

**INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN SENSOR
DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA Y UNA CELDA DE CARGA**

**ANDRES JULIAN GUILLEN MORALES
CAMILO FARFAN FARFAN
CARLOS ANDRÉS ALFONSO VELASCO
RAUL QUEMBA URIAN
SERGIO ANDRES SARMIENTO SOTO
SERGIO ANDRES BARRANTES JOYA
MANUEL PORTOCARRERO DUQUE
YORQUIN AVILA RIOS**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD INGENIERÍA ELECTRÓNICA
INGENIERIA ELECTRONICA
BOGOTÁ D.C.
AÑO 2015**

**INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN SENSOR
DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA Y UNA CELDA DE CARGA**

**ANDRES JULIAN GUILLEN MORALES
CAMILO FARFAN FARFAN
CARLOS ANDRÉS ALFONSO VELASCO
RAUL QUEMBA URIAN
SERGIO ANDRES SARMIENTO SOTO
SERGIO ANDRES BARRANTES JOYA
MANUEL PORTOCARRERO DUQUE
YORQUIN AVILA RIOS**

**Pasantía para optar el título de
Ingeniería Electrónica**

**Director - Asesor
JHON BAYONA
Ingeniero Electrónico**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD INGENIERÍA ELECTRÓNICA
INGENIERIA ELECTRONICA
BOGOTÁ D.C.
AÑO 2015**

Nota de aceptación

Jurado

Bogotá. Enero del 2015

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	
LISTA DE FIGURAS	
GLOSARIO	
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION	2
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	6
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1. DEFINICIÓN DE PRESIÓN	7
4.2. UNIDADES DE PRESIÓN	8
4.3. TIPOS DE PRESIÓN	9
4.3.1. Presión absoluta.....	9
4.3.2. Presión atmosférica.....	9
4.3.3. Presión relativa.....	9
4.3.4. Presión diferencial.....	10
4.3.5. Vacío	10
4.3.6. Presión hidrostática. (Principio de Pascal)	10
4.4. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS	11
4.4.1. Sensores Basados en Galgas Extensiométricas.....	15
4.5. TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS	15
4.6. SENSOR/TRANSDUCTOR CELDA DE CARGA.....	16
4.6.1. Conexión eléctrica.....	17
4.6.2. Indicador de peso Tuxon A-AC con salida análoga.....	17
4.6.3. Conexión del indicador con celda de carga.....	18
4.7. SENSOR/TRASMISOR DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA.....	19

4.7.1.	Conexión eléctrica.....	20
4.7.2.	Consideraciones sobre sensor/trasmisor de presión.....	20
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	22
5.1.	INSTALACION FISICA DE SENSORES.....	23
5.1.1.	Celda de carga 100 kg	23
5.1.2.	Sensor de presión hidrostática Danfoss MBS 4510	25
5.2.	CALCULO MATEMATICOS PARA LOS TANQUES 1 Y 3	27
5.2.1.	Celda de carga 100kg y tanque nº 1	27
5.2.2.	Sensor de presión hidrostática Danfoss MBS 4510	27
5.3.	NORMALIZACION DE SEÑALES	29
5.4.	CONEXIÓN Y VISUALIZACION CON LABVIEW	30
5.4.1.	Con celda de carga	30
5.4.2.	Con sensor/trasmisor de presión.....	31
5.4.3.	Descripción del programa general en LabView	32
6.	ANALISIS DE RESULTADOS	33
6.1.	PARA LA CELDA DE CARGA	33
6.2.	SENSOR DE PRESION HIDROSTATICA MBS 4510	35
7.	ESTADO DEL ARTE	39
8.	CONCLUSIONES.....	40
9.	TRABAJOS FUTUROS	41
	REFERENCIAS	42
	ANEXOS.....	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1 Unidades de presión.	8
Tabla 6.1 Relación entre peso, altura y salida de voltaje.	33
Tabla 6.2 Relación entre altura, mbar, voltaje y señal regulada.	35
Tabla 6.3 Altura Tanque vs Voltaje amplificado.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Galga cementada.....	12
Figura 4.2 Galga sin cementar.....	12
Figura 4.3 Puente de Wheatstone para galga extensiométricas.....	12
Figura 4.4 Transductor de presión de silicio difundido.....	14
Figura 4.5 Transductor piezoeléctrico.....	15
Figura 4.6 Celda de carga tipo "S" en aleación de acero, IP65, para aplicaciones especiales de tensión o compresión, para basculas flotantes.	16
Figura 4.7 Conexiones entradas y salidas celda de carga.....	17
Figura 4.8 Indicador de peso digital industrial para control de procesos TUXON-A-AC LEXUS.	17
Figura 4.9 Conexión del indicador con celda de carga.	18
Figura 4.10 Diagrama de conexión celda de carga.....	19
Figura 4.11 Sensor/trasmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510.	19
Figura 4.12 Conexión eléctrica Sensor/trasmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510.	20
Figura 5.1 Plano general de la estructura de los bancos.	22
Figura 5.2 Ubicación física celda de carga módulo de entrenamiento M-ECCI.	23
Figura 5.3 Racores, arandelas y gancho.	24
Figura 5.4 Celda de carga ensamblada en módulo de entrenamiento M-ECCI.	24
Figura 5.5 Ubicación física sensor de presión hidrostática módulo de entrenamiento M-ECCI.	25
Figura 5.6 Acople sensor de presión hidrostática MBS 4510.	26
Figura 5.7 Sensor de presión hidrostática MBS 4510 ensamblado en módulo de entrenamiento M-ECCI.	26
Figura 5.8 Plano circuito restador amplificador.	30
Figura 5.9 Interface gráfica celda de carga.....	31
Figura 5.10 Interface gráfica sensor de presión hidrostática.	31
Figura 5.11 Interface gráfica programa general.....	32
Figura 6.1 Peso indicador vs voltaje salida.....	34
Figura 6.2 Peso indicador vs altura tanque.....	34
Figura 6.3 Altura Tanque vs Voltaje Sensor.	36
Figura 6.4 Altura Tanque vs Voltaje amplificado.....	37

GLOSARIO

Actuadores: es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Alcance (span): Diferencia algebraica entre los valores de calibración superior e inferior del campo de medida de un instrumento. Por ejemplo, en un rango de 50 a 150 °C el span tiene un valor de 100 °C.

Amplificador: Instrumento cuya señal de salida equivale a la señal de entrada incrementada y que se alimenta de una fuente distinta a la señal de entrada.

Automatización: La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Bar: bar a una unidad de presión equivalente a un millón de **barias**, aproximadamente igual a una atmósfera (1 atm). Su símbolo es «bar». La palabra «bar» tiene su origen en «báros» (βάρος), que en griego significa «peso».

Calibración: el proceso para ajustar un instrumento de medida mediante patrones estándares.

Caudal: es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.

Celda de Carga: es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica.

Corriente eléctrica: La corriente eléctrica o intensidad eléctrica es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.

Deriva: la deriva de un instrumento de medición, es la máxima variación experimentada a la salida, durante un período de tiempo determinado, cuando la variable medida se mantiene en un valor constante durante ese período.

Electrónica: campo de la ingeniería y de la física aplicada relativo al diseño y aplicación de dispositivos, por lo general circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción y almacenamiento de información.

EPP: Elementos de Protección Personal. En Colombia los requerimientos para el uso y la implementación de Elementos de protección Personal en los lugares de trabajo, se encuentran contemplados en la Ley 9 de Enero 24 de 1979 (Titulo III SALUD OCUPACIONAL, Artículos 122 a 124)

Error: Diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.

Lineal: generalmente se refiere a la gráfica de corriente en función de la tensión para una resistencia.

Linealidad: es la proporcionalidad directa y libre de errores con equivalencias de alta calibración.

Precisión: es el grado en que una medición es legible o es especificada. Usualmente se expresa de la manera siguiente: - en unidades de medición: dentro de +/- 5 mV. Ó - en forma de porcentaje: legible dentro del 3% de la escala.

Presión: La presión es la magnitud escalar que relaciona la fuerza con la superficie sobre la cual actúa, es decir, equivale a la fuerza que actúa sobre la superficie.

Presurizar: mantener la presión atmosférica normal en un recinto independientemente de la presión exterior, siendo presurizado la presión estable mantenida en un compartimiento.

PSI: unidad de presión en el [sistema anglosajón de unidades](#). La escala más común se mide en psi, cuyo cero es la presión ambiente, que equivale a una atmósfera (o sea 15 psi aproximadamente). En general no se especifica que la presión atmosférica se deja de lado y se le llama simplemente psi

Puente de WheatStone: Es un circuito para diseñado para encontrar la resistencia (o en general la impedancia) de un componente sabiendo la de los otros tres componentes.

Sensibilidad: Es el mínimo cambio al que el instrumento censa y puede expresar.

Sensores: es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Señal Análoga: es una función continua de la variable medida.

Señal: Salida que transmite el instrumento, información representativa de un valor cuantificado.

Temperatura: es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella.

Transductor: es un dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otra.

Transductor: son aquellas partes de una cadena de medición que transforman una magnitud física en una señal eléctrica. Los transductores son especialmente importantes para que los medidores puedan detectar magnitudes físicas.

Transmisor: instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador.

Voltaje: es una magnitud física, con la cual podemos cuantificar o “medir” la diferencia de potencial eléctrico o la tensión eléctrica entre dos puntos.

RESUMEN

Cuando se trata de educación superior de calidad hay que tener las herramientas necesarias para realizar un adecuado proceso de enseñanza durante toda la vida como estudiante de un programa de pregrado, es muy importante tener nociones del trabajo tal cual como es en la vida real.

Es por eso que a través de unos bancos de prueba, más exactamente 5 módulos, en los cuales se podrá investigar el comportamiento de las variables físicas tales como: temperatura, presión, caudal y nivel. Además también se tendrán que relacionar conocimientos y habilidades de protocolos de comunicaciones industriales, control, automatización, programación gráfica, programación de PLC's, acondicionamiento de señales y procesamiento de información. Lo anteriormente dicho se podrá lograr integrando tecnología de sensores, transductores, transmisores, líneas de transmisión, tarjetas de adquisición de señales, electroválvulas, motobomba, actuadores, etapas de potencia y control en lazo cerrado. Todo esto tendrá un trasfondo teórico el cual se adquirió por medio del conocimiento y preparación durante toda la carrera de ingeniería electrónica.

Las intenciones finales de este proceso de pasantía son de obtener una muy buena preparación para la vida laboral y contribuir con la universidad a titular más y mejores estudiantes de diferentes programas dictados en la ECCI puesto que se espera que estos bancos queden como un laboratorio de pruebas didáctico de la universidad para la comunidad educativa y así poder seguir creciendo en prestigio como universidad de calidad.

INTRODUCCION

La necesidad de representar variables físicas a través de un sistema fácil de interpretar para las personas, ha sido un problema desde hace mucho tiempo, por esto, a través de los años se han ido desarrollando sensores y transductores que ayuden a la medición de estas variables, empezando por aquellos puramente mecánicos hasta los que se conocen hoy en día, los cuales además de generar una señal de voltaje o corriente totalmente repetible, también tienen otras prestaciones como la facilidad de instalación, administración y comunicación a través de protocolos industriales; en este caso se llevara a cabo la medición de presión en sus diferentes tipos como son la diferencial, la absoluta y presión como fuerza.

En un entorno de aprendizaje como lo es la universidad y en nuestro caso específico la carrera de Ingeniería electrónica, la aplicación de este tipo de sensores industriales en la vida académica es demasiado reducida, porque en muchas instituciones de educación superior en Colombia es difícil encontrar un ambiente de simulación de espacios industriales para realizar prácticas y actividades de enseñanza para fortalecer el conocimiento en cuanto a variables como presión, caudal, temperatura, nivel. Por esto la orientación industrial resulta ser de gran utilidad a toda vez que las nuevas generaciones de ingenieros estarán en capacidad de resolver problemas de esta índole con mayor eficacia y seguridad.

