

ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN
DE NIVEL DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

DANIEL ENRIQUE RUEDA MEJÍA.
LAURA MARCELA TAVERA VÁSQUEZ.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA

2014

ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN
DE NIVEL DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

DANIEL ENRIQUE RUEDA MEJÍA.

LAURA MARCELA TAVERA VÁSQUEZ.

PROYECTO DE GRADO

JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

DIRECTOR DEL PROYECTO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA

2014

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

BUCARAMANGA, Diciembre del 2014.

DEDICATORIA.

A Dios por ser mi fuente de inspiración, darme la fuerza, sabiduría para lograr mis sueños colocando las personas adecuadas y poder superar todos los obstáculos para culminar con éxito mi carrera profesional.

A mis padres y familiares que con su sacrificio, voto de confianza, amor y apoyo poder lograr mis metas, por su cariño y calor humano, han velado por mi educación y formación como ser integral rescatando el respeto y los valores para lograr este triunfo como ingeniera.

Agradezco a Daniel Rueda por su trabajo, amistad, comprensión, confianza y apoyo en toda la etapa de desarrollo del proyecto y de la carrera.

A mis amigos por hacer parte de mi crecimiento personal y compartir su sabiduría, vivencias, alegrías y amistad que me brindaron en mi proceso de formación profesional.

Laura Marcela Tavera Vásquez.

A Dios por darme fortalezas en los momentos de más dificultad, permitiéndome alcanzar todas las metas que me he propuesto, también por rodearme de esas personas que cada día contribuyen con mi formación para convertirme en una persona que le sea útil a la sociedad.

A mis padres por no rendirse y estar siempre a mi lado para apoyarme y aconsejarme ante las dificultades, por darme todo su cariño y amor.

A mis amigos por brindarme momentos de alegría, por aconsejarme, acompañarme y guiarme durante mi proceso de formación.

A Laura Tavera gracias por su gran amistad, por los momentos de alegría, por aconsejarme ante las dificultades, por apoyarme y por contribuir en mi proceso de formación.

Daniel Enrique Rueda Mejía

AGRADECIMIENTOS.

Al ingeniero Juan Carlos Mantilla Saavedra por brindarnos su apoyo, conocimiento y experiencia que nos fueron de gran ayuda durante la realización del proyecto.

A la ingeniera Leidy Olarte que con su gran experiencia contribuyo con la selección de los componentes del sistema eléctrico de nuestro proyecto.

A la ingeniera Jessica Ariza por su tiempo y experiencia para asesorarnos en la selección del sistema de adquisición de datos.

Al ingeniero Emil Hernández por sus ideas, aportes, colaboración y asesoramiento en el diseño de la estructura mecánica de nuestro proyecto.

TABLA DE CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN.....	1
1 NIVEL	2
1.1 DEFINICIÓN.....	2
1.2 UNIDADES DE MEDICIÓN.	2
1.3 TANQUES	2
1.4 MEDICIÓN DE NIVEL.	4
1.4.1 Medición de Nivel en Líquidos.....	6
1.4.1.1 Medición Directa.	6
a) Medidor de Sonda.	6
b) Medidor de Cristal.....	6
c) Medidor de Tipo Flotador.....	7
1.4.1.2 Características Eléctricas del Líquido.	7
a) Medición de Nivel por Ultrasonido.	7
b) Medición de Nivel por Radar.....	8
c) Medición de Nivel de Radiométrica.....	9
d) Capacitivo.....	11
e) Medición de Nivel por Láser.....	12
f) Resistivo o Conductivo.	13
1.4.1.3 Empuje.	13
a) Desplazamiento.	13
1.4.1.4 Aprovechamiento de la Presión Hidrostática.....	14
a) Manómetro	14
b) Tipo Burbujeo.	14
c) Presión Diferencial.....	15
1.4.2 Medición de Nivel en Sólidos.	16
2 NORMAS, ESTÁNDARES Y METROLOGÍA.	18
2.1 NORMA	18
2.1.1 Tipos de Normas.....	19

2.2	NORMALIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN.....	19
2.2.1	Normas Recomendadas en el Banco de Nivel de Líquidos.	19
2.2.1.1	Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.....	19
2.2.2	Organismos Internacionales de Normalización y Estandarización.....	20
2.2.3	Organismos Regionales de Normalización y Estandarización.	20
2.2.4	Organizaciones Privadas de Normalización y Estandarización.	21
2.2.5	Organismo Nacional de Normalización y Estandarización.....	21
2.2.5.1	ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.	21
2.3	ACREDITACIÓN.....	21
2.3.1	Organismos Internacionales de Acreditación.	22
2.3.2	Organismo Nacional de Acreditación.	22
2.3.2.1	ONAC. Organismo Nacional de Acreditación de Colombia.	22
2.4	CERTIFICACIÓN.....	23
2.5	METROLOGÍA.....	23
2.5.1	Metrología Legal.	24
2.5.2	Metrología Industrial.....	24
2.5.3	Metrología Científica.	24
3	INGENIERÍA DE DETALLE.....	26
3.1	ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO.	26
3.2	ZONA DE TRABAJO.	27
3.3	TECNOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL.	28
3.3.1	Transmisor Levelflex FMP52.....	29
3.3.2	Transmisor Micropilot FMR 51.	30
3.3.3	Transmisor Liquicap M FMI51.	31
3.3.4	Transmisor Deltapilot M FMB50.	32
3.3.5	Sensor Capacitivo AUTONICS CR18-8DP.....	33
3.4	DISEÑO DEL MÓDULO Y CIRCUITO BÁSICO DE ENSAYO.	34
3.4.1	Diseño Mecánico del Módulo.	40

3.4.2	Diagrama P&ID.	42
3.5	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	43
3.5.1	Módulo de Salida Digital, NI 9474.	44
3.5.2	Módulo de Entrada Digital, NI 9421.....	45
3.5.3	Módulo de Interfaz Serial, Rs485/Rs422.	45
3.5.4	Módulo AM-9898.....	46
3.5.5	Chasis NI cRIO-9075.	46
3.5.5.1	Fuente de Alimentación NI PS-15.....	47
3.5.5.2	Protección para Módulos NI-9927.....	47
3.5.5.3	Panel Horizontal para Montaje.....	47
3.5.5.4	Cable para Ethernet.....	48
3.5.5.5	Juego para Montaje de Panel.	48
3.6	GABINETE DE CONTROL.	49
	PRESUPUESTO.	51
	RECOMENDACIONES.	52
	CONCLUSIONES.....	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	54
	ANEXOS.	60

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Resumen diferentes tecnologías para medición de nivel en líquidos... ..	16
Tabla 2. Resumen diferentes tecnologías para la medición de nivel en sólidos....	17
Tabla 3. Cotizaciones.....	51

LISTA DE IMÁGENES.

Imagen 1. Medición de nivel de líquidos.....	2
Imagen 2. Tipos de tanques.....	3
Imagen 3. Sistema de seguridad tanque cerrado.	3
Imagen 4. Sondas de nivel.....	4
Imagen 5. Mapa conceptual de tecnologías usadas para la medición de nivel.....	5
Imagen 6. Tipos de medidores de sonda..	6
Imagen 7. Medidor de cristal.	7
Imagen 8. Sensor de tipo flotador.	7
Imagen 9. Sensor de nivel por ultrasonido..	8
Imagen 10. Sensor tipo radar.	9
Imagen 11. Sensor radiométrico.	10
Imagen 12. Sensor capacitivo.	11
Imagen 13. Ventajas sensor capacitivo.	12
Imagen 14. Medición por láser.	12
Imagen 15. Sensor resistivo y conductivo.	13
Imagen 16. Sensor por desplazamiento.	14
Imagen 17. Conexión medidor de tipo burbujeo..	15
Imagen 18. Diferentes tecnologías para medir nivel en sólidos.	17
Imagen 19. Partes involucradas para programar procesos de producción..	18
Imagen 20. Entes rectores nacionales e internacionales	25
Imagen 21. Pantalla LCD del instrumento.	26

Imagen 22. Imagen izquierda Transmisor levelflex-FMP52, Imagen derecha renderizado del transmisor.	29
Imagen 23. Imagen derecha Transmisor Micropilot FMR 51, Imagen izquierda renderizado del transmisor.	30
Imagen 24. Sensor de Radar vs Sensor de Radar de Onda Guiada.	31
Imagen 25. Imagen izquierda Transmisor Liquicap M FMI 51, Imagen derecha renderizado del transmisor.	31
Imagen 26. Principio de medición de un sensor capacitivo.	32
Imagen 27. Imagen izquierda Transmisor Deltapilot M FMB 50, Imagen derecha renderizado del transmisor.	33
Imagen 28. Sensor capacitivo CR18-8DP.	33
Imagen 29. Área de trabajo.	34
Imagen 30. Instalación de la estructura.	35
Imagen 31. Instalación válvulas solenoides.	35
Imagen 32. Posición sensor de radar.	36
Imagen 33. Conexión tanque TK-100B con el tanque TK-100A y la estructura. ...	37
Imagen 34. Tanque TK-200.	38
Imagen 35. Imagen izquierda bomba centrífuga 1515HHE. Imagen derecha renderizado de la bomba centrífuga.	38
Imagen 36. Conexión bomba centrífuga.	39
Imagen 37. Renderizado final módulo de nivel.	40
Imagen 38. Área de trabajo SolidWorks.	41
Imagen 39. Función ensamblaje de SolidWorks.	41
Imagen 40. Diseño final del módulo de nivel y su renderizado.	42
Imagen 41. Diagrama P&ID del banco de nivel.	43
Imagen 42. Sistema de adquisición de datos.	44

Imagen 43. NI 9474.....	44
Imagen 44. NI cRIO-9421.	45
Imagen 45. Módulo de interfaz serial.	45
Imagen 46. Módulo AM-9898.	46
Imagen 47. Chasis NI cRIO-9075.....	46
Imagen 48. Fuente para compactRIO.	47
Imagen 49. Protección para NI 9927.....	47
Imagen 50. Panel de montaje NI 9904	48
Imagen 51. Cable Ethernet	48
Imagen 52. Accesorio de montaje NI PS-15/16/17	49
Imagen 53. Distribución del gabinete eléctrico y de control.	49

LISTA DE ANEXOS.

Anexo A. Planimetría.

Anexo B. Cotizaciones.

Anexo C. Datasheep de los instrumentos.

Anexo D. Datasheep del sistema de adquisición de datos NI.

GLOSARIO

Dispositivo: cualquier artefacto aparato o instrumento usado para hacer una medición.

GTC: Guía Técnica Colombiana, emanada por el ICONTEC.

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

INM: Instituto Nacional de Metrología de Colombia.

ISO: Organización de Estándares Internacionales.

