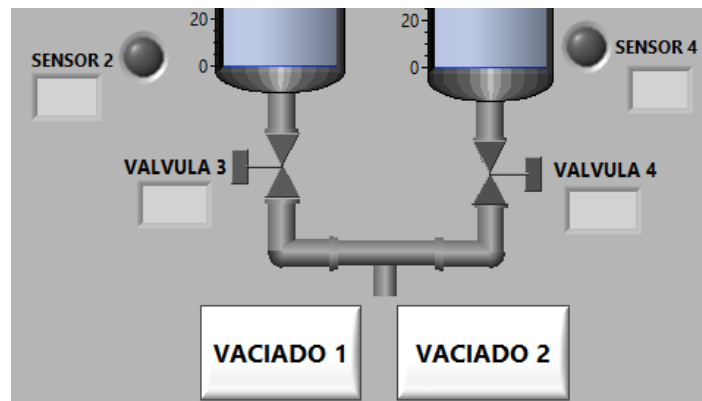


Fuente: Autor

#### 4.8.2.2 Control de Vaciado de los Tanques Patrones

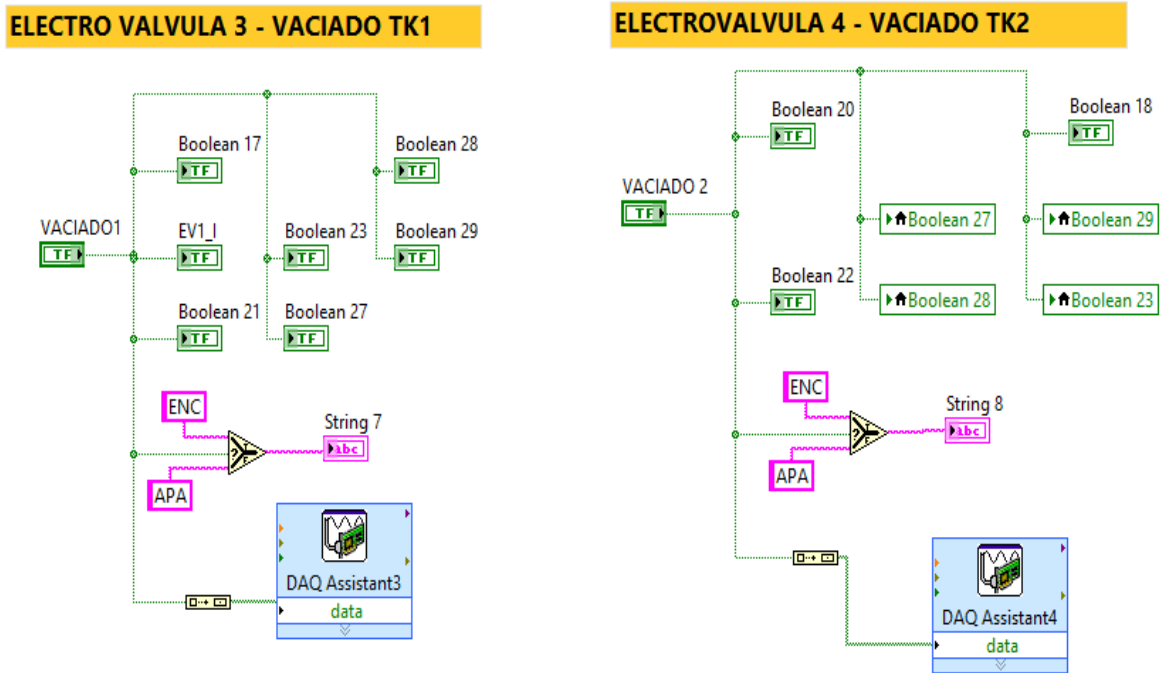
Para vaciar los tanques patrones se deberá activar el botón del tanque que se desea desocupar, siendo el botón **vaciado 1** para el tanque 110 y el botón **vaciado 2** para el tanque 120, ya que al oprimir uno de estos la salida digital activara el relé de estado sólido SSR, que acondiciona la señal para que cierren o abran el contacto que permite energizar o des-energizar las electroválvulas. En la figura 73 y 74 se podrá observar la ubicación de dichas válvulas y la programación realizada para su correcto funcionamiento.