Precisamente este es el objeto de la implementación de los bancos de pruebas en la universidad, en los cuales los estudiantes podrán ser capaces de desarrollar sus habilidades técnicas y profesionales, para llegar a realizar guías y problemas lo más cercanos a la vida real a fin que logren desarrollar competencias analíticas y lógicas para cuando se enfrenten a la vida laboral no les cueste adaptarse a el entorno industrial y los que ya estén trabajando en dichos entornos sea más proactivos en sus trabajos para tener así los mejores egresados. Para tener un mejor intelecto sobre lo que es la presión en este documento tipo documental explicativo, haremos una recopilación de información de diferentes fuentes como libros y publicaciones web. Algunos apartados de estas fuentes fueron modificados para mejorar y aclarar la comprensión de estas.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la mayoría de empresas industriales integran múltiples sistemas de control y automatización, permitiendo la manipulación de diferentes tipos de variable, diferentes tipos de sensor, lo cual requiere ingenieros electrónicos con conocimientos específicos y con experiencia en el desarrollo de los sistemas de control y automatización, con esta premisa se concluye la necesidad de integrar en el proceso educativo un módulo didáctico industrial, donde se pueda asimilar y simular los conocimientos adquiridos dentro de los espacios de aprendizaje en la universidad, y en donde se adquiera la experiencia necesaria para ingresar al mundo laboral con las destrezas y competencias necesarias.

El módulo debe permitir al estudiante realizar control, adquisición de datos, monitoreo, medición y análisis de variables físicas en tiempo real a través de sensores transductores, las variables que se deben implementar son presión, temperatura, nivel y caudal, las cuales son comúnmente encontradas en la industria. El presente proyecto se realiza como una oportunidad para los estudiantes y los docentes en donde se pueda fomentar el desarrollo y la investigación, en las diferentes áreas de la ingeniería electrónica como son el área de control, automatización e instrumentación industrial, brindando así un crecimiento profesional íntegro.

2. JUSTIFICACIÓN

La realización de los bancos de pruebas se basa en la vinculación de la industria y la educación para lograr finalizar el proceso formativo de enseñanza y educación, que permite evidenciar el nivel de desarrollo alcanzado por los estudiantes.

En el montaje y caracterización de los sensores de presión se podrá obtener mediciones de esta variable con sensores y/o transductores industriales los cuales tienen ciertas especificaciones y estándares que se requieren para poder llevar a cabo la medición. Además los estudiantes pueden adquirir unas competencias laborales y educativas más altas puesto que se prepararan ya no con simulaciones sino con elementos reales.

En cuanto a los espacios educativos (laboratorios), muchos más programas de pregrado y posgrado van a poder utilizar los bancos de aprendizaje, será una oportunidad de consolidar los conocimientos teóricos y plasmarlos de una forma más didáctica y efectiva, se podrán hacer pruebas, ensayos, experimentos y comparaciones de las variables físicas ya mencionadas, también se tiene la posibilidad de cambiar sensores para mejorar los bancos y adquirir nuevos conocimientos en los procesos industriales en condiciones seguras de operación.

Hoy en día, aprovechando el desarrollo tecnológico, los fabricantes han puesto en el mercado una gran variedad de instrumentos, los cuales brindan grandes ventajas a la hora de su utilización, ya que no solo ofrecen altas precisiones en la medida, sino que además son muy fáciles de calibrar y mejor aún, pueden ser implementados para la medición de diferentes variables a la vez. Los aspectos antes señalados permiten justificar la importancia de la aplicación y uso de los transmisores en la industria, como instrumentos versátiles que pueden ser utilizados durante el control de procesos de varias variables físicas. Además de hacer referencia a los instrumentos existentes, también es conveniente mencionar las diversas técnicas utilizadas para la medición de variables, en la práctica.

Realizando un enfoque específico, en la medición de presión, existen diversas técnicas de medición que pueden ser implementadas bajo algunas condiciones y de acuerdo a las características del sistema. Se consideran varios casos particulares, tomando en cuenta las condiciones de los depósitos de almacenamiento, los cuales pueden estar presurizados o no presurizados. Estas condiciones, son determinantes a la hora de elegir el transmisor de medición, ya que dependiendo de éstas, es necesaria la designación de uno u otro. Considerando muchas técnicas de medición, las más adecuadas para nuestro

proyecto son las capsulas de diagrama y las galgas extensiométricas de diagrama. En el apartado sobre elección del sensor de presión adecuado, se especificará cada una de estas formas para medir presión y en que sensores están presentes.

El software de programación grafica que se utiliza constituye una gran ayuda para hacer aplicaciones que involucren adquisición y presentación de datos, control y automatización; también ayudara al rápido avance y cambio tecnológico ya que es muy fácil de modificar y adaptar a nuevos procesos para mejorar la didáctica de aprendizaje.

Además, se espera que el estudiante tome conciencia del uso adecuado de los Elementos de Protección Personal EPP, y adopte las medidas de seguridad necesarias dentro de un entorno industria, ya que es sumamente importante que el alumno llegue al entorno profesional con estos conceptos básicos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la instalación y puesta en marcha de los sensores de la variable presión en el módulo de entrenamiento M-ECCI, obteniendo como salida una señal normalizada de 0 a 5 voltios y así mediante adquisición de datos visualizar la respuesta en el software Labview.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Establecer las condiciones de medida de presión en el tanque número uno, mediante la celda de carga con Indicador-Transmisor LEXUS TUXON A-AC según las indicaciones del fabricante y de esta manera obtener la señal normalizada de 0 a 5 V para este sensor.
- ✓ Establecer las condiciones de medida de presión en el tanque número tres, por medio del sensor de diafragma según las indicaciones del fabricante y a partir de su salida en corriente obtener una señal normalizada de 0 a 5 V.
- ✓ Diseñar una interfaz gráfica que permita visualizar la respuesta en tiempo real de los sensores mediante el software Labview y la tarjeta de adquisición de datos NI6008
- ✓ Elaborar guías de Laboratorio que permitan al estudiante y docente conocer y hacer un adecuado uso de los sensores y el módulo de entrenamiento M-ECCI

4. MARCO TEÓRICO

4.1. DEFINICIÓN DE PRESIÓN

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como [pascal](#), [bar](#), [atmósferas](#), [kilogramos por centímetro cuadrado](#) y [psi](#) (libras por pulgada cuadrada). En el [Sistema Internacional \(S.I.\)](#) está normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14* que tuvieron lugar en París en octubre de 1967 y 1971, Y según la Recomendación Internacional número 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal**.

La presión (p) viene dada de la siguiente forma:

$$p = \frac{F}{A}$$

En la Tabla 4.1 figuran las equivalencias entre estas unidades. La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales.

* En España, según Decreto 1.257/1974 de 25 abril, publicado en BOE, núm, 110, de 8 de mayo de 1974,

** En España, según Decreto 18.464, publicado en BOE, núm, 223, de 17 de septiembre de 1974.

Nota: c= columna de... a= agua.

4.2. UNIDADES DE PRESIÓN

Unidades	Psi	Pulgada c. de agua	Pulgada c. de Hg	Atmósfera	kg/cm ²	cm c. de a.	mm c. de Hg	Bar	Pa
Psi	1	27,68	2,036	0,0680	0,0703	70,31	51,72	0,0689	6894,76
Pulgada c. de agua	0,0361	1	0,0735	0,0024	0,0025	2,540	1,868	0,0024	249
Pulgada c. de Hg	0,4912	13,6	1	0,0334	0,0345	34,53	25,4	0,0338	3386,39
Atmósfera	14,7	406,79	29,92	1	1,033	1033	760	1,0132	1,0133 x 10 ⁵
kg/cm ²	14,22	393,7	28,96	0,9678	1	1000	735,6	0,98	98066
cm c. de a.	0,0142	0,3937	0,0289	0,000%	0,0010	1	0,7355	0,0009	98,06
mm c. de Hg	0,0193	0,5353	0,0393	0,0013	0,0013	1,359	1	0,00133	133,322
Bar	14,5	401	29,53	0,987	1,02	1020	750	1	10 ⁵
Pa	0.00014	0,0040	0,00029	0,987 X 10 ⁻⁵	0,102 X 10 ⁻⁴	0,01	0,0075	10 ⁻⁵	1

Tabla 4.1 Unidades de presión.

El pascal es 1 **newton** por metro cuadrado (1 N/m²), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 kg, le comunica una **aceleración** de 1 m/s².

Como el pascal es una unidad muy pequeña, se emplean también el kilopascal (1 kPa = 10⁻² bar), el megapascal (1 MPa = 10 bar) y el gigapascal (1 GPa = 10 000 bar). En la industria se utiliza también el bar (1 bar = 10⁵ Pa = 1,02 kg/cm²) y el kg/cm², si bien esta última unidad, a pesar de su uso todavía muy extendido, se emplea cada vez con menos frecuencia. ^[1]

4.3. TIPOS DE PRESIÓN

4.3.1. Presión absoluta

Los diferentes tipos de presión se diferencian entre sí solamente por su punto de referencia a presión cero. La falta de presión (vacío total) en un espacio cualquiera del universo se conoce como cero absoluto. Si una presión está referida al cero absoluto se conoce como presión absoluta. Para distinguirla de otros tipos de presión se caracteriza por el sufijo o subíndice abs. Otra forma de conocer la presión absoluta es sumando la presión atmosférica a la presión relativa que indica cualquier manómetro.

4.3.2. Presión atmosférica

Necesaria para la vida en la Tierra se conoce como presión atmosférica del aire. Se ocasiona por el peso de la atmósfera que rodea la Tierra hasta una altitud aproximada de 500 Km. Desde la superficie de la Tierra hasta esta altitud se produce una caída de presión constante, llegando a presión cero a los 500 Km, es decir, presión absoluta cero. Para distinguirla de otros tipos de presión se caracteriza por el sufijo o subíndice atm. La presión atmosférica depende de los cambios climáticos, tomándose como referencia la existente como valor medio a nivel de la mar, denominada Atmósfera, o lo que es igual, 1.013 Bar ó 760 mm Hg (mercurio). Los cambios climáticos pueden hacer aumentar o disminuir la presión atmosférica en valores de $\pm 5\%$. En el experimento de Torricelli se midió por vez primera la presión atmosférica.

4.3.3. Presión relativa

En la práctica se suele utilizar como medida de presión la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica. Esta diferencia se conoce como presión relativa. Para distinguirla de otros tipos de presión se caracteriza por el sufijo o subíndice rel.

$$P_{rel} = P_{abs} - P_{atm}$$

Cuando la presión absoluta es mayor que la atmosférica, la presión relativa es de signo positivo. Por el contrario, si la presión absoluta es menor que la atmosférica, la presión relativa es de *signo negativo*. En otras palabras, la presión relativa puede ser positiva o negativa respecto a la presión atmosférica. La presión relativa de signo negativo se conoce a veces como vacío, por ejemplo 500 mm Hg de vacío es un valor de presión relativa negativa. Este valor es equivalente a 260 mm Hg de presión absoluta, suponiendo que la presión atmosférica es de 760 mm Hg. Concretando, la presión absoluta está referida siempre al cero absoluto, o falta de presión, mientras que la presión relativa está siempre referida a la presión atmosférica.

4.3.4. Presión diferencial

Es la diferencia entre dos presiones, puntos P_1 y P_2 .

$$dP = P_1 - P_2$$

Cuando se mide la diferencia de presión entre dos puntos, habitualmente con el mismo cero de referencia, la medida se denomina presión diferencial $P_{1,2}$ o también $dP_{1,2}$

4.3.5. 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 milímetros (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. ^[2]

4.3.6. Presión hidrostática. (Principio de Pascal)

Cuando un líquido está en equilibrio (reposo), la superficie libre será horizontal, pues es una superficie equipotencial dentro del campo gravitatorio (potencial igual para todos los puntos).

El concepto de presión hidrostática nace al considerar que el agua (contenida en un depósito) que hay en el fondo está soportando sobre sí el peso de la que tiene encima.

El principio de Pascal nos dice que si se ejerce una presión cualquiera en la superficie de un líquido en equilibrio, esta presión se transmite íntegramente a todas las moléculas del fluido, es decir, en un punto de un fluido la presión es la misma en todas las direcciones. Este principio se aplica a la presión hidrostática y es consecuencia de la falta de cohesión y de la isotropía de los líquidos.

Consideramos un elemento diferencial en el seno de un líquido, sobre él actúa la presión hidrostática debida al resto de la masa fluida.

Las presiones actuantes serán perpendiculares a las superficies sobre las que actúan.

En un recipiente que contenga agua en reposo, el fondo estará soportando el peso de todo el fluido que tiene encima.