Metrología: ciencia de las mediciones y aplicaciones.

NTC: Norma Técnica Colombiana, emanada por el ICONTEC

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

Aforar: Calcular la capacidad de una cosa, especialmente de un recipiente.

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

Taguear: Asignar el nombre a un dispositivo.

Monomodular: son tableros que constan de una sola unidad sin posibilidad de ampliación.

NPT: (National Pipe Thread) norma técnica estadounidense que se aplica para la estandarización del roscado de los elementos de conexión empleados en instalaciones hidráulicas.

Cavitación: es la formación de burbujas de aire en el líquido al pasar por una arista afilada.

SolidWorks: es un software para el modelado mecánico en 3D.

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

P&ID: (Piping and Instrumentation diagram) diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías y equipos instalados.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO.

TITULO: ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

AUTORES: DANIEL ENRIQUE RUEDA MEJÍA.

LAURA MARCELA TAVERA VÁSQUEZ.

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.

DIRECTOR: JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA.

El desarrollo de métodos para las mediciones de nivel en líquidos y sólidos en procesos industriales es ampliamente aprovechado en las empresas para cuantificar la cantidad de producto existente, pudiendo ser materia prima, producto semielaborado o terminado. Este proyecto contempla el diseño de un módulo de nivel de líquidos para la medición de dicha variable mediante la aplicación de varias tecnologías, integrando un sistema de adquisición de datos donde se obtendrán las lecturas entregadas por dichos dispositivos y que permitirán evaluar el desempeño de cada uno de ellos, su precisión, exactitud, histéresis y demás cualidades propias de un instrumento de medición, ante variadas condiciones y comportamientos dados en el ensayo para la medición de nivel en un tanque.

Para el desarrollo de la ingeniería de detalle se tuvieron en cuenta aspectos como las dimensiones de la zona de trabajo, tipo de materiales de construcción, el peso, conexiones mecánicas y eléctricas, accesorios e instrumentos de medida que le dieran flexibilidad al ensayo planteado para la medición de nivel. El diseño mecánico se hizo mediante el software “SolidWorks” como herramienta de diseño, permitiendo el modelado de piezas, ensamblaje y extracción de planos teóricos que brindan la información necesaria para la ejecución del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Nivel, Ingeniería de Detalle, modelado, ensamblaje, SolidWorks, renderizado, Endress & Hauser y compactRio.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO.

ABSTRACT OF THESIS PROJECT.

TITLE: SPECIFICATION AND DESIGN OF A TEST BENCH FOR MEASURING LIQUID LEVEL IN THE LABORATORY INSTRUMENTATION OF THE PONTIFICIA BOLIVARIAN UNIVERSITY.

AUTHORS: DANIEL ENRIQUE RUEDA MEJÍA.

LAURA MARCELA TAVERA VÁSQUEZ.

FACULTY: FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING.

DIRECTOR: JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA.

The development of methods for the level mensurations in liquids and solids in industrial processes is broadly taken advantage in the companies to quantify the quantity of existent product, being able to be matter prevails, semimanufactured or finished product. This project contemplates the design of a module of level of liquids for the mensuration of this variable by means of the application of several technologies, integrating a system of acquisition of data where the readings will be obtained surrendered by this devices and that they will allow to evaluate the acting of each one of them, its precision, accuracy, histéresis and other qualities characteristic of a mensuration instrument, before varied conditions and behaviors given in the rehearsal for the level mensuration in a tank.

For the development of the detail engineering they were had in bill aspects like the dimensions of the work area, type of construction materials, the weight, mechanical and electric connections, accessories and measure instruments that gave flexibility to the rehearsal outlined for the level mensuration. The mechanical design was made by means of the software "SolidWorks" as design tool, allowing the modeling of pieces, assembling and extraction of theoretical planes that you/they offer the necessary information for the execution of the project.

KEY WORDS: Level, detailed engineering, modeling, assembly, rendering, SolidWorks, Endress & Hauser y compactRio.

V° B° DIRECTOR WORKING GRADE.

INTRODUCCIÓN.

El concepto de globalización actualmente se presenta especialmente en los sectores de la economía, las comunicaciones y la industria, generando un aumento en la producción de nuevas tecnologías y prestación de servicios, permitiendo que las empresas reconquisten los mercados nacionales e internacionales.

En Colombia casi 100 años después de que el país asumió la necesidad de tecnificar el trabajo artesanal, hoy la industria nacional se especializa de la mano de su capital humano para entregar productos que cumplan con los estándares internacionales.

Todas estas transformaciones que se han realizado hasta el día de hoy han generado la necesidad de crear instituciones que respondan a las exigencias del mercado mundial cumpliendo normas, estándares y el desarrollado de métodos para la medición de nivel en líquidos y sólidos en los procesos industriales, siendo ampliamente aprovechados por las empresas para cuantificar la cantidad de producto existente, pudiendo ser materia prima, producto semielaborado o terminado, con el objeto de cumplir con las disposiciones vigentes de la metrología legal.

Teniendo en cuenta lo anterior será útil diseñar un módulo de nivel que permita medir esta variable, colocando en práctica los conocimientos vistos en la teoría y a su vez permitiendo que los ingenieros ofrezcan un amplio portafolio en todos los sectores desde su generación hasta el usuario final.

1 NIVEL

1.1 DEFINICIÓN

El nivel se define como la distancia que hay entre la altura del líquido en el tanque almacenado sobre una línea de referencia establecida. La medición de nivel es de vital importancia en los procesos industriales por que permiten mantener y controlar el volumen adecuado para evitar que el líquido que se encuentre en un tanque de almacenamiento se derrame.



Imagen 1. Medición de nivel de líquidos. [1]

1.2 UNIDADES DE MEDICIÓN.

Las unidades que están directamente relacionadas con la variable de nivel es la unidad de longitud o de volumen, en la mayoría de los medidores de nivel que existen en la industria, se toma una medida de distancia desde la base del recipiente donde se mide el nivel hasta el setpoint requerido por el usuario, esta medida normalmente se da en Metros (m). Una vez implementada la medición de nivel en una línea de producción, típicamente se maneja la unidad porcentaje de nivel, lo que la hace independiente de la geometría y las dimensiones del tanque.

1.3 TANQUES

Dependiendo de su uso se pueden clasificar en atmosféricos y recipientes a presión, definidos en la Imagen 2.





 <p>Atmosféricos</p>	<p>Recipientes que no están sujetos a presión interna ni externa que vaya más allá de la atmosférica.</p>	 <p>Recipientes cerrados (presión).</p>	<p>Denominados así por que soportan una presión interna o externa superior a la atmosférica, su construcción está regulada por el código ASME(BPVC).**</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden estar elevados o con soporte. - Acero inoxidable o acero al carbono. 		<ul style="list-style-type: none"> - Fabricados de acero al carbono o acero inoxidable. - Calderas, autoclaves, tanques para almacenar aire comprimido, etc.

Imagen 2. Tipos de tanques [2], [57]

**son normas que establecen el diseño y fabricación de calderas y recipientes que se encuentran a presión.



Imagen 3. Sistema de seguridad tanque cerrado. [4]

Los tanques cerrados que se encuentran a presión deben contar con sistemas de seguridad (Ver Imagen 3) en caso de que exista una sobrepresión, para garantizar que no ocurra un accidente, tales sistemas de seguridad pueden ser reguladores

de presión, válvulas de seguridad, sistemas de paro por falta de agua en caso de las calderas, etc. [3].

Según la resolución N° 180196 del ministerio de minas y energía de Colombia, se recomienda hacer una revisión parcial para determinar las condiciones físicas del tanque cada año y se recomienda hacer una revisión total del tanque cada cinco años.

1.4 MEDICIÓN DE NIVEL.

Una técnica importante es la implementación del instrumento patrón de referencia para la medición de nivel y aforo de los tanques como lo es la cinta métrica, esta herramienta son de fácil lectura, resistente a la corrosión y traen un gancho giratorio en la extremidad de la cinta para colgar una plomada. [58]



Imagen 4. Sondas de nivel. [59]

A continuación se observa en la imagen 5 otros instrumentos utilizados en la medición de nivel:

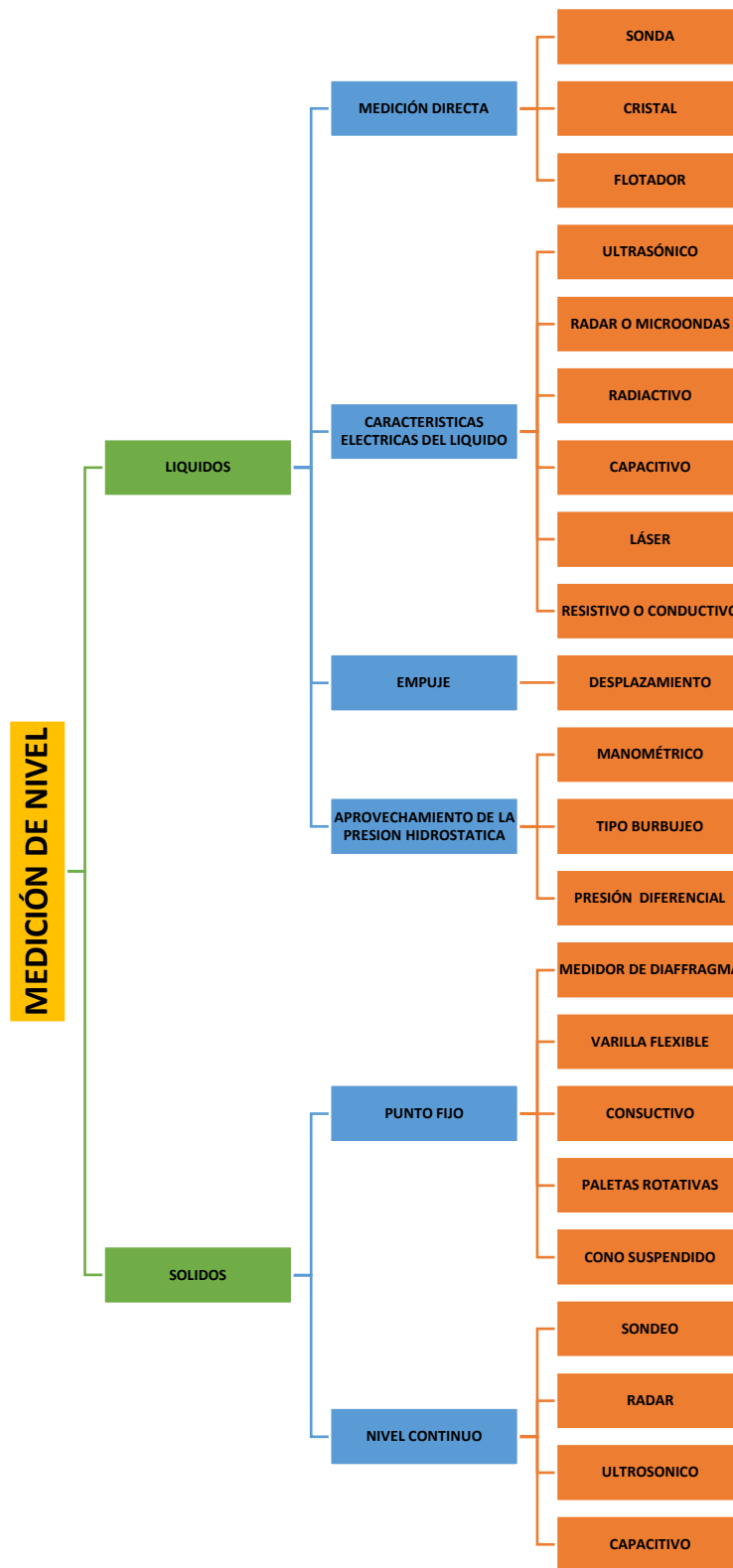


Imagen 5. Mapa conceptual de tecnologías usadas para la medición de nivel.