**Figura 73.** Botones y Válvulas de Vaciado HMI



Fuente: Autor

**Figura 74.** Programación de los Botones de las Válvulas de vaciado



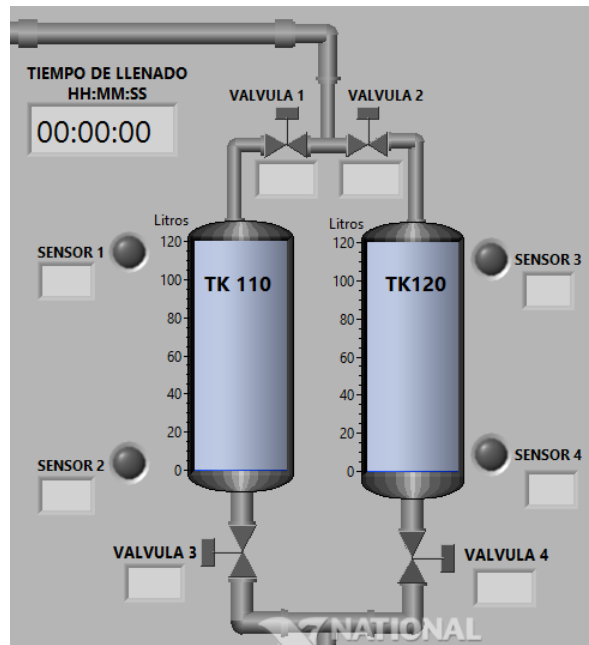
Fuente: Autor

#### 4.8.2.3 Sensores Capacitivos

EL módulo cuenta con 4 sensores capacitivos encargados de indicar el nivel de agua en cada tanque volumétrico.

Dichos sensores se encuentran ubicados de tal manera que uno de ellos indique el punto de inicio de llenado del tanque y el otro deberá indicar el momento en que el agua llegue al nivel deseado, siendo este último móvil permitiendo realizar la prueba de recolección con diferentes volúmenes, como se observa en la figura 75.

**Figura 75.** Ubicación de los sensores Capacitivos en la HMI



Fuente: Autor

Para la programación se empleó el express module de entradas digitales, este permite adquirir las señales dadas por los sensores capacitivos.

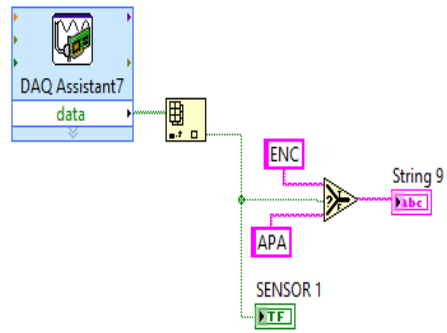
Para observar el estado de encendido y apagado de los sensores se empleó el selector (select Function), este permite mostrar ENC en caso de presentarse activa la señal (estado alto) de lo contrario mostrará APA.

### 4.8.3 Monitoreo

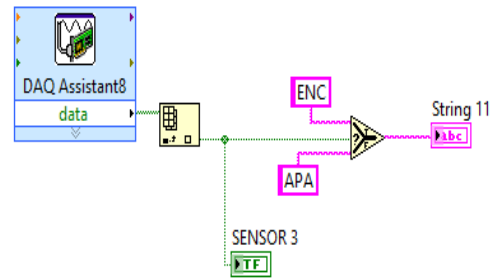
En la figura 77 se puede observar la tercera pestaña diseñada en la interfaz, en esta se puede ver el estado y comportamiento de los sensores y válvulas, además permite la selección de la carpeta o archivo donde se desea guardar la generación de reportes, la programación realizada se puede observar en las figuras 78 y 79.