La presión que soporta una superficie en el seno de un líquido dependerá de la posición que ocupa en el mismo, es decir, de la altura a la que se encuentra de la superficie libre. ^[3]

4.4. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

Existen dos tipos de galgas extensiométricas: galgas cementadas (Figura 4.1) formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar (Figura 4.2) en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

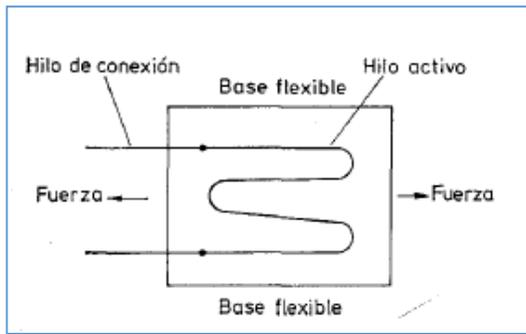


Figura 4.2 Galga cementada.

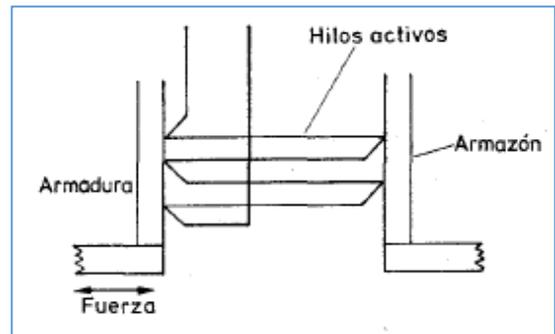


Figura 4.1 Galga sin cementar.

En ambos tipos de galgas, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando así la resistencia de los mismos.

La galga forma parte de un puente de Wheatstone (Figura 4.3) y cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Se aplica al circuito una tensión nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente. El intervalo de medida de estos transductores varía de 0 - 0,6 bar ó 0 - 10 000 bar y su precisión es del orden de $\pm 0,5\%$.

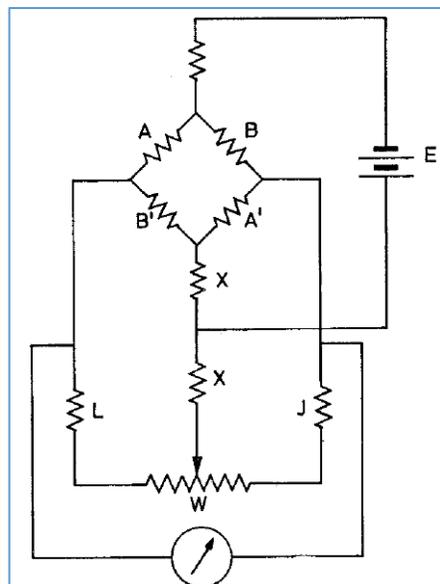


Figura 4.3 Puente de Wheatstone para galga extensiométrica.

Una innovación de la galga extensiométrica la constituyen los transductores de presión de silicio difundido. Consisten en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona que está en contacto con el proceso a través de un diafragma flexible. El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio en cuyo seno se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone constituyendo así una galga extensiométrica auto contenida. El espesor del sensor determina el intervalo de medida del instrumento.

El sensor con su puente Wheatstone incorporado forma parte del circuito de la Figura 4.3. Cuando no hay presión, las tensiones E_1 y E_2 son iguales y, al aplicar la presión del proceso R_b y R_c disminuyen su resistencia y R_a y R_d la aumentando dando lugar a caídas de tensión distintas y a una diferencia entre E_1 y E_2 .

Esta diferencia se aplica a un amplificador diferencial de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable. Un margen de corriente continua de 3 a 19 mA con 1 mA del puente produce una señal de salida de 4 a 20 mA corriente continua (c.c). Esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{fb} y produce una caída de tensión que equilibra el puente. Como esta caída es proporcional a R_{fb} esta resistencia fija el intervalo de medida (o span) del transductor. El cero del instrumento se varía intercalando resistencias fijas en el brazo izquierdo del puente y un potenciómetro en el brazo derecho.

La adición de un microprocesador permite añadir "inteligencia" al instrumento, al hacer posible funciones adicionales tales como la compensación de temperatura ambiente, proporcionando un aumento de la precisión de la medida, en particular si la señal de salida del instrumento es enteramente digital en lugar de la analógica de 4~20 mA c.c.

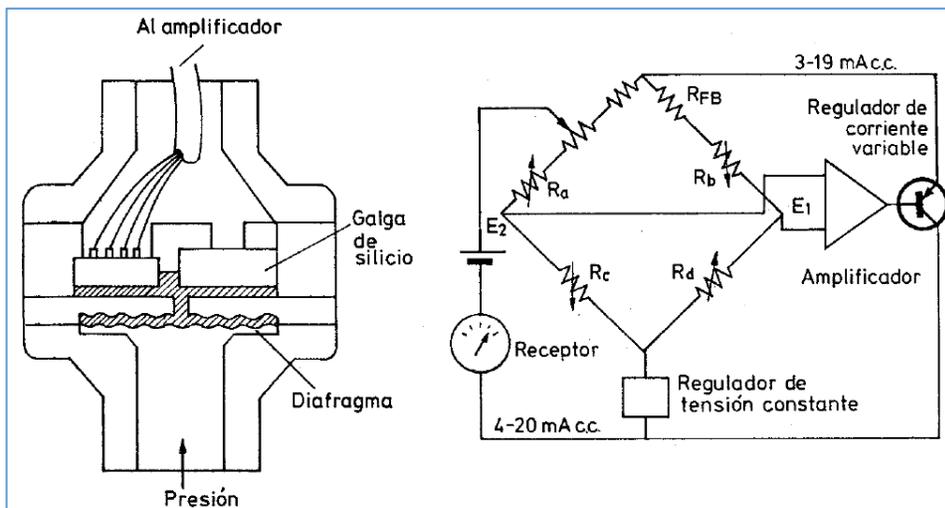


Figura 4.4 Transductor de presión de silicio difundido.

El intervalo de medida de los transductores de silicio difundido como el que se representa en la Figura 4.4 varía de 0 – 2 bares o 0 - 600 bares con una **precisión** del orden de $\pm 0,2 \%$.

Las galgas extensiométricas pueden alimentarse con c.c.ⁱ o c.a.ⁱⁱ. Tienen una respuesta en frecuencia excelente y pueden utilizarse en medidas estáticas y dinámicas. Presentan una compensación de temperatura relativamente fácil y generalmente no son influidas por campos magnéticos. Con excepción de las galgas de silicio difundido puesto que poseen las siguientes desventajas: señal de salida débil, pequeño movimiento de la galga, alta sensibilidad a vibraciones y estabilidad dudosa a lo largo del tiempo de funcionamiento. La galga de silicio difundido tiene la ventaja adicional de estar en contacto directo con el proceso sin mecanismos intermedios de medición de la presión pudiendo así trabajar correctamente aunque el fluido se deposite parcialmente sobre el diafragma del elemento ya que mide directamente la presión del fluido y no la fuerza que éste hace sobre el diafragma.

ⁱ Corriente continua

ⁱⁱ Corriente alterna

4.4.1. Sensores Basados en Galgas Extensiométricas

La medición de tensión, compresión, deformación, presión y torsión es utilizada para el estudio de materiales, medidas de peso, fijación de tornillos, diagnósticos médicos, entre otros. Los sensores basados en galgas extensiométricas permiten medir estas variables físicas, transformando las variables físicas en señales eléctricas.

Una celda de carga es un transductor que convierte una fuerza mecánica de entrada en una señal de salida eléctrica. Las celdas de carga son también comúnmente conocidas como transductores de carga o sensores de carga. Existen varios tipos.ⁱⁱⁱ

4.5. TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS

Los elementos piezoeléctricos (Figura 4.5) son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el **cuarzo** y el **titanato de bario**, capaces de soportar temperaturas del orden de 1500 °C en servicio continuo y de 2300 °C en servicio intermitente.

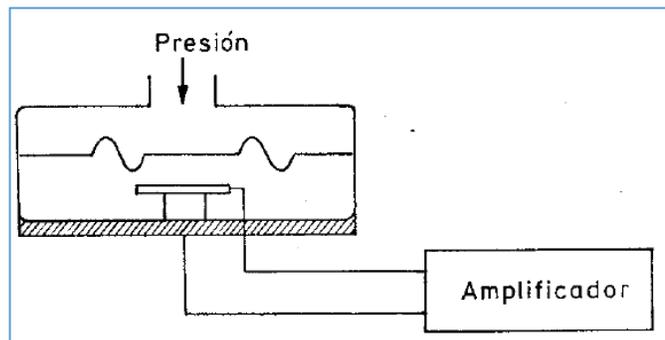


Figura 4.5 Transductor piezoeléctrico.

Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de dar respuestas en frecuencia de hasta un millón de

ⁱⁱⁱ GUÍA A CELDAS DE CARGA Y MÓDULOS DE PESAJE. Rice Lake Weighing Systems Company. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: https://www.ricelake.com/docs/prodinfo/Manuals/load-cells/LCH_esp.pdf

ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque. Asimismo, su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición. [4]

4.6. SENSOR/TRANSDUCTOR CELDA DE CARGA.

Se eligió el sensor mostrado en la Figura 4.6 para la medición de peso en el tanque 1.

- Celda de carga tipo S baja capacidad LEXUS modelo SA-100 kg

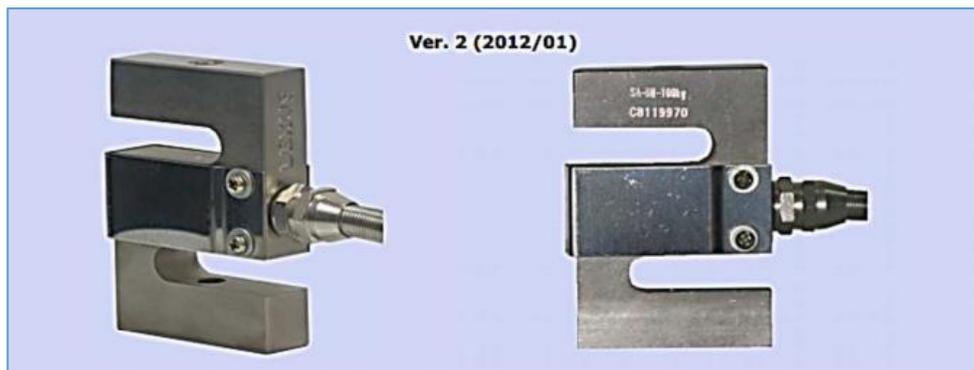


Figura 4.6 Celda de carga tipo "S" en aleación de acero, IP65, para aplicaciones especiales de tensión o compresión, para basculas flotantes.

Las celdas de carga tipo S son denominadas así por la forma que tienen similar a la letra S, este tipo de celdas de carga son a menudo utilizadas para aplicaciones como: conversión de Balanzas mecánicas y electrónicas, tolvas o tanques en suspensión y pesaje con propósito general de pesaje. Estas celdas de carga están disponibles en capacidades desde 25 lb. (12,5 kg) hasta 20.000 lb. (10.000 kg).^{iv}

^{iv} Lexus Electronic Weighing. CELDA TIPO "S". Data sheet. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: http://www.viaindustrial.com/manuales_pdf/PESO/234519.pdf

4.6.1. Conexión eléctrica.

En la Figura 4.7 se representa el diagrama de conexiones eléctricas de la celda de carga tipo S, las cuales deben ser configuradas como se indica para su correcto funcionamiento

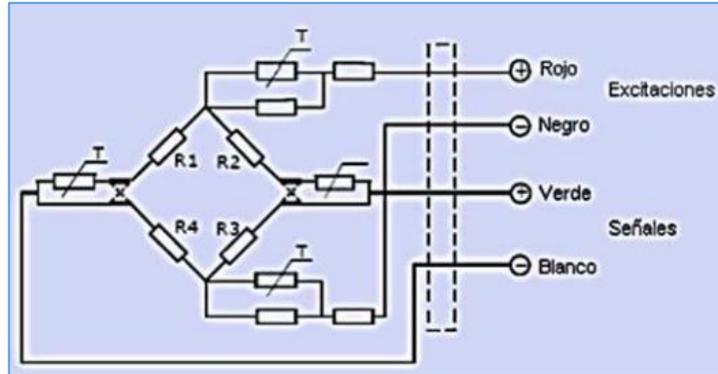


Figura 4.7 Conexiones entradas y salidas celda de carga.

4.6.2. Indicador de peso Tuxon A-AC con salida análoga.

Luego de realizar la instalación de la celda de carga se procedió a la instalación y configuración del indicador de peso Tuxon A-AC^y con salida análoga marca LEXUS, como el que se muestra en la Figura 4.8



Figura 4.8 Indicador de peso digital industrial para control de procesos TUXON-A-AC LEXUS.