1.4.1 Medición de Nivel en Líquidos.

1.4.1.1 Medición Directa.

Son aquellos que miden directamente la altura del líquido en base a una línea de referencia los principales instrumentos de medida son:

a) Medidor de Sonda.

Es un instrumento formado por una regla graduada o varilla que se introduce dentro del depósito o tanque. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Otro sistema parecido es el medidor de cinta graduada o plomada que se emplea cuando es difícil que la regla graduada tenga acceso al fondo del tanque.

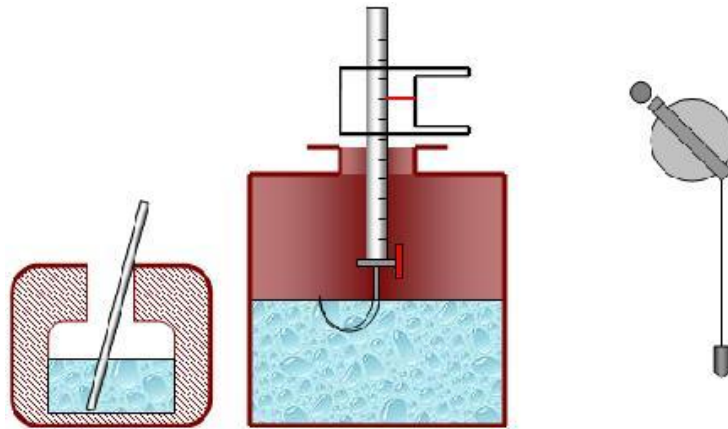


Imagen 6. Tipos de medidores de sonda. [5].

b) Medidor de Cristal.

Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque generalmente, mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido, en caso de ruptura del cristal y una de purga.



Imagen 7. Medidor de cristal. [6]

c) Medidor de Tipo Flotador.

Consiste en un flotador situado en el seno del líquido o conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel, pero este método no es confiable para mediciones en tanques de líquidos espumosos y turbulentos, la conexión de este medidor puede de ser tipo hidráulica, magnético o directa.

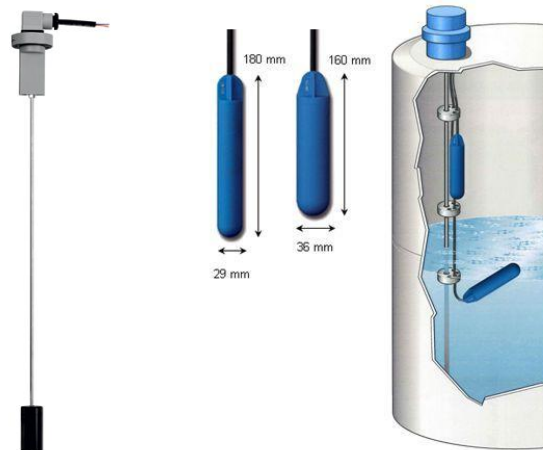


Imagen 8. Sensor de tipo flotador. [7]. [8]

1.4.1.2 Características Eléctricas del Líquido.

a) Medición de Nivel por Ultrasonido.

Es una tecnología ideal para una amplia gama de aplicaciones de líquidos, incluyendo productos químicos, petróleo y agua. El sensor emite pulsos de

sonido de alta frecuencia por segundo, cada pulso se desplaza por el espacio de aire, refleja en la superficie del líquido y vuelve al transductor.

Realizando compensación de la temperatura la electrónica calcula el intervalo de tiempo de la transmisión y retorno de la señal, traduciendo en una distancia de medición basada en la velocidad del sonido.

La tecnología sin contacto de nivel ultrasónico se desempeña muy bien en ambientes agresivo, requiere poco o ningún mantenimiento y exactitud que otros dispositivos que funcionan en contacto con el líquido. [9].



Imagen 9. Sensor de nivel por ultrasonido. [9].

b) Medición de Nivel por Radar.

Los transmisores de nivel tipo radar FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) adoptan una señal de alta frecuencia, que se emite a través de una antena con incremento de frecuencia, que se calcula a partir de la frecuencia de transmisión y la frecuencia recibida es directamente proporcional a la distancia medida (o la superficie del material).

Son dispositivos de medición por contacto adecuados para alta temperatura, alta presión y aplicaciones corrosivas. Son fácil de instalar y libre de

mantenimiento, especialmente recomendado en procesos de alta exigencia de presión.

Estos dispositivos son ideales para la medición de líquidos, polvos y granulados, no se ven afectados por la presión, temperatura, viscosidad, vacío, espuma o polvo. [10]



Imagen 10. Sensor tipo radar. [11]

c) Medición de Nivel de Radiométrica.

En la medición radiométrica, una fuente radiactiva débil emite rayos gamma concentrados. Como fuente se utiliza principalmente un isótopo de Cesio 137 o Cobalto 60. Un detector especial, situado en el lado opuesto del depósito, recibe la radiación. El cristal de centelleo transforma la radiación recibida en destellos de luz, que son contados y evaluados. A medida que los rayos gamma son bloqueados o atenuados por el cambio de producto, el instrumento puede calcular el nivel y determinar límite, así como, la densidad o caudal másico, a partir de la intensidad de la radiación recibida, es decir, a partir del número de destellos de luz.

La ventaja frente a otros principios de medición es que la medición no se ve afectada por presión, temperatura, viscosidad o por las propiedades químicas del producto a medir, incluso en las condiciones de funcionamiento más extremas.

La fuente de rayos gamma y el detector situado en frente constituyen una unidad de medición. La reducción de la radiación es proporcional al nivel, densidad o caudal másico.



Imagen 11. Sensor radiométrico. [12]

- **Ámbitos de Aplicación Especiales**

Actualmente, no hay ninguna alternativa a la medición radiométrica en algunos ámbitos de aplicación. Temperaturas extremas, presiones de proceso elevadas y condiciones de montaje adversas representan un reto, que solo puede superarse con la medición radiométrica sin contacto.

- **Ámbitos de Aplicación**

- Medición de nivel continúa.
- Medición de densidad y concentración.
- Detección de nivel.
- Medición de interface.
- Medición de caudal másico de sólidos en cintas transportadoras.
- Medición de caudal en líquidos.

- **Fuertemente Protegido**

La fuente radiactiva esta soldada en una doble capsula de acero inoxidable y se protege de la forma fiable mediante una cubierta de plomo adicional.

Una carcasa compacta de acero la protege contra daños mecánicos o corrosión por efectos ambientales. En la medición radiométrica el producto a medir no se contamina ni modifica. Simplemente se queda como está. [14].

d) Capacitivo.

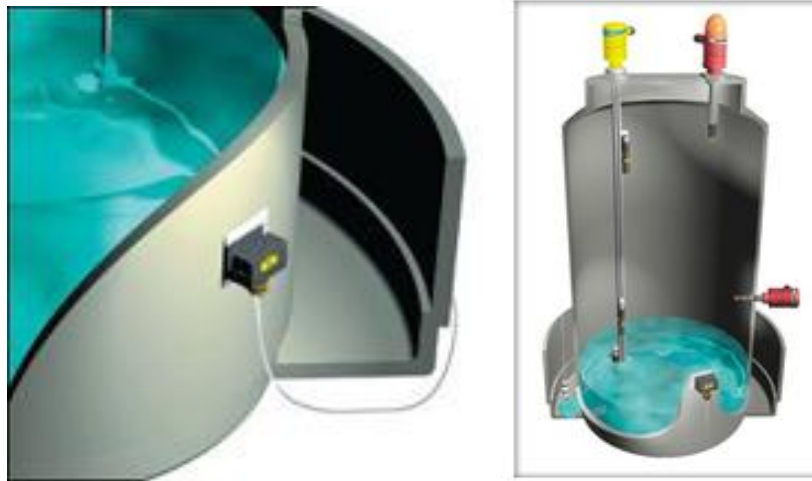


Imagen 12. Sensor capacitivo. [13]

También conocido como sensor de radiofrecuencia (RF), mide la capacidad del condensador formado por un electrodo sumergido en el líquido y en las paredes del tanque. Trabaja en la gama de baja de radiofrecuencia, midiendo la admitancia de un circuito de corriente alterna que varía según el nivel del líquido del tanque. [16].

Cubre un amplio rango de aplicaciones que no se limita a la ingeniería de procesos por medio de una sonda, es posible el control de nivel en líquidos en particular en depósitos pequeños, productos con tendencia a la formación de adherencias y temperaturas muy altas. [16].