**Figura 76.** Programación de los Sensores Capacitivos

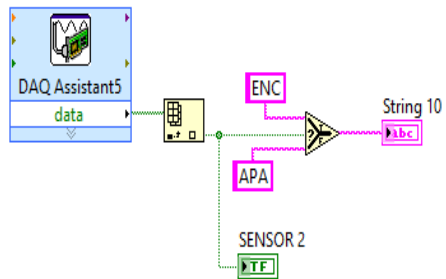
**SENSOR 1 - TK1**



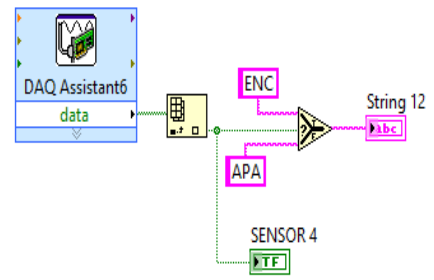
**SENSOR 3 - TK2**



**SENSOR 2 - TK1**



**SENSOR 4 - TK2**



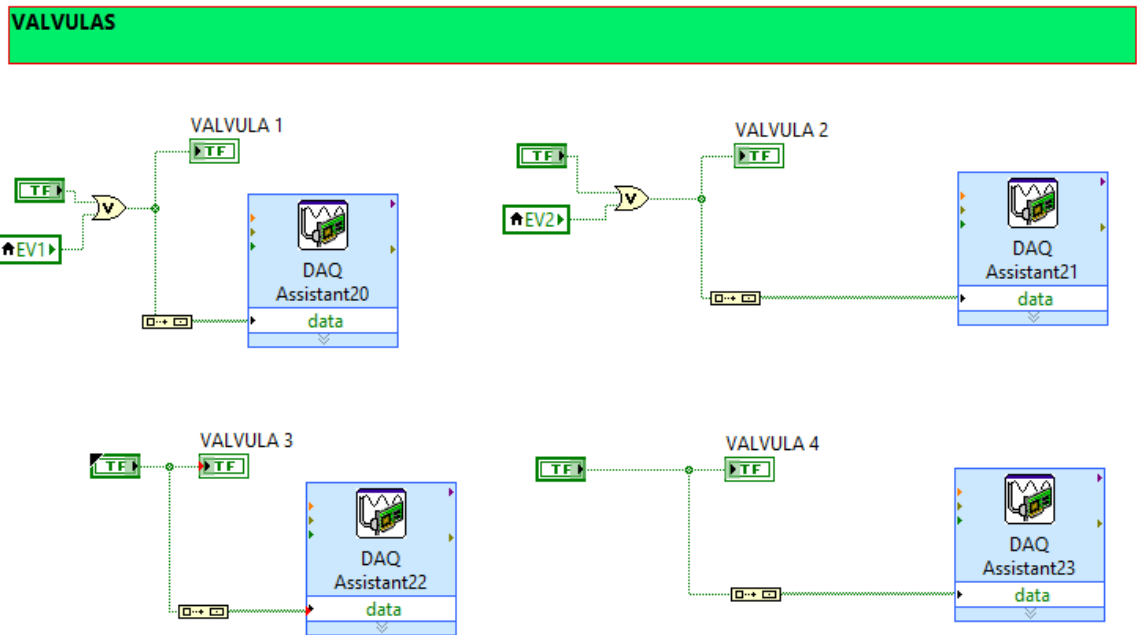
Fuente: Autor

Figura 77. Pestaña de monitoreo HMI



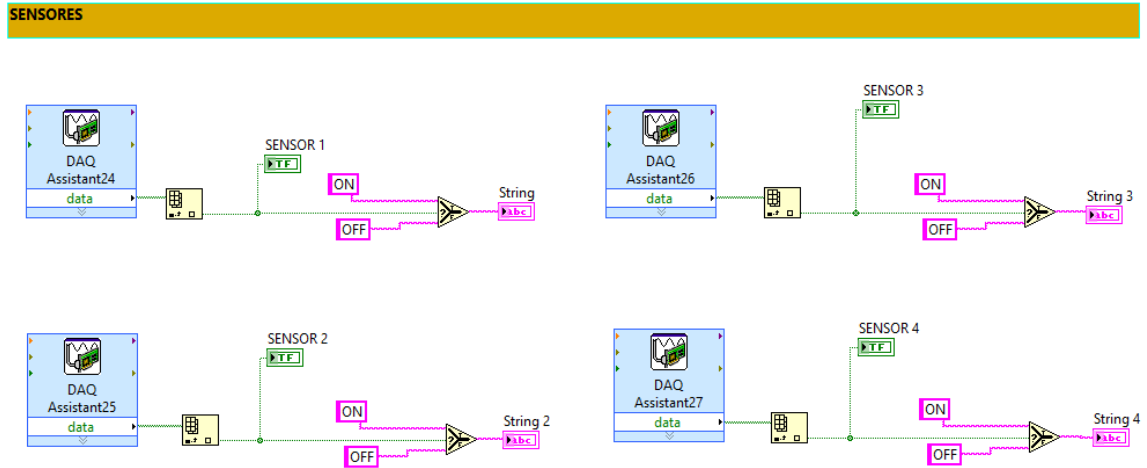
Fuente: Autor