^y MANUAL DEL USUARIO DEL INDICADOR DE PESO TUXON A-AC CON SALIDA ANÁLOGA. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: http://www.viaindustrial.com/manuales_pdf/Indicadores-de-peso-digitales-industriales-para-control-de-procesos-tuxon-a-c-lexus-manual-ingles.pdf

El modelo TUXON-A es un transmisor de peso de uso industrial, con la función de amplificar la señal de las celdas de carga y convertirlas en una señal análoga de control (de corriente o voltaje), con alta respuesta de visualización, su alimentación puede ser con voltaje AC o DC dependiendo del modelo, es muy utilizado en plantas de mezcla de concreto y asfalto, equipos químicos, automatización, etc.^{vi}

4.6.3. Conexión del indicador con celda de carga.

En la Figura 4.9 se representa el puerto de conexión y la función que cumple cada uno de los pines del indicador Tuxon A-AC ubicado en su parte posterior.

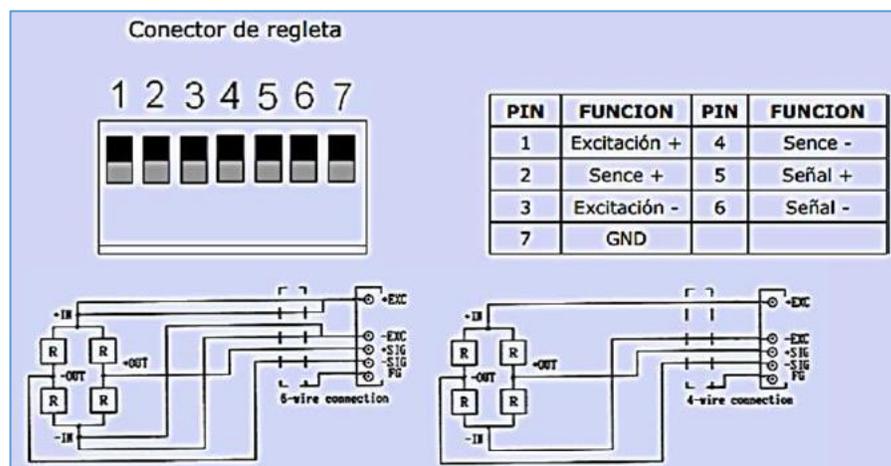


Figura 4.9 Conexión del indicador con celda de carga.

En este punto la celda de carga que consta de cinco terminales se conectó en el respectivo puerto (Parte trasera del indicador), la Figura 4.10 muestra cómo se realiza la conexión.^{vii}

^{vi} INDICADOR DE PESO TUXON A-AC CON SALIDA ANÁLOGA. Data sheet. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: http://www.bci.co/Pesaje/indicadores/para_control/catalogo_TuxonA/catalogo_Tuxon-A_Ver.1.pdf

^{vii} Lexus Electronic Weighing. TRANSMISOR DE PESO TUXON A-AC CON SALIDA ANÁLOGA. Data sheet. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: http://www.viaindustrial.com/catalogos_pdf/Indicadores-de-peso-digitales-industriales-para-control-de-procesos-tuxon-a-c-lexus-catalogo-espaa%C3%B1ol.pdf

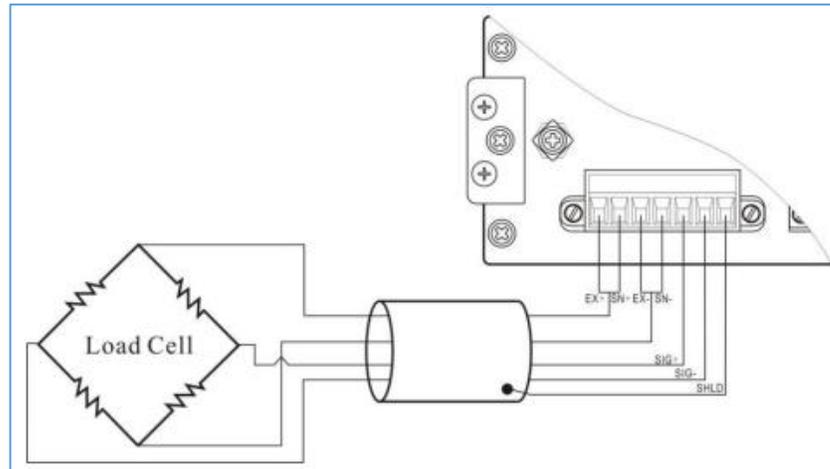


Figura 4.10 Diagrama de conexión celda de carga.

4.7. SENSOR/TRASMISOR DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA.

Para la medición de presión hidrostática en el tanque N° 3, se implementó el sensor mostrado en la Figura 4.11

- Sensor/transmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510



Figura 4.11 Sensor/transmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510.

Los sensores basados en puente o piezo-resistivos son el tipo más común de sensores por la construcción simple y durabilidad. Esto se traduce a menor costo y los hace ideales para sistemas de mayor cantidad de canales. Ofrecen la flexibilidad de usar una variedad de acondicionadores de señales de acuerdo a sus necesidades de rendimiento. Los sensores de puente son usados para aplicaciones de alta y baja presión y pueden medir presión absoluta, manométrica y diferencial.

4.7.1. Conexión eléctrica.

La Figura 4.12 representa los pines de configuración eléctrica y la configuración para la correcta operación del sensor MBS 4510

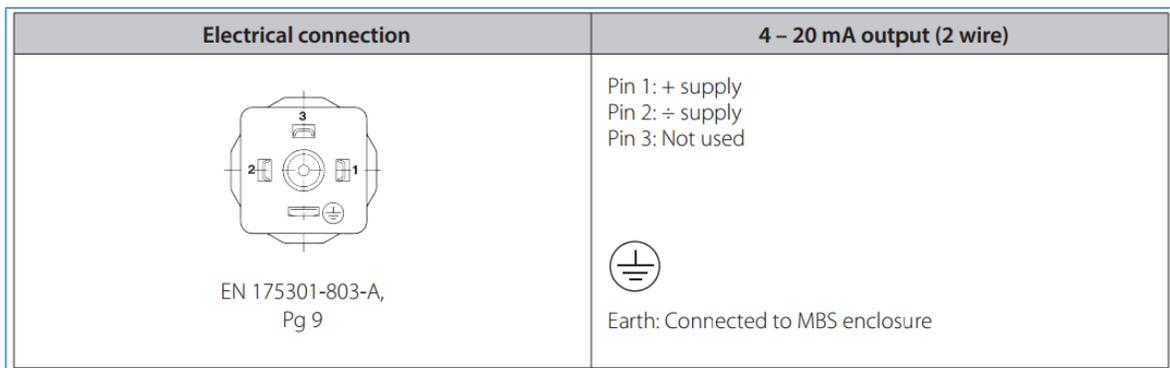


Figura 4.12 Conexión eléctrica Sensor/transmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510.

4.7.2. Consideraciones sobre sensor/transmisor de presión

Los sensores amplificados están basados en diferentes tecnologías pero ofrecen acondicionamiento integrado. Esto es favorable para sistemas de menos canales que no garantizan un sistema de acondicionamiento de señales dedicado. Ya que el acondicionamiento está integrado en el sensor/transmisor de presión de alta precisión MBS 4510 con diafragma rasante está diseñado para utilizarse en contacto con medios no uniformes, de alta viscosidad o cristalización, dentro del entorno industrial de alimentación y fabricación de bebidas, y permite una medición de presión fiable, incluso bajo condiciones adversas. El transmisor de

presión abarca una señal de salida de 4 a 20 mA, con versiones hidrostática, absoluta, y relativa, rango de medición de 0-250 mbar a 0-25 bar, ajuste de puesta a cero y de span, conexión mediante conector y conexión de presión cónica G1A con un diafragma rasante integrado. Su excelente estabilidad ante las vibraciones, estructura robusta y alto nivel de protección EMC/EMI (Compatibilidad electromagnética) hacen que el transmisor de presión cumpla los requisitos industriales más exigentes.

- ✓ Señal de salida 4-20 mA
- ✓ Temperatura de funcionamiento de -40 a 85° C
- ✓ Rangos de medición de 0 - 250 mbar a 0 - 25 bar
- ✓ Disponible con diferentes conexiones de presión
- ✓ Con ajuste de punto cero y de span
- ✓ Con diafragma rasante

Apto para el uso en la industria de alimentación y fabricación de bebidas, así como en instalaciones industriales en contacto con medios adversos, heterogéneos y de alta viscosidad. ^[5]

5. DISEÑO METODOLÓGICO

El control de la presión en los procesos industriales da condiciones de operación seguras. La presión puede llegar a tener efectos directos o indirectos en el valor de las variables del proceso (como la composición de una mezcla en el proceso de destilación). En tales casos, su valor absoluto medio o controlado con precisión es de gran importancia ya que afectaría la pureza de los productos poniéndolos fuera de especificación, a continuación se muestra en la Figura 5.1 el diseño estructural del módulo de entrenamiento M-ECCI. ^[6]

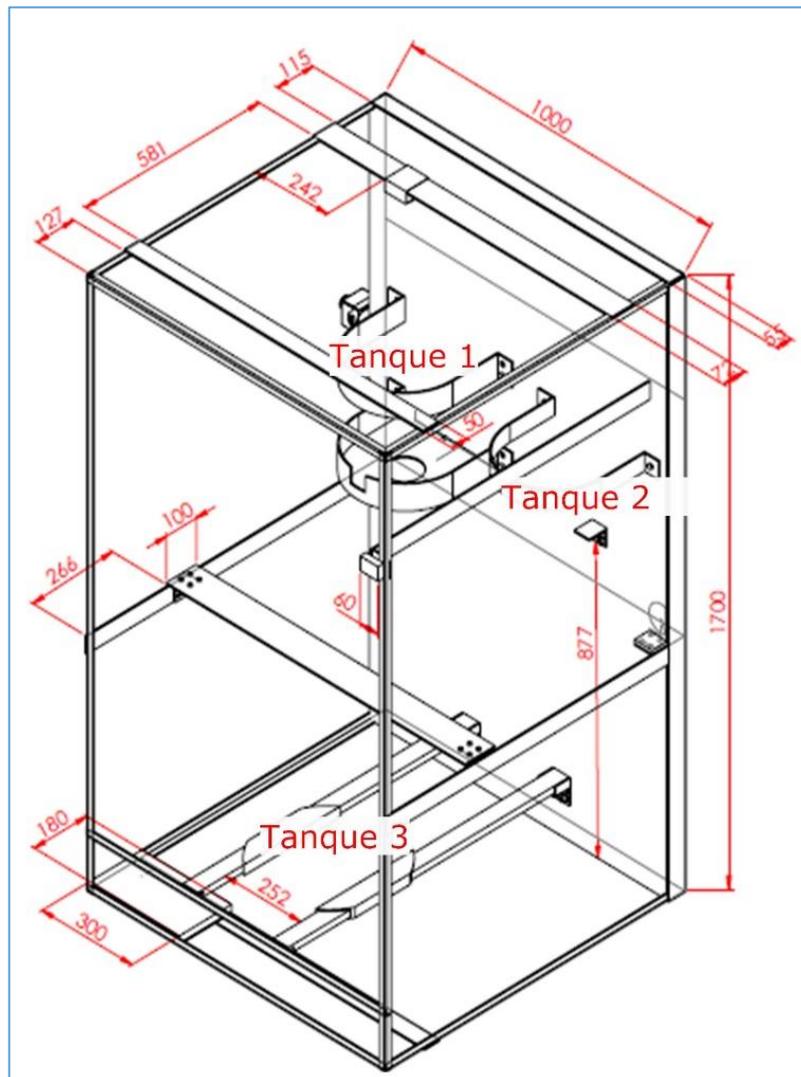


Figura 5.1 Plano general de la estructura de los bancos.

Para la selección de los sensores de presión se consultaron diferentes fichas técnicas propuestas por los fabricantes que cumpliera con los requerimientos operativos de medición en el módulo de entrenamiento M-ECCL. Al concluir que sensores se instalarían, se definió con la universidad la implementación de una celda de carga de 100 Kg con transmisor indicador LEXUS TUXON A-AC, con una señal normalizada de 0 a 5 Voltios a su salida y un sensor piezo resistivo de diafragma rasante Danfoss MBS4510 con un rango de 0 a 250 mbar, que genera una señal de salida de 4 a 20 mA el cual requería un acondicionamiento de señal, este se especifica en la sección 5.4.