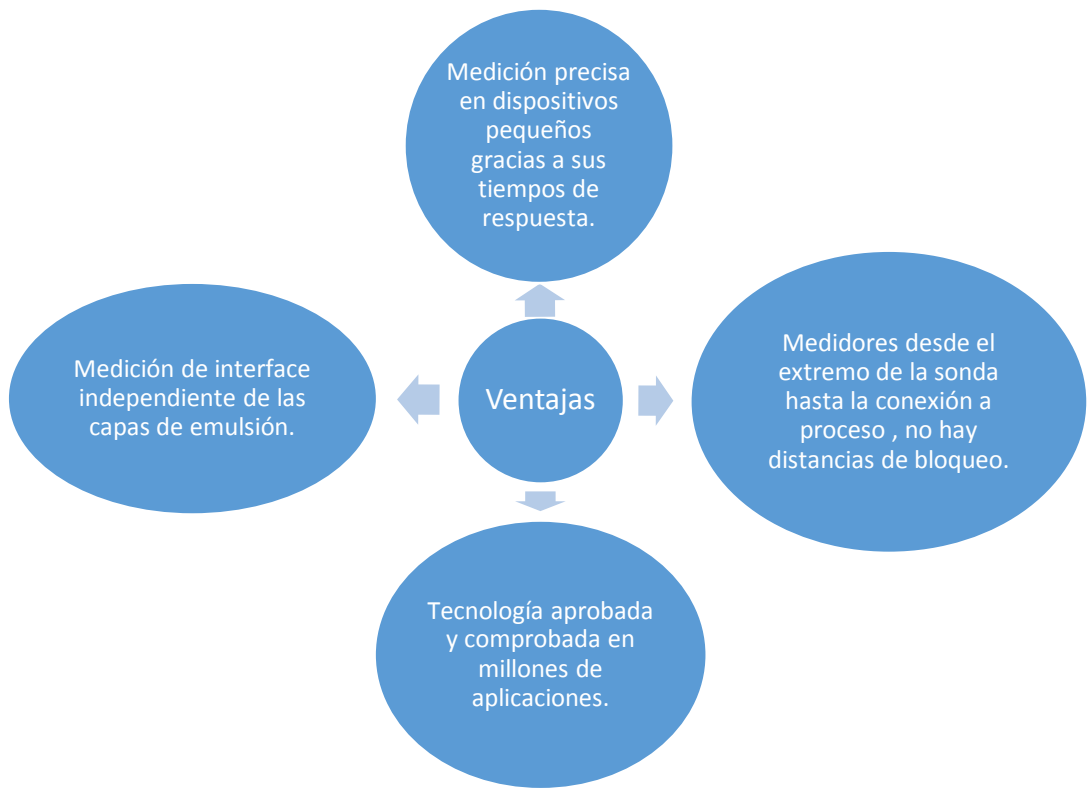


Imagen 13. Ventajas sensor capacitivo. [16]

e) Medición de Nivel por Láser.

Este principio de medición consiste en un rayo láser que es enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del líquido. La señal puede ser por impulsos o por onda continua modulada en alta frecuencia. [15]

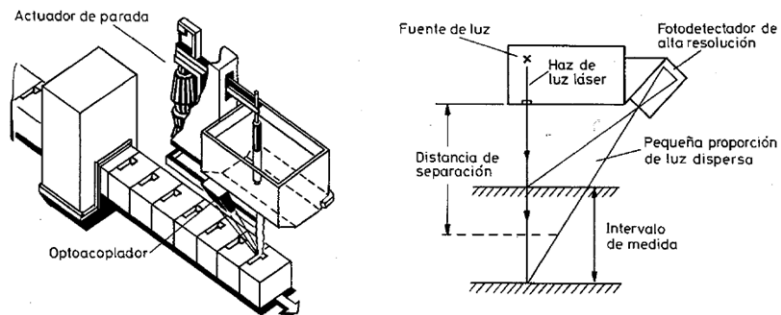


Imagen 14. Medición por láser. [15].

f) Resistivo o Conductivo.

Consiste en varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito eléctrico y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre líquido y su vapor, tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor. La impedancia mínima es del orden de $20\text{M}\Omega/\text{cm}$ y la tensión de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las ondas por causa del fenómeno de electrólisis. Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito electrónico y circula una corriente segura del orden de los 2mA , el instrumento se emplea como alarma de control de nivel alto y bajo. [15].

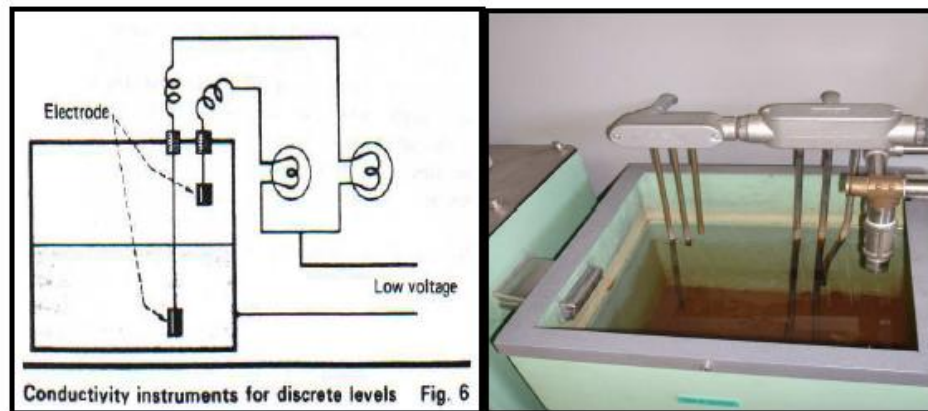


Imagen 15. Sensor resistivo y conductivo. [17].

1.4.1.3 Empuje.

a) Desplazamiento.

Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque; dentro del tubo y unido a su extremo libre, se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al tanque. [15].

El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada, es decir al momento ejercido por el flotador. [15].



Imagen 16. Sensor por desplazamiento. [18].

1.4.1.4 Aprovechamiento de la Presión Hidrostática.

Se basan en la presión que ejerce la columna de líquido. Esta presión dependerá del nivel de producto, de su densidad y de la presión atmosférica.

a) Manómetro

Consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque, donde mide la presión debida a la altura del líquido h , que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento. Así el rango de medida del instrumento corresponderá a:

$$0 - h \cdot \gamma \cdot g \text{ pascal}$$

Ec.1

Donde:

h =altura del líquido en m.

γ = Densidad del líquido Kg/m³

g = 9.8 m/s² [19].

b) Tipo Burbujeo.

Emplea un tubo sumergido en el líquido por donde se hace burbujear aire mediante un rotámetro, con un regulador de caudal incorporado, la presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por el líquido. [20].

Una de las ventajas es que el medidor no tiene contacto con el líquido de elementos de medida (útil para líquidos corrosivos), no es recomendable para líquidos viscosos. [20]

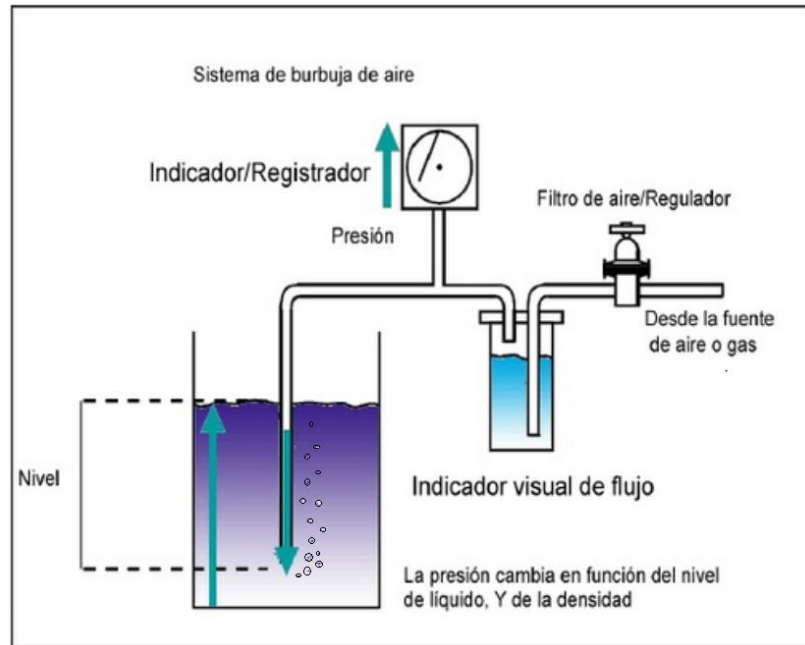


Imagen 17. Conexión medidor de tipo burbujeo. [22].

c) Presión Diferencial.

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque.

En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico.

$$P = H\gamma g$$

Ec. 2

P = presión

H = altura de líquido sobre el instrumento

γ = densidad del líquido

g = 9,8 m/s²

A continuación se muestra en la tabla 1 las características de cada uno de los instrumentos de medida:

Instrumento	Campo de medida	Presión % escala	Presión máxima, bar	Temperatura máxima del fluido en °C	Desventajas	Ventajas
Sonda	Limitado	0.5 mm	atm	60	Manual, sin olas. Tanques abiertos	Barato, preciso
Cristal	"	"	150	200	Sin transmisión	Seguro, preciso
Flotador	0 - 10 m	± 1 - 2%	400	250	Posible agarrotamiento	Simple, independiente, naturaleza líquida
Manométrico	altura tanque	±1%	atm	60	Tanques abiertos, fluidos limpios	Barato
Membrana	0 - 25 m	±1%	"	60	Tanques abiertos	Barato
Burbujeo	altura tanque	±1%	400	200	Mantenimiento, contaminación líquido	Barato, versátil
Presión diferencial	0.3 m	± 0.15% - ±0.5%	150	200	Posible agarrotamiento	Interface líquido
Desplazamiento	0 - 25 m	±0.5%	100	170	Expuesto a corrosión	Fácil limpieza, robusto, interfases
Conductivo	Ilimitado	-	80	200	Líquido conductor	Versátil
Capacitivo	0.6 m	±1%	80 - 250	200 - 400	Recubrimiento electrodo	Resistencia corrosión
Ultrasonido	0.3 m	±1%	400	200	Sensible a densidad	Todo tipo de tanques y líquidos
Radiación	0 - 25 m	± 0.15% - ±2%	-	150	Fuente radiactiva	Todo tipo de tanques y líquidos y sin contacto líquido
Laser	0 - 20 m	± 0.15% - ±2%	-	1500	Laser	Todo tipo de tanques y líquidos y sin contacto líquido

Tabla 1. Resumen diferentes tecnologías para medición de nivel en líquidos. [23].

1.4.2 Medición de Nivel en Sólidos.

Para la medición de nivel en sólidos se utilizan métodos de medición muy similares a las de medición de nivel en líquidos, con algunas variaciones en la implementación del instrumento como la posición del medidor debido al llenado de tanque de almacenamiento.



Imagen 18. Diferentes tecnologías para medir nivel en sólidos. [24]

A continuación observaremos (tabla 2) un resumen de los métodos de medición para nivel de sólidos.