Figura 78. Programación para el monitoreo de Válvulas



Fuente: Autor

**Figura 79.** Programación para el monitoreo de sensores

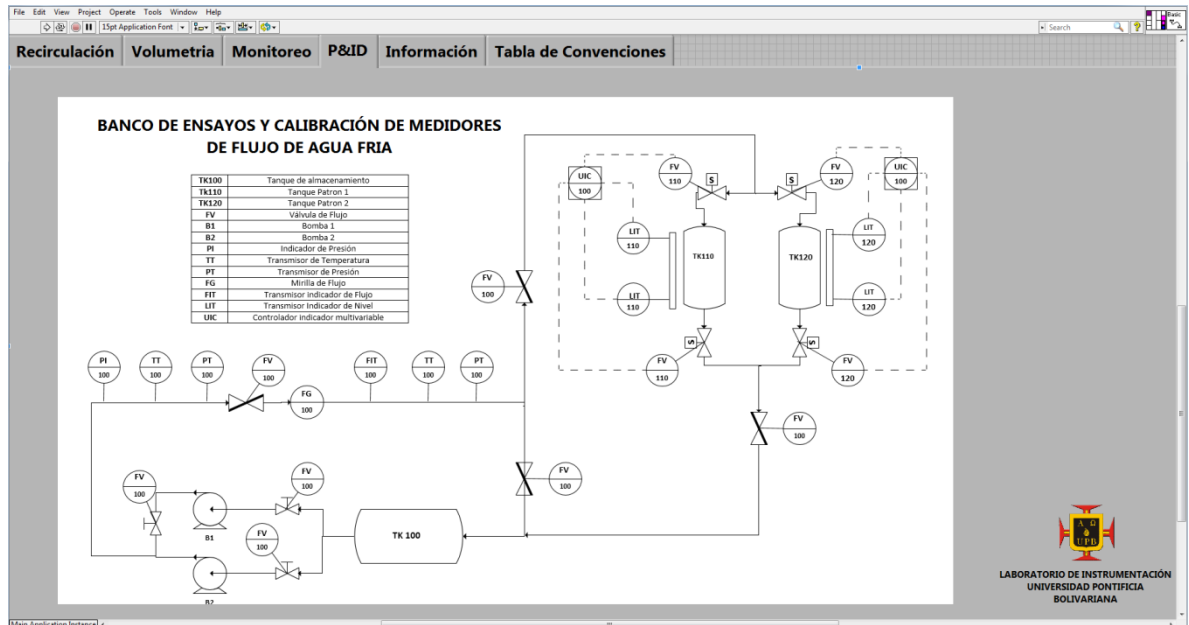


Fuente: Autor

#### 4.8.4 P&ID (Piping and instrumentation diagram)

En la figura 80 se puede observar la cuarta pestaña de la interfaz, en dicha pestaña se puede ver el plano P&ID del módulo de flujo.