5.1. INSTALACION FISICA DE SENSORES

5.1.1. Celda de carga 100 kg

En la Figura 5.1 se muestra la disposición de la celda de carga de 100 kg en el tanque N° 1.

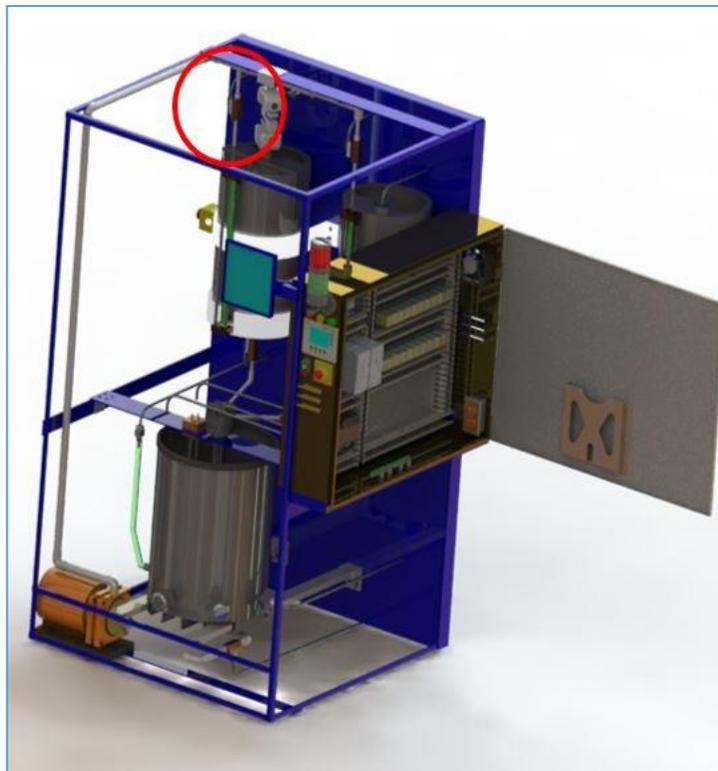


Figura 5.2 Ubicación física celda de carga módulo de entrenamiento M-ECCL.

Para la implementación de la celda de carga en el tanque N°1 fue necesario los siguientes elementos, un racor, dos arandelas y un acople con ganchos, (ver Figura 5.3) con el fin de suspender el tanque N° 1 con ayuda de la celda de carga. El acople instalado es de rosca MTP^{viii} debido a la característica física de la estructura.



Figura 5.3 Racores, arandelas y gancho.

En la Figura 5.4 se muestra la instalación final de la celda de carga de 100 Kg fijando el tanque N° 1 a la estructura.



Figura 5.4 Celda de carga ensamblada en módulo de entrenamiento M-ECCI.

^{viii} Rosca métrica Ranurada

5.1.2. Sensor de presión hidrostática Danfoss MBS 4510

En la Figura 5.5 se muestra la disposición del sensor de presión hidrostática MBS 4510 en el tanque N° 3.

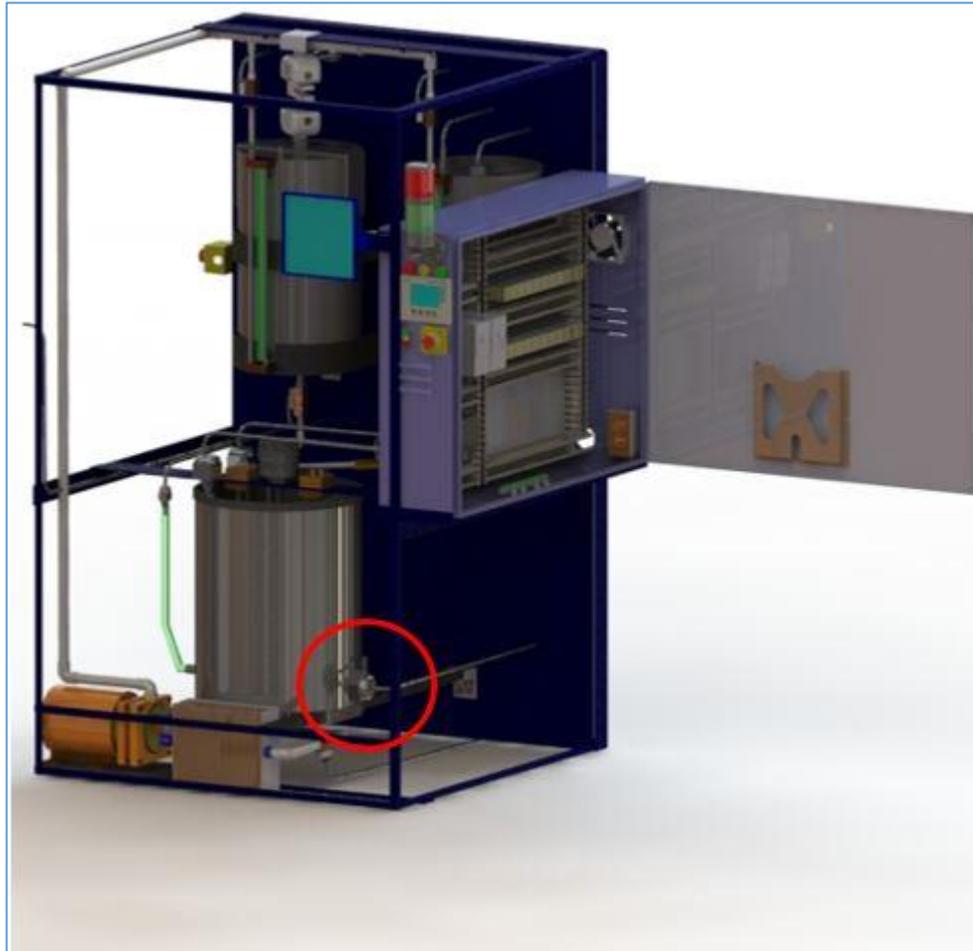


Figura 5.5 Ubicación física sensor de presión hidrostática módulo de entrenamiento M-ECCI.

Para la instalación y montaje del sensor fue necesario adquirir un acople de tubería tipo codo de PVC^{ix} como el que aparece en la Figura 5.6 y realizar la adecuación de las roscas ya que no eran compatibles entre sí.

^{ix} Policloruro de Vinilo



Figura 5.6 Acople sensor de presión hidrostática MBS 4510.

Para lograr el buen funcionamiento del sensor este se dispuso en posición vertical invertido mejorando y garantizando la medida de la variable de presión en el tanque N° 3, como se muestra en la Figura 5.7.

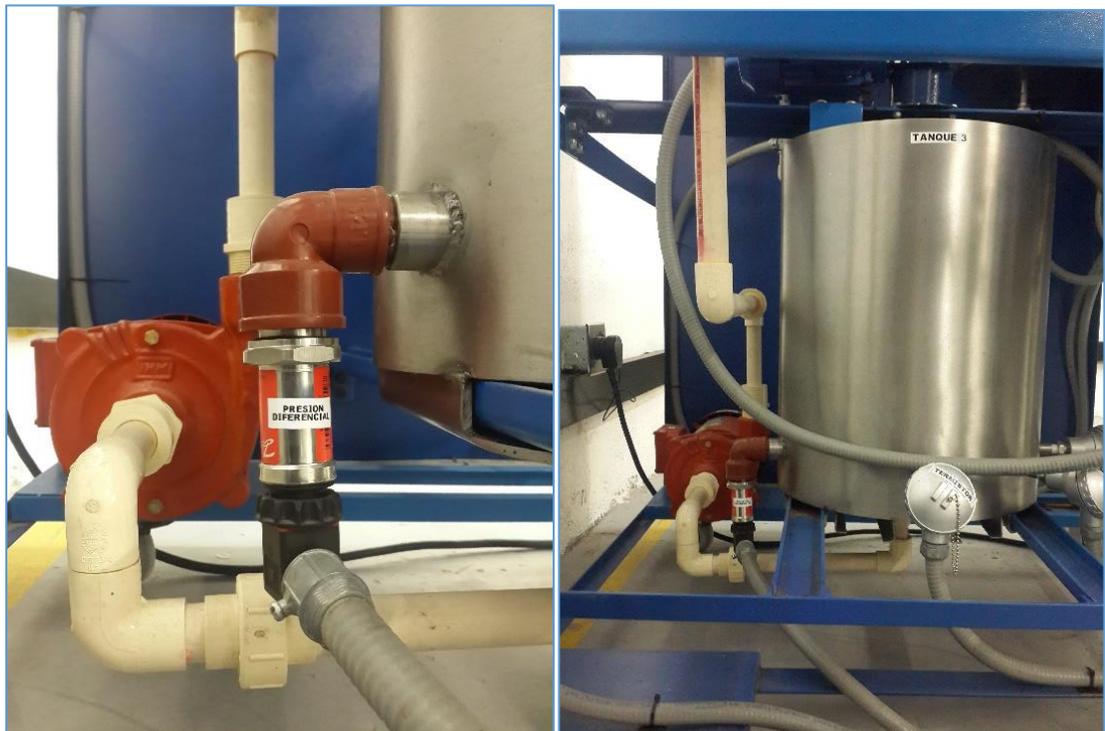


Figura 5.7 Sensor de presión hidrostática MBS 4510 ensamblado en módulo de entrenamiento M-ECCI.

5.2. CALCULOS MATEMATICOS PARA LOS TANQUES 1 Y 3

5.2.1. Celda de carga 100kg y tanque n° 1

Para llevar a cabo el cálculo de la capacidad (volumen, V) del tanque N° 1, es necesario conocer la altura (h) y el diámetro del mismo, las cuales son 0,51 m y 0,278 m respectivamente, para esto se usó la ecuación 5.1

$$V = \pi * r^2 * h \quad (5.1)$$

Se reemplazan los valores de diámetro y altura del tanque en la ecuación 5.1

$$V = \pi * (0,139m)^2 * 0,51m \quad (5.2)$$

La capacidad final que se obtiene para el tanque N° 1 es

$$V = 0,03 m^3 \quad (5.3)$$

Se realiza la conversión a litros (L) de modo que se pueda determinar el peso total del agua contenida en el tanque N° 1, teniendo en cuenta que "1 m³ = 1000 L" y "1 Kg = 1 L"^[7]

$$V = 0,03 m^3 * 1000 = 30 L \quad (5.4)$$

Es decir, el peso total de líquido que puede contener el tanque N° 1 es 30 Kg.

5.2.2. Sensor de presión hidrostática Danfoss MBS 4510

5.2.2.1. Calculo resistencia de carga (RL)

El fabricante suministra la ecuación 5.5 para realizar el cálculo de la resistencia de carga del sensor.^[5]

$$RL \leq \frac{U_B - 10 V}{0,02 A} \Omega \quad (5.5)$$

Donde U_B se refiere al valor de la fuente de voltaje usada para polarizar el sensor, para este caso son 24 V.

$$RL \leq \frac{24V - 10V}{0,02A} \Omega \quad (5.6)$$

$$RL \leq 700 \Omega \quad (5.7)$$

Finalmente, se determinó una resistencia de carga de 330Ω para el sensor de presión hidrostática MBS 4510, por que se encuentra dentro del rango considerado en la ecuación 5.7 y es un valor comercial y accesible en el mercado.

5.2.2.2. Calculo de presión en tanque N° 3

Para realizar el cálculo de la presión del tanque N°3 es necesario conocer la altura del tanque (h), la fuerza de gravedad (g) y la densidad del agua (ρ)^[8]

$$Pt3 = \rho * h * g \quad (5.8)$$

La densidad del agua es de: $1000 \frac{kg}{m^3}$

La fuerza de la gravedad es de: $9,81 \frac{m}{s^2}$

Reemplazando los valores de densidad del agua y altura del tanque se obtiene

$$Pt3 = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0,51m * 9,81 \frac{m}{s^2} \quad (5.9)$$

$$Pt3 = 5003,1 \frac{N}{m^2} \quad (5.10)$$

Ya que la presión del agua calculada para el tanque N°3 es $5003,1 \frac{N}{m^2}$, será la presión patrón que se usará para los cálculos de la interfaz de usuario programada en el software LabView.

El rango del sensor de presión hidrostática MBS 4510 se da en mBAR^x, por tanto se requiere realizar la conversión de unidades de la ecuación 5.10, de modo que coincidan con las manejadas por el sensor.