Tipo	Punto fijo		Continuo	Precision en % de toda la escala	temperatura maxima de servicio °C	Tanques		Desventajas	Ventajas
	Alto	Bajo				Abiertos	Cerrados		
Diafragma	Si	Si	No	50 mm	60	Si	Si	No admite materiales granulares > 80 mm, tanques a baja presion	Bajo coste, sensible a materiales de variada densidad
Cono suspendido	Si	Si	No	50 mm	60	Si	No	Debe estar protegido	Bajo coste
Varilla flexible	Si	No	No	25 mm	300	Si	No	Rele retardo, solo nivel alto	Muy sensible
Conductivo	Si	Si	No	25 mm	300	Si	Si	Conductividad materiales	Tanques a presion
Paletas rotativas	Si	Si	No	25 mm	60	Si	No	Tanques abiertos o a baja presion	Materiales diversos, a prueba de explosion
Sondeo electronico	-	-	Si	± 1%	60	Si	No	Resistencia mecanica media	Sencillo
Bascula	-	-	Si	± 0.5 - 1%	900	Si	Si	Coste elevado	Preciso y seguro, alta presion y temperatura
Capacitivo	-	-	Si	15 mm	150	Si	Si	Materiales aislantes, calibracion individual, adherencia a productos	Bajo coste
Presion diferencial	-	-	Si	-	300	Si	Si	Coste medio, posible obstrucion orificio purga	Respuesta rapida
Ultrasonidos	Si	Si	Si	± 0.5 - 1%	150	Si	Si	Coste medio	Materiales opacos y transparentes, a prueba de explosion
Radiacion	Si	Si	Si	± 0.5 - 1%	1300	Si	Si	Coste elevado, supervision seguridad, calibracion individual, varias fuentes.	Tanques sin aberturas, productos corrosivos, altas presiones y temperaturas

Tabla 2. Resumen diferentes tecnologías para la medición de nivel en sólidos. [25].

2 NORMAS, ESTÁNDARES Y METROLOGÍA.

En Colombia existe poca normatividad metrológica inherente a la variable nivel, aun cuando el nivel es una longitud, y esta es una variable que si cuenta con referentes nacionales y normatividad en el tema. Adicionalmente, es importante resaltar que lo inherente a tanques, también existen normativas técnicas y legales para sus funcionalidades y mantenimiento, como salvaguardas de los procesos de transferencia de custodia en las empresas de producción.

2.1 NORMA

Una norma técnica es un documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos o servicios. [26].

Las normas resultan fundamentales para programar los procesos de producción. Se crean con el consenso de todas las partes interesadas e involucradas en una actividad como:



Imagen 19. Partes involucradas para programar procesos de producción. [26].

Las normas deben ser aprobadas por organismos de normalización reconocidos internacional, regional o nacionalmente, entre ellos encontramos:

ISO: Internacional Organization for Standarization. [26].

2.1.1 Tipos de Normas.

- **DE JURE:** provienen de una organización acreditada que certifica su especificación, sin que dicha norma sea de obligado cumplimiento. [27].
- **DE FACTO:** Son aquellos que tienen alta penetración y aceptación en mercado pero aun no son oficiales, en otras palabras se generan cuando la especificación se adopta por un grupo mayoritario de individuos sin haber pasado por un proceso formal de acreditación. [28].

2.2 NORMALIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN.

Normalización es la actividad que establece disposiciones para uso común y repetido, encaminadas al logro del grado óptimo de orden con respecto a problemas reales o potenciales, en un contexto dado. En particular, la actividad consta de los procesos de formulación, publicación e implementación de normas. [29].

2.2.1 Normas Recomendadas en el Banco de Nivel de Líquidos.

2.2.1.1 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.

La norma técnica colombiana NTC-ISO/IEC 17025, hace referencia al creciente uso de los sistemas de gestión, debido al aumento de la necesidad de asegurar los laboratorios que forman parte de organizaciones mayores o que ofrecen servicios, puedan funcionar de acuerdo a un sistema de gestión de calidad que se considere que cumple la norma ISO 9001, ya que ambas normas están relacionadas. [27]

2.2.1.2 Acoplamientos de Tubos de Fijación de Acero Inoxidable para la Industria.

La norma ISO 2852 especifica las dimensiones, tolerancias, rugosidad de la superficie, materiales, montaje y requisitos de higiene para revestimientos y juntas, que están destinados a ser utilizados en tubos de acero inoxidable.

2.2.1.3 Tuberías y Conexiones Bridadas.

La norma ANSI B16.5 incluye las conexiones bridadas estándar, especificando los rangos de presión, juntas, temperatura, materiales, dimensiones, tolerancias, marcado, pruebas y métodos de designación de las aberturas para las tuberías y accesorios.

2.2.1.4 Instrumentos de Medición, Instrumentos Rígidos, Reglas Graduadas para Medir Longitud de uso Comercial.

La norma NOM 040-SCFI-1994 establece las especificaciones, métodos de prueba y de verificación aplicables a las reglas graduadas, con alcance máximo de medición de 1 m, 1.5 m y 2 m, para uso comercial.

2.2.1.5 Identificación de Símbolos de Instrumentación.

El propósito de la norma ANSI/ISA s5.1-2009 es establecer un medio uniforme para designar los instrumentos y sistemas de instrumentación utilizados en la medición y control. Con el fin, de designar un sistema que incluye símbolos y un código de identificación.

2.2.2 Organismos Internacionales de Normalización y Estandarización. [35]

- **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- **ISO:** Organización Internacional para la Estandarización.
- **IEC:** International Electrotechnical Commission.
- **ITU:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- **IATA:** International Air Transport Association.
- **Codex Alimentarius.**

2.2.3 Organismos Regionales de Normalización y Estandarización. [41]

- **CEN:** Comité Europeo de Normalización Electrónica.
- **AMN:** Asociación Mercosur de Normalización.
- **APEC:** Asia Pacific Economic Cooperation.
- **CENELEC:** Comité Europeo de Normalización Electrónica
- **COPANT:** Comisión Panamericana de Normas Técnicas.

- **CROSQ:** Caribbean Community Regional Organization for Standards and Quality.
- **RAN:** Red Andina de Normalización.

2.2.4 Organizaciones Privadas de Normalización y Estandarización [41].

- **ACI:** American Concrete Institute.
- **API:** American Petroleum Institute.
- **ASCE:** American Society of Civil Engineering.
- **ASME:** American Society of Mechanical Engineers.
- **ASTM:** ASTM International.
- **HL7:** Health Level Seven Inc.
- **IAPMO:** International Association of Plumbing and Mechanical Officials.
- **NEMA:** National Electrical Manufacturers Association.
- **NFPA:** National Fire Protection Association.
- **NSF:** NSF International.
- **UL:** Underwriters Laboratories Inc.

2.2.5 Organismo Nacional de Normalización y Estandarización.

2.2.5.1 ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Es una organización con amplia cobertura internacional sin ánimo de lucro, creado en 1963, con el objetivo de responder a las necesidades de los diferentes sectores económicos, a través de servicios que contribuyen al desarrollo y competitividad de las organizaciones, mediante la confianza que se genera en sus productos y servicios. [30].

2.3 ACREDITACIÓN

La acreditación es un servicio de atestación y declaración de tercera parte sobre la competencia técnica y la imparcialidad de los organismos que evalúan la conformidad de productos y procesos con normas técnicas de mercado o con requisitos técnicos de exigencia legal. [31].

La actividad de acreditación se realiza en conformidad con la norma NTC ISO/IEC 17011, aplicable al organismo de acreditación, y aplicando las normas técnicas de exigencia y aceptación global para cada una de las modalidades de organismos de evaluación de la conformidad, como se indica a continuación. [31]

- Referentes / Reglas del Servicio de Acreditación

1. **Organismos de Inspección:** ISO/IEC 17020:1998
2. **Laboratorios de ensayo o prueba:** ISO/IEC 17025:2005
3. **Laboratorios de calibración:** ISO/IEC 17025:2005
4. **Laboratorios médicos o clínicos:** ISO 15189:2007
5. **Organismos de certificación de personas:** ISO/IEC 17024:2003
6. **Organismos de certificación de producto:** ISO/IEC Guide 65:1996
7. **Organismos de certificación de sistemas de gestión:** ISO/IEC 17021:2011.

2.3.1 Organismos Internacionales de Acreditación. [35]

- **IAB:** International Accreditation Board
- **IAS:** International Accreditation Service
- **EA:** European co-operation for Accreditation
- **A2LA:** American Association for Laboratory Accreditation
- **PJLA:** Perry Johnson Laboratory Accreditation
- **ACCAB:** Accreditation Commission for Conformity Assessment Bodies
- **IAA:** International Accreditation Agency
- **ACI:** Accredited Certification International Limited
- **AIAO:** American International Accreditation Organization
- **ASCB:** Accreditation Service for Certifying Bodies

2.3.2 Organismo Nacional de Acreditación.

2.3.2.1 ONAC. Organismo Nacional de Acreditación de Colombia.

ONAC es una corporación sin ánimo de lucro, de naturaleza y participación mixta, regida por el derecho privado, constituida en 2007 de acuerdo con las normas del Código Civil y las normas de ciencia y tecnología, bajo la modalidad de asociación entre el estado colombiano y los particulares. [32]

El ONAC tiene como objeto principal acreditar la competencia técnica de Organismos de Evaluación de la Conformidad con las normas y criterios señalados en estos Estatutos y desempeñar las funciones de Organismo Nacional de Acreditación de Colombia conforme con la designación contenida en el artículo 3 del Decreto 4738 de 2008 y las demás normas que la modifiquen, sustituyan o complementen. [32]

Las funciones principales del ONAC como organismo nacional de acreditación, son:

- Realizar actividades de acreditación de los organismos de evaluación de la conformidad de acuerdo con la normatividad internacional y nacional aplicable.
- Representar los intereses del país ante organismos regionales e internacionales relacionados con actividades de acreditación y participar en foros nacionales, regionales e internacionales de interés.

Mantener un registro público actualizado de los organismos acreditados, cuyo contenido y condiciones serán definidos de acuerdo con el reglamento que para el efecto se expida. [32].

2.4 CERTIFICACIÓN.

La certificación, es el procedimiento mediante el cual una tercera parte diferente e independiente del productor y el comprador, asegura por escrito que un producto, un proceso o un servicio, cumple los requisitos especificados, convirtiéndose en la actividad más valiosa en las transacciones comerciales nacionales e internacionales. Es un elemento insustituible, para generar confianza en las relaciones cliente proveedor. [27].

Un sistema de certificación es aquel que tiene sus propias reglas, procedimientos y forma de administración para llevar a cabo una certificación de conformidad. Este sistema, debe de ser objetivo, fiable, aceptado por todas las partes interesadas, eficaz, operativo, y estar administrado de manera imparcial y honesta. Su objetivo primario y esencial, es proporcionar los criterios que aseguren al comprador que el producto que adquiere satisface los requisitos pactados. [33]

Todo sistema de certificación debe contar con los siguientes elementos.

- Existencia de Normas y/o Reglamentos.
- Existencia de Laboratorios Acreditados.
- Existencia de un Organismo de Certificación Acreditado. [33].