**Figura 80.** P&ID del Módulo de Flujo en HMI



Fuente: Autor

## 4.8.5 Información

En la figura 81 se puede observar la quinta pestaña diseñada en la HMI, esta contiene información referente a cada una de las pruebas que se realizan en el Módulo de Flujo.

Figura 81. Pestaña de Información HMI



Fuente: Autor

## 5 OPERACIÓN DEL SISTEMA

### 5.1 REPORTE DE LAS PRUEBAS DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN REALIZADAS

Para la calibración de Sensores de flujo el módulo se basa en el método de recolección expuesto en la norma NTC1063-3 el cual permite calcular el error de medida del instrumento, dicha prueba consiste en el cálculo del caudal teórico tomando el tiempo de recolección de un volumen conocido utilizando dos tanques patrones del laboratorio y comparando este valor con la lectura del sensor a calibrar en este caso sería el sensor E&H.

Para la “recolección” de volumen se emplearon dos tanques patrones con una capacidad total de 124 Litros cada uno, pero tomando en la prueba un volumen de tan solo 56 Litros (28 Litros cada tanque), el tiempo de llenado fue tomado de la interfaz, y se realizó para 2 frecuencias diferentes 4 veces la prueba. Los datos obtenidos se pueden ver en la tabla 16.

**Tabla 16. Prueba de Volumetría**

Prueba 1							
Variador	HMI	HMI	Tanque de Referencia		Sensor de Flujo		Error
Frecuencia [Hz]	Presión [psi]	Tiempo de Prueba [s]	Volumen [L]	Caudal Teórico [L/min]	Caudal [L/min]	Corriente [mA]	
30 Hz	12,5 psi	75 s - 1,25min	56 L	44,8 L/min	43,8 L/min	8,6 mA	2,23%
30Hz	12,48 psi	76 s - 1,27min	56 L	44,1 L/min	43,7 L/min	8,5 mA	0,90%
30Hz	12,52 psi	75 s - 1,25min	56 L	44,8 L/min	43,82 L/min	8,6 mA	2,19%
30Hz	12,45 psi	76 s - 1,27min	56 L	44,1 L/min	43,7 L/min	8,5 mA	0,91%
<b>Caudal Promedio</b>				44,45 L/min	43,75 L/min	<b>Error Promedio</b>	1,56%

Prueba 2							
Variador	HMI	HMI	Tanque de Referencia		Sensor de Flujo		Error
Frecuencia [Hz]	Presión [psi]	Tiempo de Prueba [s]	Volumen [L]	Caudal Teórico [L/min]	Caudal [L/min]	Corriente [mA]	
40Hz	22,4 psi	52 s - 0,867 min	56 L	64,59 L/min	62,6 L/min	10,9 mA	3,10%
40Hz	22,3 psi	51 s - 0,85 min	56 L	65,88 L/min	62,5 L/min	10,89 mA	5,13%
40Hz	22,1 psi	51 s - 0,85 min	56 L	65,88 L/min	62,2 L/min	10,6 mA	5,60%
40Hz	22,6 psi	52 s - 0,867 min	56 L	64,59 L/min	62,7 L/min	11,01 mA	2,90%
<b>Caudal Promedio</b>				65,235 L/min	62,5 L/min	<b>Error Promedio</b>	4,18%

Fuente: Autor

## **5.2 GUÍA DE LABORATORIO**

La guía práctica de laboratorio para la utilización del módulo de flujo se enfoca en conocer las características de un anillo de flujo de agua para el desarrollo de pruebas de calibración, en el manejo e identificación de los componentes del módulo como bombas y válvulas en la interfaz, en evaluar el funcionamiento, histéresis y repetibilidad de un sensor de flujo de tipo electromagnético, y verificar su precisión y error de medida basados en las pruebas de la Norma Técnica Colombiana NTC1063. Esta guía se encuentra en el Anexo A.