Para esta conversión debe tener en cuenta que:

$$1 \text{ BAR} = 100\,000 \frac{N}{m^2} \quad (5.11)$$

^x MiliBAR: milésima parte de 1 BAR

Por lo tanto la presión equivalente para el tanque N°3 es:

$$Pt3 = 0,050031 \text{ BAR} \quad (5.12)$$

$$Pt3 = 50,031 \text{ mBAR} \quad (5.13)$$

5.3. NORMALIZACION DE SEÑALES

En la implementación del módulo M-ECCL se requiere que los sensores tengan una salida normalizada de 0 a 5 Voltios para su integración dentro del montaje y puesta en marcha, a continuación se describe la forma en que se realizó la normalización en los dos sensores.

La normalización de señal de la celda de carga de 100 Kg se realizó mediante el indicador LEXUS TUXON A-AC, desde el cual se puede seleccionar el tipo de señal de salida y la carga máxima soportada por el tanque, para este caso se seleccionó una carga máxima de 30 Kg como se había calculado en la sección 5.2.1 y una señal de salida que varía entre los 0 y 5 Voltios, la cual recorre todo el rango establecido en el indicador.

Para la normalización de señal del sensor de presión hidrostática Danfoss MBS 4510, se requirió diseñar un circuito externo, teniendo en cuenta que la variación de voltaje que se obtuvo del sensor se encontraba entre 2 V a 2,79 V Se implementó un circuito restador amplificador con un A.O (amplificador operacional) LM358, el cual se escogió debido a su característica de polarización sencilla (VCC – GND) y bajo costo; el diseño del circuito consta de resistencias de igual valor para mantener la ganancia 1 y dos [trimmer](#), los cuales hacen las veces de ajuste de cero para el restador y ajuste de ganancia para el amplificador como se muestra en la Figura 5.8. ^[9]

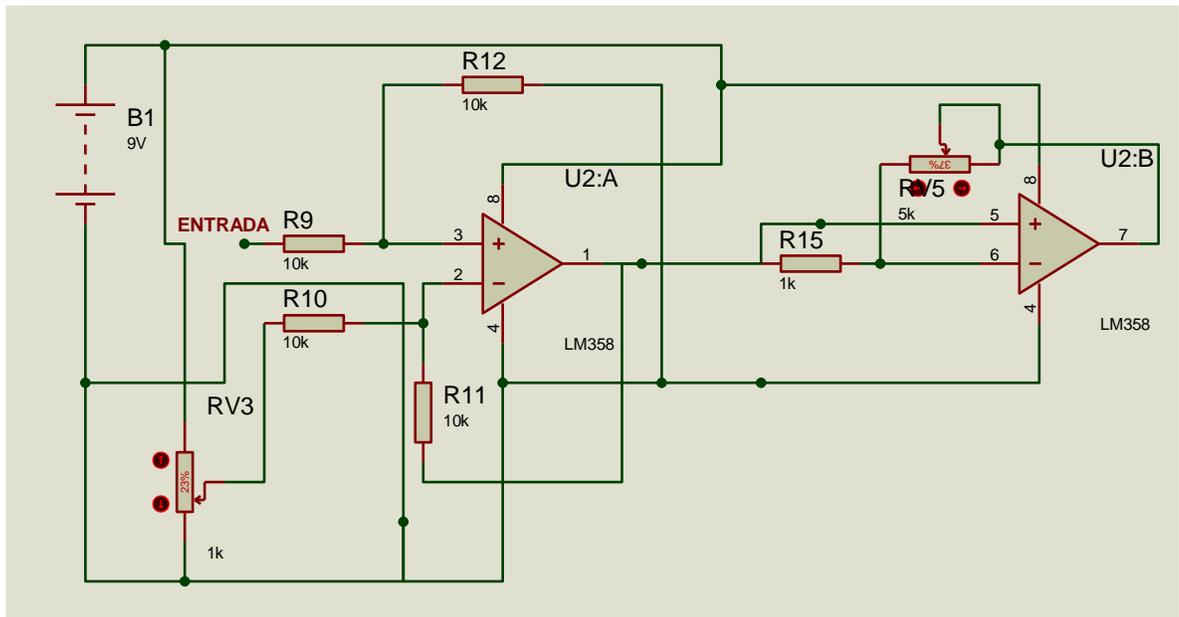


Figura 5.8 Plano circuito restador amplificador.

5.4. CONEXIÓN Y VISUALIZACIÓN CON LABVIEW

5.4.1. Con celda de carga

La señal de salida de la celda de carga se obtiene del indicador LEXUS TUXON A-AC, en una de sus borneras de salida genera un voltaje de 0 a 5 Voltios DC. Este voltaje es el indicado para implementar la comunicación del sensor con la interfaz gráfica de usuario (GUI) a través de la tarjeta de adquisición NI VISA 6008.^{xi} En la programación, se realizó una amplificación por software para visualizar de manera dinámica el proceso de llenado del tanque N° 1 con su respectivo indicador virtual de peso, como se muestra en la Figura 5.9.

^{xi} NI USB-6008. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201986>

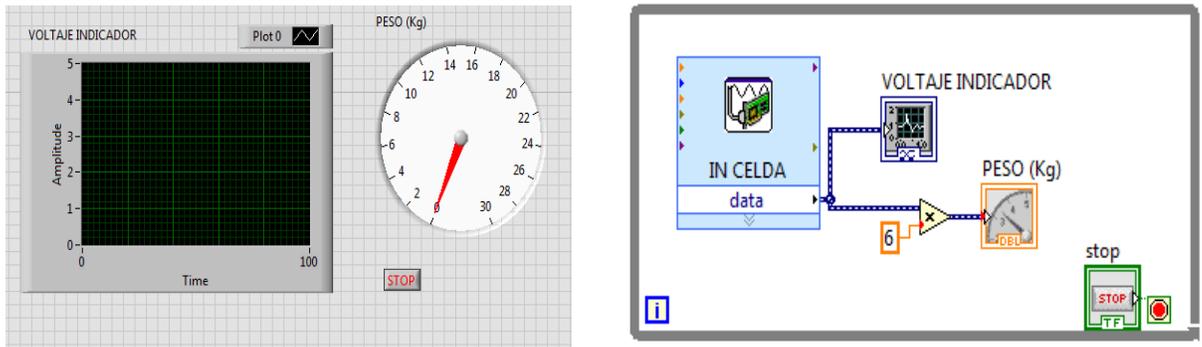


Figura 5.9 Interface gráfica celda de carga.

5.4.2. Con sensor/transmisor de presión

Ya que la señal de salida del sensor/transmisor de presión hidrostática MBS 4510 es de 4 a 20 mA, fue necesaria su normalización, es decir convertir esta corriente a voltaje y amplificarla a fin de obtener una variación entre 0 V y 5 V, de modo que al representarla en el indicador virtual de presión hidrostática para el tanque N° 3, se encontrara en el rango calculado en la sección 5.2.2.2, como se observa en la Figura 5.10

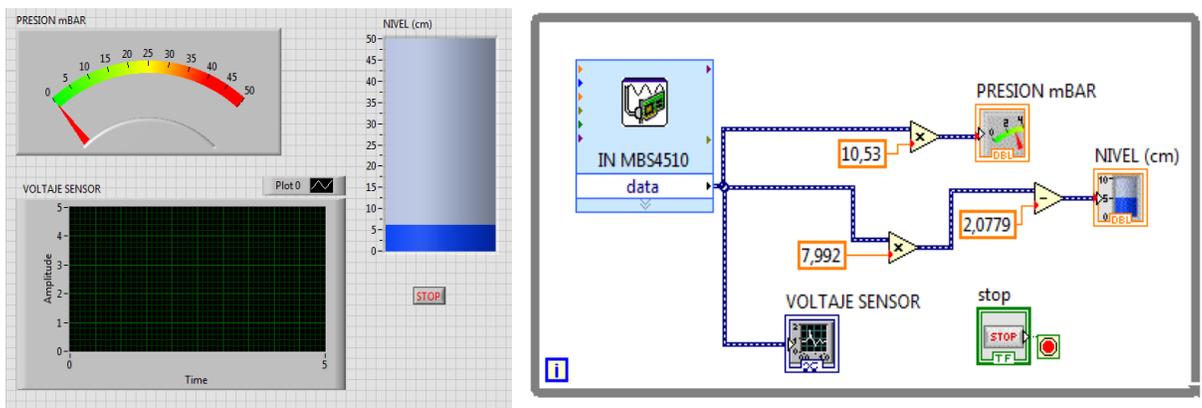


Figura 5.10 Interface gráfica sensor de presión hidrostática.

5.4.3. Descripción del programa general en LabView

Después de la instalación y conexión del sensor de presión hidrostática, se realiza un programa en LabView ([Lenguaje G](#)) y se diseñó una interfaz gráfica, con el fin de visualizar la variación de las señales del sensor de presión hidrostática (tanque N°3) y la celda de carga (peso del tanque N°1).

La Figura 5.11 hace referencia a la unión de dos programas para visualizar el peso del tanque N°1 y la presión hidrostática en el tanque N°3. ^[10]

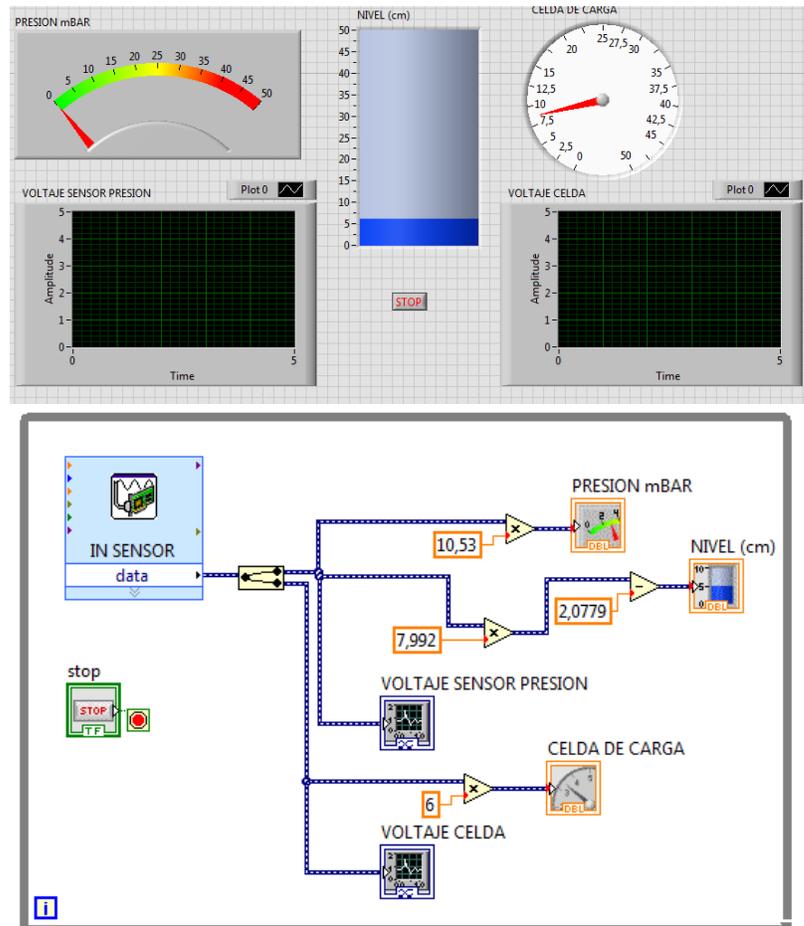


Figura 5.11 Interface gráfica programa general.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. PARA LA CELDA DE CARGA

Al realizar pruebas de llenado de agua del tanque N° 1, se puede comparar el nivel de llenado contra el peso del tanque, el cual se visualiza en el indicador TUXON A-AC con su respectivo valor de voltaje, con los resultados comparativos se obtiene la siguiente tabla (Tabla 6.1):

peso indicador (Kg)	altura tanque (cm)	voltaje out (v)
1	1,5	0,16
2	3,5	0,332
3	5	0,5
4	6,5	0,668
5	8	0,833
6	9,5	1,02
7	11	1,168
8	12,5	1,33
9	14	1,5
10	15,5	1,66
15	24	2,5
20	32	3,33
25	40,5	4,16
30	48	5

Tabla 6.1 Relación entre peso, altura y salida de voltaje.