2.5 METROLOGÍA

Se define como la ciencia de las mediciones. La metrología es una herramienta que apoya la gestión de calidad y competitividad de la industria, ya que permite

suministrar evidencia objetiva de la calidad de un proceso o de un producto; debido a que en muchos casos, la calidad de éstos depende de mediciones confiables, que son suministradas por equipos de medición, los cuales deben ser precisos. Para asegurar esta precisión en los equipos y tener la certeza de que las mediciones efectuadas son exactas, estos instrumentos deben ser calibrados, es decir, comparados contra patrones nacionales o internacionales reconocidos. [60]

La importancia de la metrología radica en que tanto empresarios como consumidores necesitan saber con precisión, cuál es el contenido exacto de un determinado producto. [60]

En este sentido, las empresas deben contar con buenos instrumentos de medición (balanzas, termómetros, reglas y pesas, entre otros) para obtener medidas confiables y garantizar los resultados en el proceso de fabricación de un producto. [60]

2.5.1 Metrología Legal.

La metrología legal consiste en ejercer el control metrológico sobre los instrumentos y métodos de medida para velar por su exactitud, contribuyendo a la protección de los consumidores, del medio ambiente y la prevención de fraudes. [34]

La metrología legal es la parte de la metrología que se ejerce por el estado en las mediciones de interés general, que tienen como fin asegurar la exactitud de dichas mediciones. [34]

2.5.2 Metrología Industrial.

Comprende todas las actividades metrológicas que requiere la industria para cumplir con calibraciones, trazabilidad, servicios y aseguramiento metrológico como soporte de sus sistemas de gestión de la calidad. [34]

2.5.3 Metrología Científica.

Encargada de la investigación de unidades de medición, patrones, instrumentos, métodos y procedimientos. Investiga métodos y procedimientos para medir y mejorar las mediciones. [34]

En la imagen 20, se muestran los entes rectores nacionales e internacionales que supervisan cada una de las ramas que componen la metrología. [34]



Imagen 20. Entes rectores nacionales e internacionales [61], [62], [63], [64], [65], [66].

3 INGENIERÍA DE DETALLE.

En este capítulo se planteara la ingeniería de detalle de un banco para medir la variable nivel, como las especificaciones del diseño, zona de trabajo aplicando la norma ISO 17025 como requisito para los laboratorios de ensayo y calibración, tecnologías para la medición de nivel que se utilizaran en el módulo (sensores capacitivos, de presión hidrostática y de radar); el diseño del módulo donde se explica detalladamente los diferentes componentes que conforman la estructura, así mismo se plantea el uso de un sistema de adquisición de datos para recopilar la información que entregan los diferentes instrumentos de medición que posee el modulo (entradas y salidas digitales, interfaz serial RS485 y protocolo HART)..

3.1 ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO.

El objetivo de la presente ingeniería de detalle es diseñar un módulo de nivel de líquidos que tenga la capacidad de realizar pruebas de calibración y ensayo, mediante la aplicación de varias tecnologías industriales usadas en la medición de nivel; así mismo integrando un sistema de adquisición de datos del cual se puedan obtener las lecturas entregadas por los dispositivos que los procesa por medio de controladores seleccionados para obtener un reporte, del control y visualización de los datos obtenidos mediante la medición.

Para la construcción del banco de nivel de líquidos, se tienen en cuenta características para el diseño, una de ellas es la clasificación de los instrumentos que tomaran las lecturas de la medición en los tanques, los cuales se sugiere que posean pantallas LCD integradas al instrumento como se observa en la Imagen 21, en donde se podrán tomar las diferentes lecturas que arroje el sensor para procesarlas y analizarlas y hacer los ajustes que sean necesarios al sensor.



Imagen 21. Pantalla LCD del instrumento.

También se desea realizar prácticas con los diferentes instrumentos de medición, al mismo tiempo empleando las condiciones y características de operación para realizar las calibraciones o ajustes a los medidores que están siendo utilizados respecto a otros patrones, para brindar una trazabilidad de dichas medidas.

Dentro de las especificaciones generales de diseño definidas en la proyección del laboratorio durante la fase de construcción del edificio K se tienen:

- Instrumentación de nivel de tipo industrial.
- Tanques en acero inoxidable de alta capacidad volumétrica
- Tipo de Fluido: Agua en Recirculación.
- Perturbaciones externas: Aire comprimido controlado.
- Temperatura de Fluido: Ambiente Controlado.
- Señales de Control: 4 a 20mA en configuración Bus HART.
- Rata Controlable de Llenado de Tanques.
- Sistema de Adquisición de Datos
- Conexiones mecánicas y eléctricas estandarizadas y comerciales.
- Flexibilidad en condiciones de medición para evaluación de tecnologías

3.2 ZONA DE TRABAJO.

Las condiciones de trabajo en donde se realizaran los ensayos de medición y calibración de los diferentes instrumentos del módulo deberán basarse en la norma ISO 17025, en la que hace referencia a las condiciones ambientales que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la construcción de un laboratorio diseñado para la medición y calibración de instrumentos, de esta forma se asegura que las mediciones que se realicen por dichos instrumentos no serán afectados por factores externos y así poder tener un alto nivel de confiabilidad. [35]

Para lograr lo antes mencionado se debe establecer, implementar y mantener un sistema de gestión que dependen de las actividades que se realicen en el laboratorio, de igual forma se debe contar con la documentación de sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones para realizar los ensayos y calibraciones. Se hace necesario llevar una bitácora donde quede registradas las actividades, el cual debe ser de fácil acceso para que le permita al personal de mantenimiento realizar los arreglos necesarios. Estos documentos solo pueden ser utilizados por personal autorizado. [35]

La confiabilidad de una medición y los resultados en los procedimientos pueden verse afectados por diferentes factores:

- El primer factor que hay que tener en cuenta en los resultados es el error humano, por tal razón es necesario contar con personal debidamente entrenado en el funcionamiento de los equipos y conocimientos amplios en las normas y recomendaciones que posean los diferentes instrumentos. Además el personal debe tener conocimientos de las variables que pueden influir de manera directa, con el objetivo de que cada ensayo culmine de manera exitosa. [35]
- El segundo factor que hay que tener en cuenta en los resultados es el estado físico de las instalaciones del laboratorio y las condiciones ambientales que posea. Por tal motivo el laboratorio tendrá que contar unas condiciones específicas para que se logre el correcto funcionamiento de los dispositivos que se encuentren en el laboratorio. Se hace necesario llevar un control de las condiciones ambientales para determinar cómo afectan los resultados de los procedimientos que se realizan en el laboratorio, en caso de que se detecte que las condiciones ambientales interfieran con los resultados del ensayo, se debe interrumpir la práctica. Es necesario crear separaciones para las diferentes áreas del trabajo para evitar la contaminación cruzada, además el laboratorio debe encontrarse ordenado y limpio. [35]

Es de vital importancia que los procedimientos se realicen de la manera que se recomienda, en la cual estará plasmada las recomendaciones para realizar la manipulación, muestreo, transporte, almacenamiento, además de contar con los manuales de funcionamiento de cada uno de los equipos. [35]

Para el sistema de adquisición de datos se debe contar con toda la documentación necesaria para su correcta manipulación, se debe asegurar la protección de los datos adquiridos en el procedimiento, además es necesario realizar mantenimientos preventivos periódicamente para garantizar su correcto funcionamiento. [35]

3.3 TECNOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE NIVEL.

Al observar la necesidad que tiene las empresas de encontrar profesionales que estén capacitados en el campo de la instrumentación industrial y manejo de variables, se hizo una selección de sensores de nivel para los cuales se tuvieron en cuenta diferentes factores como:

- El proveedor cuente con un centro de servicio técnico en la región.
- Facilidad con que el profesional pueda encontrar este tipo de instrumentos en su ámbito laboral.

Por estos motivos se escogieron una serie de dispositivos que cumplieran con las normas que se emplearan en el laboratorio, además deberán estar fabricados con materiales resistentes, ya que van a ser manipulados constantemente.

3.3.1 Transmisor Levelflex FMP52.

Se seleccionó el transmisor indicador de radar de onda guiada Levelflex 52 (Imagen 22), estos transmisores son altamente utilizados para la medición de líquidos ya que su medición no se ve afectada por el cambio de temperatura, por vapores de gases que se puedan encontrar dentro del tanque, ni por espumas.



Imagen 22. Imagen izquierda Transmisor levelflex-FMP52. [36], Imagen derecha renderizado del transmisor.

Este transmisor trabaja con impulsos de radar de alta frecuencia que viaja a lo largo de una sonda. Cuando un impulso impacta sobre la superficie del producto, se produce un cambio en la impedancia y se refleja parte del impulso emitido. El tiempo que transcurre entre el lanzamiento del impulso y su posterior recepción es medido y analizado, constituyendo una medición directa de la distancia que hay entre la conexión a proceso y la superficie del producto. [39]

Además de las especificaciones básicas que debe tener este transmisor (protocolo de comunicación HART y pantalla LCD), cuenta con una conexión eléctrica de NPT $\frac{1}{2}$, posee una sonda por donde viaja el impulso de 16 mm de diámetro y 900 mm de largo, también posee una conexión a proceso tipo TRI-CLAMP 1 $\frac{1}{2}$ pulgadas.

3.3.2 Transmisor Micropilot FMR 51.

El transmisor FMR51 (imagen 23), también trabaja con impulsos de radar de alta frecuencia al igual que el transmisor FMP52, con la única diferencia de que no posee una sonda por la cual viaja la señal, el principio de medición consiste en emitir impulsos desde la antena para que se reflejen en la superficie del producto, el tiempo de retorno de los impulsos reflejados es directamente proporcional al trayecto que han recorrido. [39]

Este transmisor es altamente utilizado en la industria ya que ofrece una medición no invasiva asegurando el bienestar del operario, tampoco se ve afectado por los cambios climáticos, ni por las presiones de vapor que se puedan encontrar dentro del contenedor del producto al que se le está haciendo la medición ya que tiene una gran resistencia hasta 2320 psi.



Imagen 23. Imagen derecha Transmisor Micropilot FMR 51. [37], Imagen izquierda renderizado del transmisor.

Además de las especificaciones básicas que debe tener este transmisor (protocolo de comunicación HART y pantalla LCD) cuenta con una conexión eléctrica de NPT $\frac{1}{2}$, posee una antena tipo HORN de 40mm, también posee una conexión a proceso tipo TRI-CLAMP de 2 pulgadas.

A continuación se muestra un cuadro comparativo (Imagen 24) donde se muestran las principales características del sensor de radar y del sensor de radar de onda guiada.