## **5.3 PRESTANCION DE SERVICIOS**

Durante el desarrollo del presente proyecto de grado, el banco de flujo ha prestado un servicio a los estudiantes de la comunidad UPB tanto en posgrados como en pregrado, hablando más específicamente a los posgrados de la especialización en control e instrumentación industrial y en pregrado a las facultades de ingeniería mecánica e industrial, en el cual los estudiantes pueden ver el funcionamiento del banco al igual que trabajar en él, desarrollando una guía en la cual se pueden determinar distintos parámetros del elemento a calibrar.

En las figuras 82 y 83 se puede observar que el estudiante tiene la posibilidad de manejar la interfaz y de visualizar y modificar los parámetros del sensor E&H.

Este servicio es parte importante de la operación del banco de flujo, facilitando el conocimiento, entendimiento y operación de elementos del sector industrial, al igual que los procesos que se deben llevar a cabo para realizar una calibración de sensores que miden variables fundamentales como en este caso flujo.

**Figura 82.** Prestación de servicios usando la HMI



Fuente: Autor

**Figura 83.** Prestación de servicios usando el Sensor E&H



Fuente: Autor

## RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de la presente fase se automatizó el Módulo de Flujo y se adicionaron sensores de tal manera que cumpliera los requerimientos de la norma NTC1063, no obstante por factores de presupuesto y alcance de la tesis, al igual que por los fines académicos del laboratorio, se omitieron algunos ítems de la norma, por esta razón se presentan las siguientes recomendaciones para las fases futuras del Banco de Flujo.

- Debido al uso, la bobina encargada del parado de emergencia presentó fallas, por ello se requiere la instalación de un repuesto.
- Por motivos de seguridad se recomienda hacer el diseño e implementación de un circuito de recirculación en caso de una obstrucción que provoque el aumento de presión en la tubería.
- Para cuidar los alabes de las bombas se recomienda hacer la instalación de un filtro de agua el cual permita librar de impurezas el fluido.
- Se recomienda revisar el correcto funcionamiento de las electroválvulas, ya que se presenta un cierre no hermético en varias de ellas.
- Es recomendable reparar la fuga que existe en el cuello de cisne ubicado en la parte superior de los tanques patronos.
- Para una correcta medición y en busca de una correcta acreditación, se recomienda realizar un ajuste a todos los sensores y componente que conforman el anillo de flujo.

## CONCLUSIONES

La nueva distribución y canalización del cableado brinda mayor seguridad para los usuarios al igual que un mejor aspecto al módulo de flujo.

Al Implementar el bus de campo y la interfaz RS485 permite al usuario variar la velocidad de operación de las bombas a través de la interfaz que se comunica con los variadores de velocidad, evitando así la manipulación de dichos variadores en el gabinete proporcionando mayor seguridad al operario.

Al realizar la depuración del programa se ha mejorado la adquisición de datos de los distintos sensores facilitando el tratamiento de las señales permitiendo ver en tiempo real las magnitudes de las distintas variables de proceso.

EL diseño de la interfaz y la automatización del Módulo de flujo permiten al usuario tener mayor autonomía en el momento de realizar las pruebas propuestas en la guía de operación del anillo de flujo.

En el desarrollo de las pruebas de calibración se observa un error fuera del rango máximo permitido por la norma NTC 1063, esto se debe a: la medición indirecta que se realiza al calcular el caudal teórico ya que este es hallado con la medición de volumen de los tanques patrones y el tiempo de llenado dado en la interfaz, errores del observador al tomar los datos, errores que introducen los instrumentos al presentar fallas en su ajuste de medida y errores por causas externas como la temperatura, la humedad, la cavitación y vibraciones presentes en la tubería

Parte importante durante el desarrollo del proyecto fue la prestación de servicios, ya que los estudiantes de la comunidad UPB pueden acceder al conocimiento generado a partir de la guía de laboratorio diseñada, permitiendo comprender como es el funcionamiento de los sensores del entorno industrial.