La variación promedio según los datos obtenidos del muestreo, representados en la Tabla 6.1 es de 0,161 V (161 mV) por kilogramo y la variación de nivel de alrededor de 1,55 cm por kilogramo.

Partiendo de la Tabla 6.1 se obtuvieron las gráficas representadas en la Figura 6.1 y la Figura 6.2, donde se relaciona el peso en el tanque N°1 con respecto a la salida de voltaje del indicador TUXON A-AC y el peso del tanque N°1 con respecto al nivel en centímetros del mismo respectivamente:

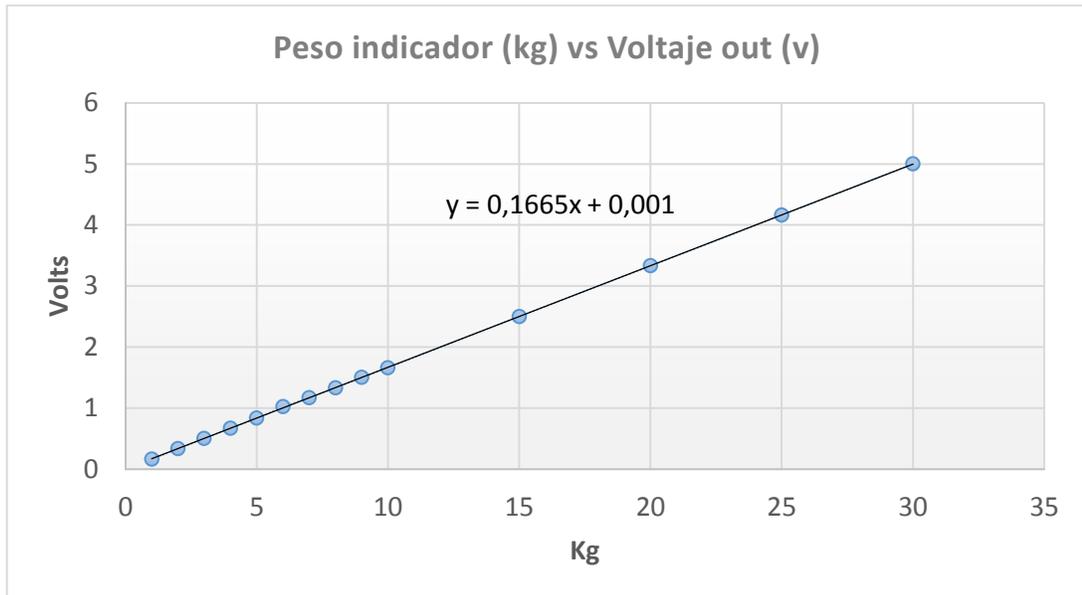


Figura 6.1 Peso indicador vs voltaje salida.

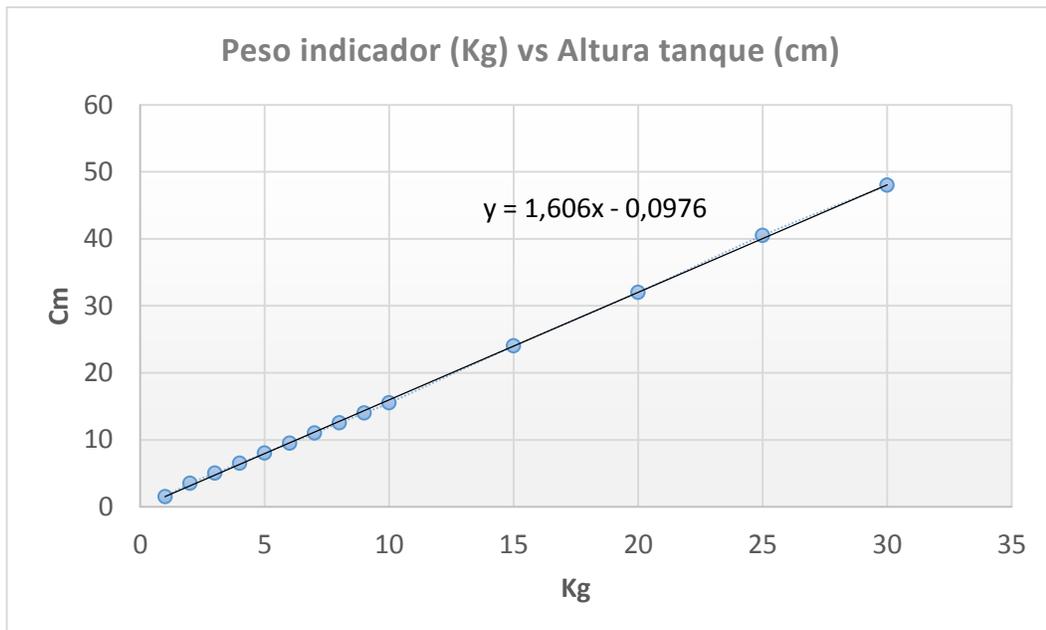


Figura 6.2 Peso indicador vs altura tanque.

Como se puede apreciar en la Figura 6.1 y la Figura 6.2, las muestras tienen una tendencia bastante lineal, lo cual facilita el manejo de los datos adquiridos en LabView y el acondicionamiento de las señales; del mismo modo mejora la estabilidad del sistema puesto que las fluctuaciones entre una y otra muestra son prácticamente despreciables y hace que el comportamiento sea predecible.

Se determinó la ecuación de la recta para la Figura 6.1 la cual sería representada en LabView a fin de visualizar la variación de peso en el tanque N°1 de forma dinámica dependiendo del voltaje de entrada en la tarjeta NI VISA 6008. Este mismo procedimiento se llevó a cabo con la gráfica representada en la Figura 6.2 para hallar la [ecuación de la recta](#) correspondiente y realizar la implementación en la plataforma LabView de la visualización del nivel del tanque N°1 con respecto al peso mostrado en el indicador TUXON A-AC.

6.2. SENSOR DE PRESION HIDROSTATICA MBS 4510

Tras realizar las pruebas correspondientes con el sensor de presión hidrostática del nivel del tanque N°3 con respecto a su salida de voltaje y visualización en la interfaz de LabView se obtuvo la tabla 6.2.

Estos datos se obtuvieron teniendo en cuenta el cálculo de presión del tanque N°3 desarrollado en la sección 5.2.2, asumiendo que el nivel máximo del tanque representaba también su presión máxima.

ALTURA CM	mbar LABVIEW	VOLTAJE SENSOR	SEÑAL REGULADA
9	0	2	0
15	9	2,12	0,12
21	17	2,25	0,25
27	25	2,39	0,39
33	34	2,53	0,53
39	42	2,66	0,66
45	50	2,79	0,79

Tabla 6.2 Relación entre altura, mbar, voltaje y señal regulada.

La caída de voltaje en la resistencia de carga del sensor de presión hidrostática MBS 4510 corresponde a 2,0 V cuando el nivel del tanque N° 3 está en el punto cero de medida (9 cm) y a 2,79 V cuando está a máxima capacidad. Esto da como resultado una variación de 0,02 V (20 mV) por centímetro.

Considerando la Tabla 6.2 se generó la línea de tendencia del sensor MBS 4510 que se puede ver en la Figura 6.3, la cual no recorre el rango requerido para la normalización y aunque la respuesta sea lineal, la variación de 20 mV/cm puede generar errores en la medición tanto de nivel como de presión en el tanque N°3, ya que no es una diferencia de voltaje significativa entre una medida y otra, además puede ser fácilmente afectada por perturbaciones externas como la vibración y hacer el sistema demasiado fluctuante.

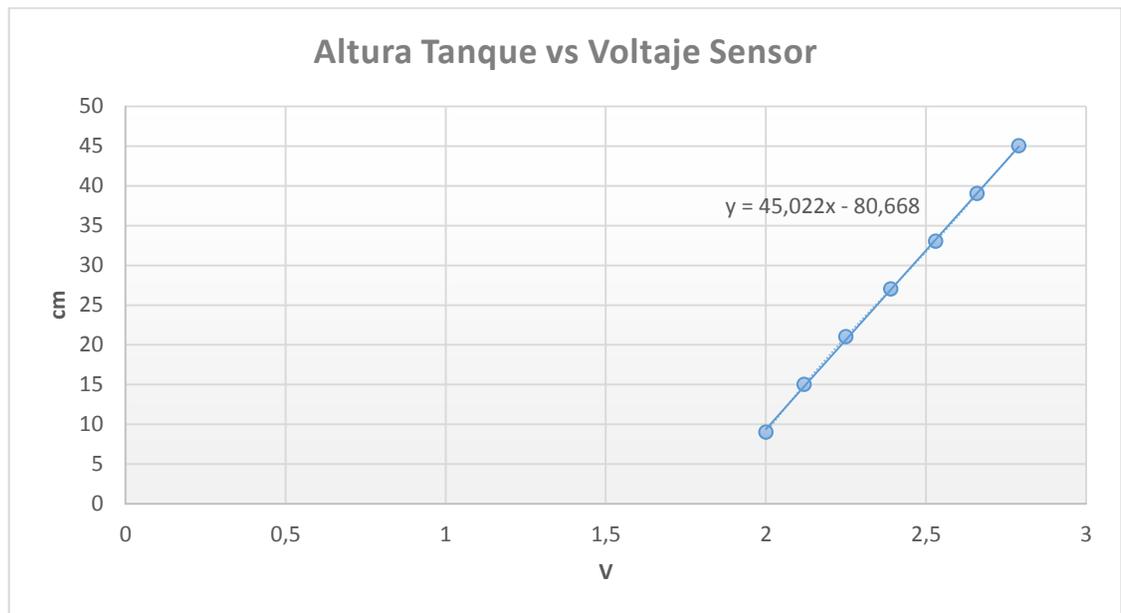


Figura 6.3 Altura Tanque vs Voltaje Sensor.

Con ayuda del circuito restador amplificador implementado previamente, se realizó nuevamente la toma de muestras del sensor de presión hidrostática MBS 4510 para los valores obtenidos en la salida del circuito restador amplificador, dando como resultado los valores que se muestran en la Tabla 6.3.

ALTURA (CM)	VOLTAJE (V)
9	0,854
10	0,994
15	1,625
20	2,25
25	2,87
30	3,49
35	4,11
40	4,75

Tabla 6.3 Altura Tanque vs Voltaje amplificado.

La variación promedio según los datos representados en la Tabla 6.3, teniendo en cuenta que en el punto cero de medida el voltaje es 0,854 V y 4,75 V cuando está a máxima capacidad, es de 0,1252 V (125,2 mV) por centímetro, que para el caso es una variación de voltaje de al menos 105 mV más por centímetro y que genera una resolución suficiente para diferenciar una medida de la siguiente.

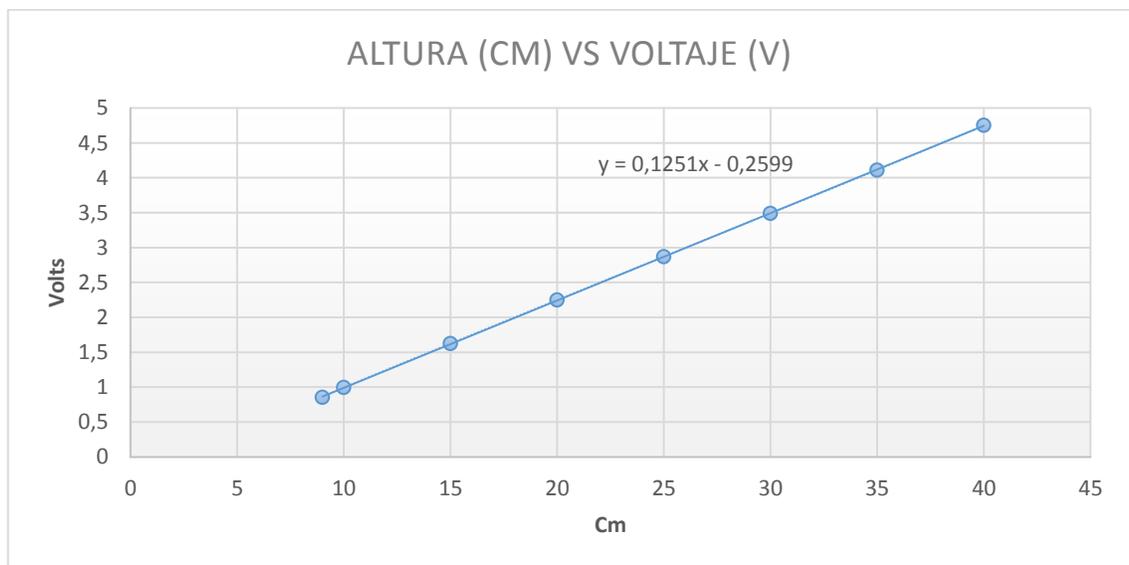


Figura 6.4 Altura Tanque vs Voltaje amplificado.