		
Funcionamiento puede verse afectado por	<ul style="list-style-type: none"> ■ Espuma ■ Turbulencias extremas, superficie hirviendo ■ Adherencia conductiva sobre conexión de antena ■ Adherencia importante 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Formación extrema de adherencia
Precisión puede verse afectada por	<ul style="list-style-type: none"> ■ Efectos de pared ■ Reflexiones / señales interferentes (obstáculos en el haz de señal.) ■ Cambios extremos en la presión p. ej., 1,2% a Δ 50 bar/725 psi (+20 °C/+68 °F, aire) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reflexiones interferentes por obstáculos cerca de la sonda (no con sonda coaxial) ■ Cambios extremos en la presión p. ej., 1,2% a Δ 50 bar/725 psi (+20 °C/+68 °F, aire)
Límites de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> ■ Medición hasta 0% abs.¹ ■ Constante dieléctrica < 1,4 ■ Instalación lateral o desde abajo 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Medición hasta 0% abs.³ ■ Constante dieléctrica < 1,4 ■ Tensiones mecánicas elevadas en aplicaciones con agitador ■ Instalación lateral o desde abajo ■ Formación extrema de espumas

Imagen 24. Sensor de Radar Vs Sensor de Radar de Onda Guiada. [16]

3.3.3 Transmisor Liquicap M FMI51.



Imagen 25. Imagen izquierda Transmisor Liquicap M FMI 51. [38], Imagen derecha renderizado del transmisor.

El transmisor FMI51 (imagen 25), es capaz de medir la variable nivel por medio del principio de medición capacitivo, que se basa en el cambio de capacidad que presenta un condensador, que se forma entre la sonda del sensor y el líquido que se está midiendo, cuya capacidad depende de la cantidad de líquido que se encuentre en el tanque; a medida que el tanque se vacía, la capacitancia también desciende y mientras el tanque va llenándose, la capacitancia va aumentando (imagen 26). [39]

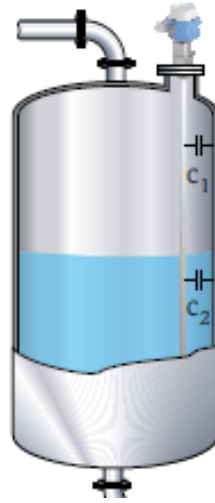


Imagen 26. Principio de medición de un sensor capacitivo. [39]

El sensor es altamente valorado en la industria ya que tiene una medición bastante exacta desde el extremo de la sonda hasta la conexión a proceso, sus tiempos de respuesta son muy rápidos, y no se ve afectado por la densidad, turbulencias del producto ni por la presión de vapor.

Además de las especificaciones básicas que debe tener este transmisor (protocolo de comunicación HART y pantalla LCD) cuenta con una conexión eléctrica de NPT $\frac{1}{2}$, una sonda por la cual se crea el condensador de 900mm de largo y 10mm de diámetro y una conexión a proceso TRI-CLAMP de 1 $\frac{1}{2}$ pulgadas.

3.3.4 Transmisor Deltapilot M FMB50.

El transmisor FMB50 (Imagen 27), es sensor que utiliza como principio de medición la presión hidrostática que consiste en la determinación de la presión hidrostática debida a la altura de la columna del líquido. La presión obtenida constituye una medida directa del nivel. [39]

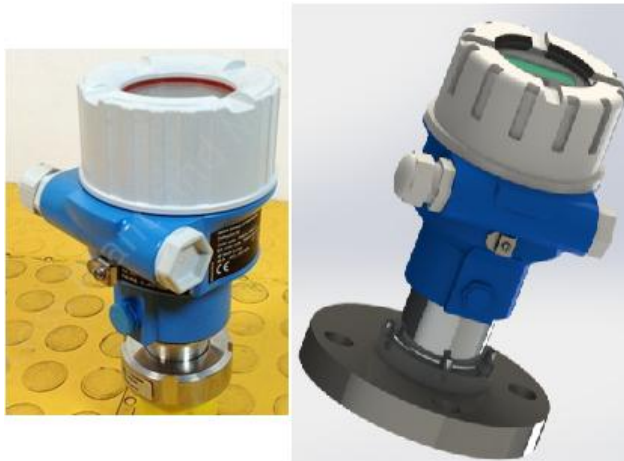


Imagen 27. Imagen izquierda Transmisor Deltapilot M FMB 50. [40], Imagen derecha renderizado del transmisor.

Este instrumento de medición es muy buscado por las empresas ya que es insensible a constantes dieléctricas, espumas en el producto, turbulencias y obstáculos que puedan haber entro del tanque contenedor.

Además de las especificaciones básicas que debe tener este transmisor (protocolo de comunicación HART y pantalla LCD), cuenta con una conexión eléctrica de NPT ½, una conexión a proceso FLANGE de 1 ½ pulgadas.

3.3.5 Sensor Capacitivo AUTONICS CR18-8DP.

Este sensor capacitivo posee un cuerpo de material plástico, tiene un tamaño de 18 mm de diámetro y 55 mm de largo, cuenta con un rango máximo de medición de 8 mm ajustables, como se observa en la imagen 28, gracias a su tamaño pequeño y material es altamente utilizado en la industria ya que presenta una fácil instalación y es resistente a los cambios climáticos.

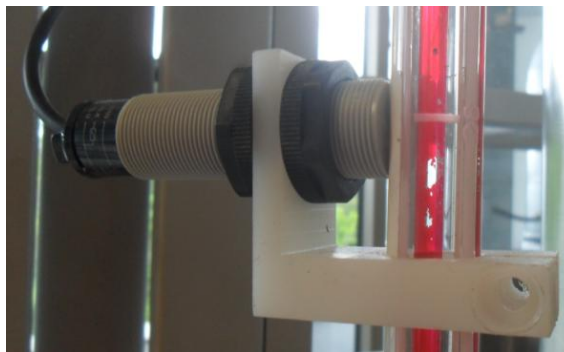


Imagen 28. Sensor capacitivo CR18-8DP.

3.4 DISEÑO DEL MÓDULO Y CIRCUITO BÁSICO DE ENSAYO.

Para el diseño del módulo es necesario conocer las medidas exactas del lugar de trabajo donde va a ser instalado dicho módulo que para el caso es un mesón (Imagen 29) con superficie de granito y que está ubicado en el laboratorio de instrumentación, cuyas medidas son 2.33 m de largo, 0.619 m y posee un área de trabajo de 1.42 m²

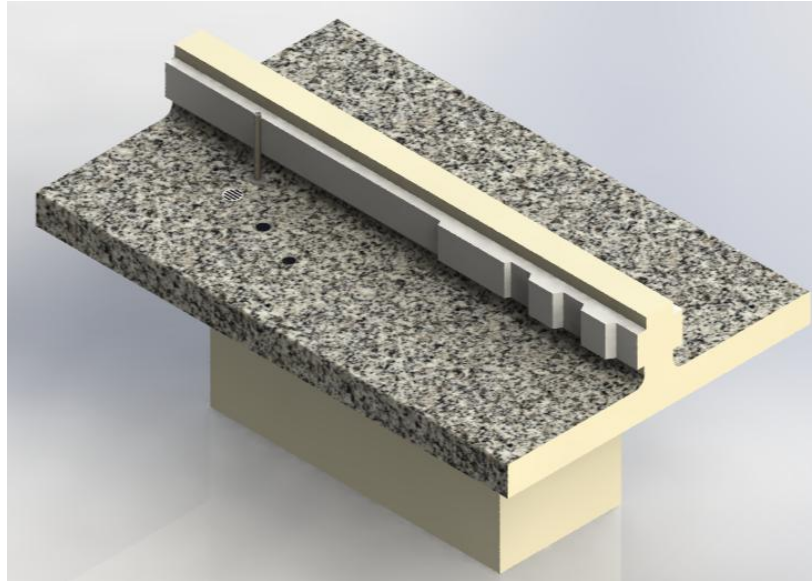


Imagen 29. Área de trabajo

Una vez escogido el sitio donde se instalara el módulo, se procedió a realizar el diseño de la estructura sobre la cual irán instalados los diferentes componentes que harán parte del diseño, entre ellas la estructura que soportará un peso considerablemente alto, debido a la instalación de dos tanques que contendrán un gran volumen de líquido, que para este diseño será agua, y un tercer tanque de poco volumen, además de esto se instalaran los diferentes sensores que se requiere para este módulo, fue necesario escoger un material lo suficientemente fuerte para que cumpliera con las condiciones de peso, para el diseño se escogió acero al carbón, protegido por una cubierta de pintura electroestática para evitar la corrosión, además la estructura va a ser empotrada tanto a la superficie del mesón como al techo del laboratorio de instrumentación como se muestra en la imagen 30.



Imagen 30. Instalación de la estructura.

El diseño posee tres tanques hechos en acero inoxidable, con diferentes volúmenes, los cuales son tagueados como TK-100A, TK-100B, y TK-200. Para la conexión a proceso de los tres tanque fue necesario seguir las recomendaciones que hacen los diferentes fabricantes de los instrumentos que se utilizan en el módulo, los cuales siguen una serie de normas como: ISO 2852 y ANSI B16.5. Los tanques TK-100A Y TK-200 tienen su entrada y salida por la parte inferior, siendo controladas por un juego de válvulas solenoides marca KTS ZCT2125NSP que posee su cuerpo en acero inoxidable (Imagen 31), la alimentación del actuador es de 100Vac monofásica, controlado por un relé y su estado es normalmente cerrado, permitiendo seleccionar una configuración de llenado o vaciado para cada tanque.



Imagen 31. Instalación válvulas solenoides.

El tanque TK100A posee una capacidad máxima aproximada de 269 litros, en la parte superior va instalado un par de rieles, sobre los cuales se instalara un sensor de tipo radar, por medio de una conexión de tipo tri-clamp de 2", permitiendo que el instrumento pueda desplazarse de un extremo al otro del tanque de manera horizontal (Imagen 32), teniendo la posibilidad de realizar varias mediciones en diferentes posiciones del instrumento de medición, con respecto a las paredes verticales del tanque y así detallar el error que se produce en el resultado dependiendo del lugar en el que se encuentra, también posee una conexión con una mirilla hecha en vidrio, sobre la cual irán instalados dos sensores capacitivos on/off, que determinarán el punto máximo y el mínimo del tanque para evitar que se rebose o quede totalmente desocupado y la bomba sufra daños graves por esforzarse demasiado.

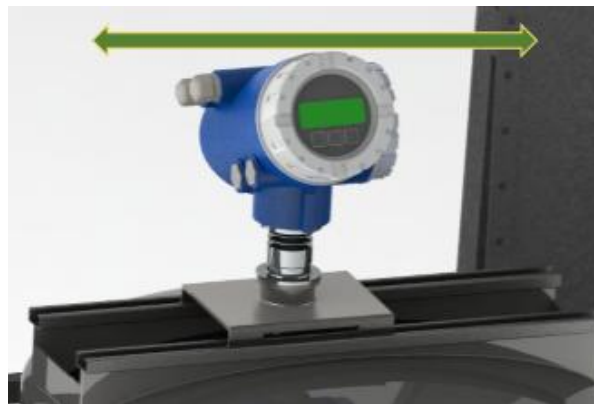


Imagen 32. Posición sensor de radar.