La elaboración del dossier del proyecto contemplo los distintos elementos que están en el anillo de calibración con el fin de hacer el correcto uso siguiendo las recomendaciones del fabricante y los parámetros de la norma NTC 1063.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] CDT DE GAS. Metrología de fluidos. [Octubre 2015] Disponible en: <http://www.cdtdegas.com/index.php/servicios/metrologiadefluidos>
- [2] LABORATORIO DE VIBRACIONES. Calibración de sensores de Vibración. [Octubre 2015] Disponible en: <http://vibra.upbbga.edu.co/index.html>
- [3] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063. Medición del flujo de agua en conductos cerrados a sección llena. Medidores para agua potable fría y agua caliente. Parte 1: Especificaciones, 3<sup>a</sup> actualización editada 2007-06-20.
- [4] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063. Medición del flujo de agua en conductos cerrados a sección llena. Medidores para agua potable fría y agua caliente. Parte 2: Requisitos de instalación, 3<sup>a</sup> actualización editada 2007-06-20.
- [5] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063. Medición del flujo de agua en conductos cerrados a sección llena. Medidores para agua potable fría y agua caliente. Parte 3: Equipos y métodos de ensayo, 3<sup>a</sup> actualización editada 2007-06-20.
- [6] Cómo Escoger el Sensor Adecuado para un Sistema de Medidas [Octubre 2015] Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/13654/es/#h35>
- [7] Guía para Realizar Medidas de Temperatura con RTDs [Octubre 2015] Disponible en: <http://www.ni.com/tutorial/7115/es/>
- [8] Elegir un Sistema de Medidas de RTD o Termistor [Noviembre 2015] Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>

[9] Fundamentos de Medidas de Presión [Noviembre 2015] Disponible en:  
<http://www.ni.com/white-paper/13034/es/>

[10] ANTONIO CREUS SOLÉ, Instrumentación Industrial, 1997 ALFAOMEGA, 6 ed,  
Barcelona, España: Marcombo ISBN 958-682-135-8. [Octubre 2015]

[11] Instrumentos de Medición de Presión [Octubre2015] Disponible en:  
<http://es.slideshare.net/luistorres921/instrumentos-de-medicion-de-presion>

[12] Manómetros [Noviembre 2015] Disponible en:  
<http://www.sabelotodo.org/aparatos/manometros.html>

[13] Catalogo de Wit Completo. Orientación para la selección e instalación de  
manómetros [Noviembre 2015] Disponible en:  
[http://www.cari.com.mx/Catalogos/Catalogo\\_De\\_Wit\\_Completo.pdf](http://www.cari.com.mx/Catalogos/Catalogo_De_Wit_Completo.pdf)

[14] Sensor piezorresistivo [Noviembre 2015] Disponible en:  
<http://www.justdocument.com/download/50392144253/sensor-piezorresistivo-es-un-uso-del-sensor-hecha-de-efecto-piezorresistivo-cristal/>

[15] Medida de presión. Transmisor para requisitos básicos [Noviembre 2015]  
Disponible en:  
[http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS\\_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf](http://www.mdcontrolymarve.com/pdfs/db/SIEMENS_Mdcontrol&Marve%20SIEMENS%20SITRANS%20P200.pdf)

[16] National Instruments. ¿Qué es Adquisición de Datos? [Diciembre 2015]  
Disponible en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

[17] National instruments. NI 9203 [Diciembre 2015] Disponible en:  
<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-189>

[18] National instruments. NI 9421. [Diciembre 2015] Disponible en:  
<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-87>

[19] National Instruments. NI 9472 [Diciembre 2015] Disponible en:  
<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-126>

[20] instrumentación y control. Señal de 4-20 mA. [Diciembre 2015] Disponible en:  
<http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-practico-de-instrumentacion/item/345-la-se%C3%B1al-4-20ma-y-su-proporci%C3%B3n-a-variables-fisicas-nunca-esta-de-mas-repararlo.html>