Teniendo en cuenta la Figura 6.3, se esperaba que gráfica generada tras la amplificación también fuera lineal y la variación de voltaje entre muestras mayor como se observa en la Figura 6.4.

La medición se toma a partir de 9 cm ya que el sensor de presión hidrostática MBS 4510 se encuentra a esta distancia de la base del tanque de modo que el valor obtenido es confiable. Se alcanza una altura de 40 cm debido a que la instalación de la resistencia del tanque N°3 impedía aumentar el nivel del agua pues existía el riesgo de corto circuito, así mismo el agitador generaba turbulencia aumentando el nivel del tanque.

Con ayuda de la herramienta de línea de tendencia del programa Excel se determinó la ecuación de la recta para la Figura 6.4 y la cual sería implementada en LabView a fin de visualizar la variación de nivel en el tanque N°3, dependiendo del voltaje de entrada en la tarjeta NI VISA 6008.

7. ESTADO DEL ARTE

Los requerimientos de la Industria de encontrar profesionales con conocimientos claros en sensores que interactúen en procesos industriales genera la necesidad de crear módulos de entrenamientos para los estudiantes universitarios, principalmente en Ingeniería Electrónica, en donde se puedan realizar prácticas enfocadas en procesos industriales y sensores que cumplan con los requerimientos de las compañías principalmente enfocados en la medición de 4 variables específicas: Caudal, temperatura, nivel y presión.

Se han realizado previamente por algunas universidades implementación de módulos de entrenamiento utilizando una, dos o tres variables , en el módulo de entrenamiento M-ECCI se implementas 4 variables con las cuales se pueden desarrollar diversas actividades aplicadas a la Ingeniería Electrónica que fortalecen los fundamentos de los estudiantes y facilitan las labores de los docentes. ^{[11][12][13]}

En las implementaciones de las celdas de carga no se utiliza frecuentemente un Indicador-Transmisor para obtener una señal normalizada de 0 a 5 Voltios en los módulos de entrenamiento ya que se realiza directamente con amplificadores de instrumentación sobre la celda de carga, es habitual encontrar celdas de cargas LEXUS modelo TUXON en la industria es por esto que en este módulo se realiza el ajuste de carga máxima, punto decimal, ganancia y voltaje de salida desde el Indicador-Transmisor lo que se ajusta perfectamente con procesos industriales. ^[14]

En muchos Módulos de entrenamiento no es común observar sensores de presión piezoresistivo de diafragma rasante debido a que su rango de medida es muy amplio, el grupo de presión implemento este sensor en el módulo de entrenamiento M-ECCI, mediante un circuito de normalización permite una respuesta del sensor con una señal de salida normalizada de 0 a 5 Voltios. ^[15]

8. CONCLUSIONES

- ✓ Se establecieron las condiciones de medida de presión en el tanque N°1 y se siguieron las indicaciones recomendadas por el fabricante de la celda de carga con Indicador-Transmisor LEXUS TUXON A-AC; se evidencio que para la puesta en marcha del equipo es necesario realizar los procedimientos de configuración de tipo de señal de salida, calibración de ganancia, punto cero, punto decimal, carga máxima, y definir el tipo de celda de carga. De estos procedimientos depende una respuesta correcta del dispositivo.
- ✓ Se establecieron las condiciones de medida de presión en el tanque N°3 para el sensor de diafragma MBS 4510 en el módulo de entrenamiento M-ECCI según las indicaciones establecidas por el fabricante, obteniendo una señal de corriente a la salida. Fue necesario convertir la salida en voltaje y luego realizar la normalización de esta de 0 a 5 Voltios, además fue importante conocer el ajuste de span y punto cero del sensor para realizar la puesta en marcha.
- ✓ Se diseñó de una interfaz de usuario mediante el software LabView y la tarjeta de adquisición de datos NI6008 que permitió la visualización del estado de los sensores y la presión que experimenta cada tanque.
- ✓ Se elaboraron guías de laboratorio para el manejo de los sensores e interfaz gráfica para los estudiantes y docentes, las cuales tienen como propósito realizar un adecuado uso del módulo de entrenamiento M-ECCI y realizar actividades acordes a los procedimientos implementados por el grupo de presión.

9. TRABAJOS FUTUROS

Dentro del grupo de presión para la implementación del módulo de entrenamiento M-ECCI es importante identificar los procesos de funcionamiento para dar continuidad al trabajo realizado. Por esto, esta sección busca mostrar el trabajo futuro que es necesario ejecutar para continuar avanzando en el conocimiento de los sensores de presión en el módulo de entrenamiento. Estos procesos pueden resumirse en los puntos siguientes:

- Mediante Indicador-Transmisor se puede obtener una señal normalizada de 0 a 5 V realizando el procedimiento de calibración, pero para actividades sin Indicador-Transmisor es necesario realizar la caracterización de la señal del transductor y obtener una respuesta lineal.
- El uso de la interfaz gráfica que está elaborada mediante el software LabView y la tarjeta de adquisición de datos NI6008 solo permite al usuario realizar activación de actuadores y monitoreo de presión en tanque uno y tres, por lo que es ideal el desarrollo de un sistema automatizado mediante LabView para simular procesos industriales en el módulo.
- A futuro es necesario tener patrones de medida de presión para garantizar una medición correcta en los sensores usados para el proyecto, teniendo en cuenta la norma ISO9000^{xiii} para así tener sensores confiables en el módulo de entrenamiento M-ECCI.
- Implementar un sensor adicional de presión diferencial en el tanque número dos, para que el estudiante que manipuló el módulo de entrenamiento M-ECCI adquiriera un conocimiento más amplio sobre sensores utilizados en la industria.

^{xiii} NORMA INTERNACIONAL ISO 9000. Traducción certificada. [Citado 15 de enero de 2015]. Disponible en http://www.uco.es/sae/archivo/normativa/ISO_9000_2005.pdf

REFERENCIAS

- [1]. Antonio Creus Sole. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL MEDIDAS DE PRESIÓN. Ed. alfa omega grupo editor. Páginas 71 al 72.
- [2]. J. Acedo Sánchez. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL AVANZADO DE PROCESOS. Ed. Ediciones Díaz de santos. Páginas 26 al 28.
- [3]. Elías Afif Khouri. APUNTES DE HIDRÁULICA PARA EXPLOTACIONES FORESTALES. Ed. Universidad de Oviedo, 2004. Páginas 13 al 14.
- [4]. Antonio Creus Sole. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL MEDIDAS DE PRESIÓN. Ed. alfa omega grupo editor. Páginas 81 al 84.
- [5] Danfoss. PRESSURE TRANSMITTER FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS TYPE MBS 4510. Data sheet. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/IC.PD.P20.S4.02.pdf>
- [6]. Francisco José Mola Morales. MANIPULACIÓN Y ENSAMBLAJE DE TUBERÍAS. Ed. IC Editorial. Páginas 16 al 18.
- [7]. Dee Unglaub Silverthorn, Ph.D. FISIOLOGÍA HUMANA. UN ENFOQUE INTEGRADO. Ed. Médica Panamericana. Página 154.
- [8]. Paul Allen Tipler, Gene Mosca. FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA, VOLUMEN 1. Ed. Reverte. Páginas 366 al 368.
- [9]. Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, Raúl Bautista Gutiérrez. AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES. Ed. Pearson Educación. Páginas 67 al 70.
- [10]. www.edu-mit.com.ar. CURSO EN VIVO DE LABVIEW. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=uhjRNDqFv08>

- [11]. Andrés cerón. Diego Montoya. Ferney cano. Hilda torres. Jaime rúa. John mesa. Juan Clavijo. Leidy Galeano. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA MEDICIÓN DE VARIABLES: TEMPERATURA, NIVEL Y PESO. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingenierías. Medellín. 2011. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/330/3/Diseno_Implementacion_Modulo_Ceron_2011_AnexoB.pdf
- [12]. Luz Russi. Jenifer Castillo. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA AFORAR TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CERVEZA TERMINADA. Universidad de San Buenaventura. Ingeniería Mecatrónica. Bogotá. 2006. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37488.pdf>
- [13]. Diego Amorocho. William Vera. DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA ASIGNATURA DE INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA. Universidad Industrial de Santander. Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Bucaramanga. 2011. [Citado 14 de junio de 2014]. Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3531/2/141030.pdf>
- [14]. John Rengifo Muñoz. MATERIAL DIDÁCTICO PARA EL USO DE LOS MÓDULOS DE ELECTRO-NEUMÁTICA Y MEDICIÓN DE VARIABLES DEL LABORATORIO DE ELÉCTRONICA USB. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingenierías. Medellín. 2011. Página 13. Disponible en: http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/332/1/Material_Didactico_Uso_Rengifo_2011.pdf
- [15]. Esteban Richmond Salazar. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INTERFAZ DE CONTROL DE NIVEL, TEMPERATURA Y FLUJO DE AGUA EN UN TANQUE PARA USO EN PRÁCTICAS DE LABORATORIO. Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio". San José. Costa Rica. 2009. Página 55. Disponible en: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr:8080/bitstream/handle/10669/537/DocumentoFinal.pdf?sequence=1>

ANEXOS

Para hacer el montaje, manejo y calibración de la celda de carga con su respectivo indicador, remítase al anexo 1. “GUÍA DE MANEJO CELDA DE CARGA”.

El datasheet de la celda de carga tipo S baja capacidad LEXUS modelo SA-100 kg, se encuentra en el anexo 2.

El datasheet del Indicador de peso Tuxon A-AC con salida análoga, se encuentra en el anexo 3.

El manual del usuario del Indicador de peso Tuxon A-AC con salida análoga, se encuentra en el anexo 4.

En los videos 1 y 2 se observar el funcionamiento del sensor/transductor celda de carga.

Video 1. Prueba 3 presión módulo de entrenamiento M-ECCI.

GRUPO PRESIÓN. Módulo de entrenamiento M-ECCI. Escuela Colombiana de Carreras Industriales. [Fecha de publicación: 28 junio 2014]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=8j_JRkyZM2w

Video 2. Prueba 4 presión módulo de entrenamiento M-ECCI.

GRUPO PRESIÓN. Módulo de entrenamiento M-ECCI. Escuela Colombiana de Carreras Industriales. [Fecha de publicación: 28 junio 2014]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=BXrhZ06EDYY>

Para hacer el montaje, manejo y calibración del sensor/transmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510, remítase al anexo 5. “GUÍA DE MANEJO SENSOR DE PRESION MBS 4510”.

El datasheet del sensor/trasmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510, se encuentra en el anexo 6.

El datasheet de la guía de instalación del fabricante del sensor/trasmisor de presión de diafragma piezo-resistivo MBS 4510, se encuentra en el anexo 7.

En los videos 3 y 4 se observar el funcionamiento del sensor/trasmisor de presión.

Video 3. Prueba 1 presión módulo de entrenamiento M-ECCL.

GRUPO PRESIÓN. Módulo de entrenamiento M-ECCL. Escuela Colombiana de Carreras Industriales. [Fecha de publicación: 28 junio 2014]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=i7OStaCQIBE>

Video 4. Prueba 2 presión módulo de entrenamiento M-ECCL.

GRUPO PRESIÓN. Módulo de entrenamiento M-ECCL. Escuela Colombiana de Carreras Industriales. [Fecha de publicación: 28 junio 2014]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=EtBs_Rwy

Para entender el funcionamiento del programa general en la guía se explica brevemente un programa sencillo de como simular un sensor de presión. Remítase al anexo 8. “SIMULACIÓN DE UN SENSOR DE PRESIÓN CON AYUDA DE LABVIEW”.

Para comprende el funcionamiento básico de la celda de carga con la interface de usuario de LabView, remítase al anexo 9. “GUÍA DE LABORATORIO INSTRUMENTOS VIRTUALES. CELDA DE CARGA”.

Para comprende el funcionamiento básico del sensor/trasmisor de presión con la interface de usuario de LabView, remítase al anexo 10. “GUÍA DE LABORATORIO INSTRUMENTOS VIRTUALES. SENSOR/TRASMISOR DE PRESIÓN.