[21] Teii. Transmisores de temperatura. [Diciembre 2015], Disponible en:  
<http://www.teii.com.mx/transmisores-temperatura.html>

[22] ABB. Comunicación via bus. [Diciembre 2015] disponible en:  
[https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB\\_ES-OK.pdf](https://library.e.abb.com/public/b7f148ca3e552dddc1257aca003530c4/CT13-Comunicacion%20via%20bus%20con%20los%20interruptores%20ABB_ES-OK.pdf)

[23] Danfoss. Convertidor de frecuencia VLT Micro Drive FC51. [Diciembre 2015].  
Disponible en  
[http://www.danfoss.com/Latin\\_America\\_spanish/BusinessAreas/DrivesSolutions/Frequency+Converters/VLT+Micro+Drive+FC51.htm](http://www.danfoss.com/Latin_America_spanish/BusinessAreas/DrivesSolutions/Frequency+Converters/VLT+Micro+Drive+FC51.htm)

[24] TORRES SALAZAR, ROGER. Modbus RTU. [Diciembre 2015] Disponible en:  
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3176/2/119444.pdf>

[25] ONAC. [Diciembre 2015] Disponible en:  
<http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=242>

- [26] PDCA. ¿Diferencias entre certificación y acreditación? [Diciembre 2015]  
Disponible en: <http://www.pdcahome.com/642/diferencias-certificacion-y-acreditacion/>
- [27] Real Academia Española. Diccionario de la lengua española [Enero 2016]  
Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=aY2C3FX>
- [28] Real Academia Española. Diccionario de la lengua española [Enero 2016]  
Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=6n5vudf>
- [29] Real Academia Española. Diccionario de la lengua española [Enero 2016]  
Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=aY2C3FX>
- [30] Real Academia Española. Diccionario de la lengua española [Enero 2016]  
Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=0zo7hda|0zq9GyG>
- [31] National Instruments. Software de Desarrollo de Sistemas NI Labview [Noviembre 2015] Disponible en: <http://www.ni.com/labview/esa/>
- [32] Ediciones Digitales. Sistema Internacional [Noviembre 2015] Disponible en: <http://edicionesdigitales.info/Manual/Manual/si.html>
- [33] Convertworld. Libra por pulgada cuadrada, presión [Noviembre 2015]  
Disponible en: <http://www.convertworld.com/es/presion/Libra+por+pulgada+cuadrada.html>
- [34] Real Academia Española. Diccionario de la lengua española [Enero 2016],  
Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=565Mf4S>
- [35] Real Academia Española. Diccionario de la lengua española [Enero 2016],  
Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=De2S7ue>

[36] Cefem-solar. Aislamiento galvánico [Enero 2016], Disponible en: <http://cefem-solar.fr/es/confianza/aislamiento-galvanico/>

# **ANEXOS**

# **ANEXO A**

**Guía del laboratorio de  
Instrumentación  
(Ver CD)**

# **ANEXO B**

**P&ID Módulo de Flujo  
(Ver CD)**

# **ANEXO C**

**Manual de Instrucciones Sensor**

**E&H**

**(Ver CD)**

# **ANEXO D**

**Información Técnica del Sensor**

**E&H**

**(Ver CD)**

# **ANEXO E**

**Calibración del Sensor E&H  
(Ver CD)**

# **ANEXO F**

**Parámetros del Sensor E&H**

**(Ver CD)**

# **ANEXO G**

**Guía de Diseño Variador de  
Frecuencia FC51  
(Ver CD)**

# **ANEXO H**

**Guía de Diseño Variador de  
Frecuencia FC102  
(Ver CD)**

# **ANEXO I**

**Cotización ADAM**

**(Ver CD)**

# **ANEXO J**

**Parámetros ADAM**

**(Ver CD)**

# **ANEXO K**

**Cotización RTD y transmisor de  
Temperatura  
(Ver CD)**

# **ANEXO L**

## **Cotización Transmisor de Presión (Ver CD)**