Además posee dos conexiones de tipo brida de 2 "½, que permite conectarse con el tanque auxiliar TK-100B, el cual tiene una capacidad máxima aproximada de 17 litros y posee una conexión de tipo tri-clamp de 1" ½, que nos permite conectar tanto el sensor de radar de onda guiada como el sensor capacitivo, dejándonos realizar la misma práctica en el tanque con dos diferentes tecnologías de medición y comparar los resultados que arroje la práctica. Este tanque está sujeto a la estructura por medio de dos abrazaderas, como se observa en la imagen 30, evitando que el tanque TK-100B, sufra daños cuando se encuentre lleno, ya que por sí solas, las dos conexiones que tiene con el tanque TK-100A, no soportan una gran cantidad de peso. (Imagen 33)



Imagen 33. Conexión tanque TK-100B con el tanque TK-100A y la estructura.

El tanque TK-200 posee una capacidad máxima aproximada de 300 litros, que es considerablemente más grande que la de los otros tanques, debido a que este tiene que ser capaz de almacenar el volumen que proviene de los tanques TK-100A y TK-100B, cuando estos son desocupados. El tanque TK-200, posee dos ventanas de vidrio que tienen una medida de 60cm x 30.2cm, ubicados uno en el frente y el otro en la parte trasera del tanque, permitiendo el paso de la luz natural y así poder iluminar el interior del tanque, dejando al estudiante observar de forma manual el nivel del líquido con el que se esté trabajando en el tanque, además posee dos tipos de conexiones que nos permite instalar diferentes tipos de instrumentos de medición de nivel, la primera es una conexión de tipo tri-clamp de 1 ½ " que está ubicada en la parte superior del tanque la cual nos permite conectar tanto el sensor capacitivo como el sensor de radar de onda guiada, la segunda conexión es de tipo brida de 1 ½ " sobre la cual ira conectado un sensor de presión hidrostática. (Imagen 34)

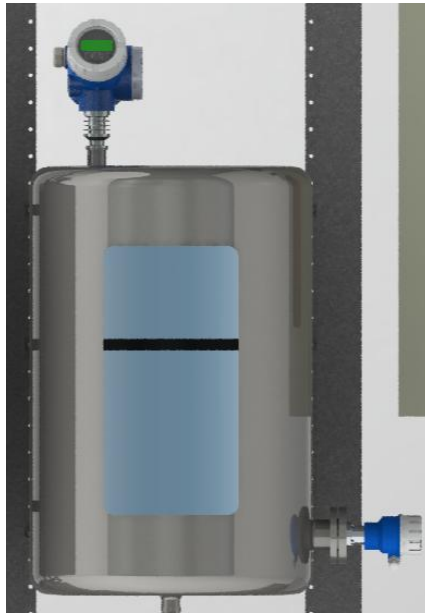


Imagen 34. Tanque TK-200.

El módulo posee una bomba centrífuga que se va a utilizar para impulsar el líquido a través del sistema de tuberías que posee el módulo y poder llenar o desocupar los tanques, permitiéndonos realizar los diferentes ensayos o pruebas que se quieran realizar. Esta bomba centrífuga es de marca BARNES 1515HHE-23, la cual está compuesta por dos partes, un motor eléctrico de inducción trifásico a 60 HZ, de 2HP y 3440 rpm marca SIEMENS y una bomba centrífuga con impulsor tipo caracol de acero inoxidable de 1" ½ de diámetro de succión y entrega. (Imagen 35) [41]



Imagen 35. Imagen izquierda bomba centrífuga 1515HHE. Imagen derecha renderizado de la bomba centrífuga.

Como elemento de seguridad de la bomba centrífuga se planteó la instalación de un par de manómetros antes de la succión y de la entrada, de esta forma se podrá observar la cantidad de flujo que habrá en ese momento en el sistema, si por algún motivo una o varias de las válvulas solenoides no se acciona los manómetros mostraran que no hay flujo en el sistema advirtiéndolo que hay que hacer un paro de emergencia. Igualmente se planteó la instalación de un par de roscas universales y un par de válvulas tipo globo en la succión y en la descarga con el objetivo de poder retirar la bomba centrífuga del sistema y poder realizar de manera más cómoda el mantenimiento preventivo. (Imagen 36)

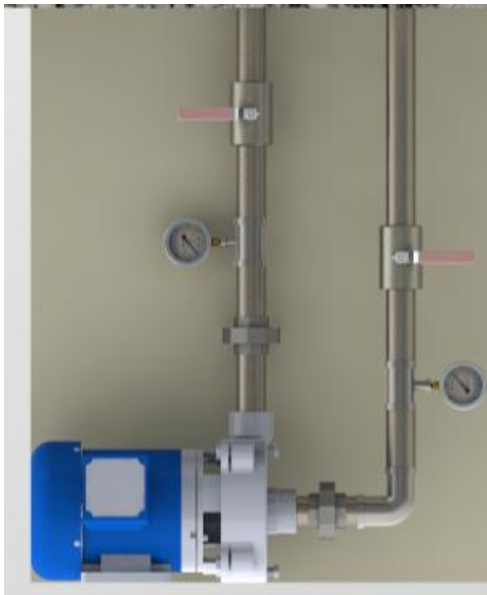


Imagen 36. Conexión bomba centrífuga

Una vez explicado cada uno de los componentes que conforman el módulo procederemos a explicar su funcionamiento.

El módulo fue diseñado de manera tal que mientras el tanque TK-200 es llenado, los tanques TK-100A y TK-100B son desocupados, o al contrario mientras el tanque TK-200 es desocupado, los otros dos tanques empezaran a llenarse con el líquido que se encontraba en el tanque TK-200, es decir que un tanque actúa como tanque de almacenamiento de otro y viceversa, esto ocurre gracias a las válvulas solenoides que estarán instaladas antes del orificio de carga y descarga de los dos tanques principales, dependiendo de cuáles estén abiertas y cuáles están cerradas el tanque se desocupará o se llenará, esta forma de funcionamiento nos permite realizar mediciones en los tres tanques a la vez.(Imagen 37).

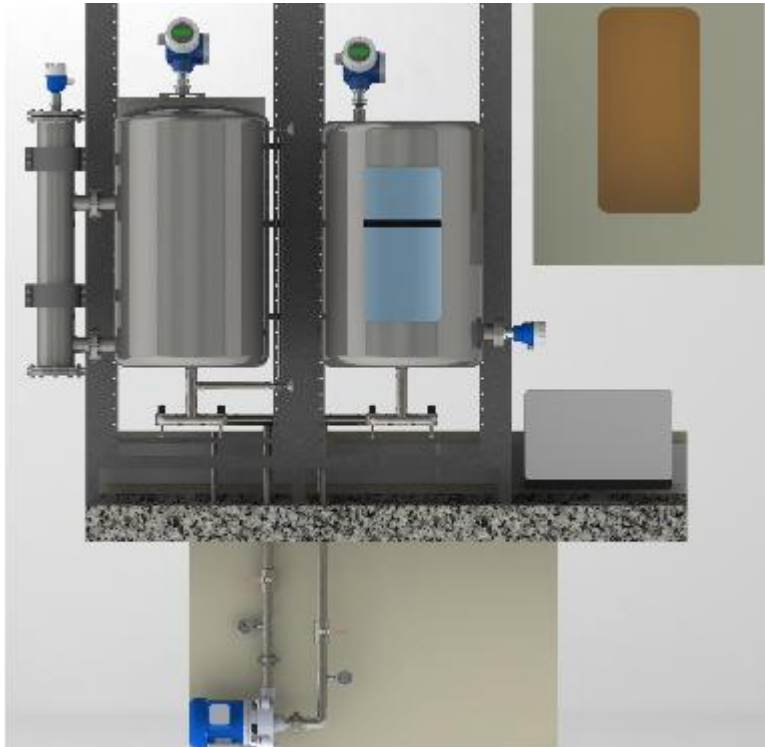


Imagen 37. Renderizado final módulo de nivel.

3.4.1 Diseño Mecánico del Módulo.

Para el diseño del módulo de nivel, fue utilizado el software SolidWorks que es un programa especializado en el diseño asistido de equipos para obtener un modelado mecánico en 3D basado en parámetros y medidas reales. Este programa es de gran utilidad ya que permite modelar piezas y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información que sea necesaria. (Imagen 38)

También fue necesario realizar su modelado con la ayuda de este software, utilizando las diferentes aplicaciones que posee como: croquis, planos, extrusiones, cortes entre otras tantas que posee el programa, para visualizar las dimensiones del diseño remitirse al Anexo A.

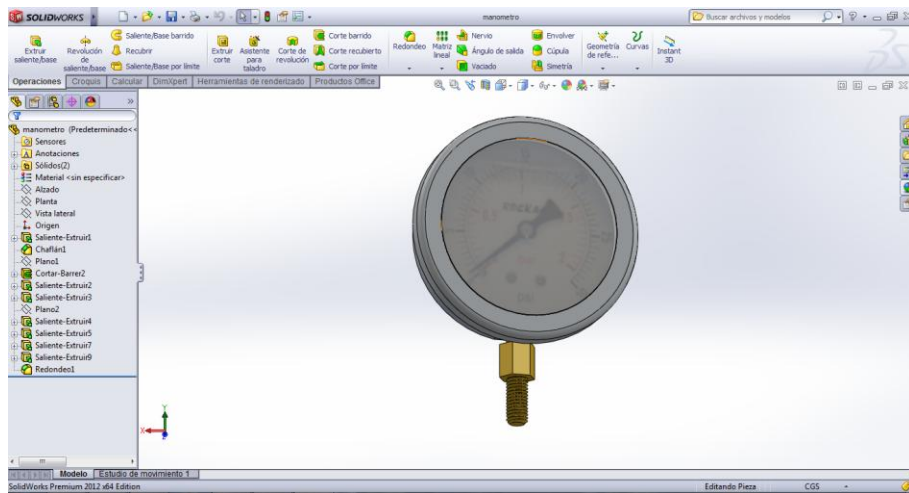


Imagen 38. Área de trabajo SolidWorks.

Otra particularidad que tiene SolidWorks es que permite agregarle diferentes tipos de texturas al diseño, permitiéndonos obtener un modelo que se asemejaría bastante al real. Como fue necesario realizar cada componente por separado para facilitar su construcción, SolidWorks posee una herramienta llamada ensamblaje que nos permite unir cada una de las piezas y así obtener el diseño final. (Imagen 39)

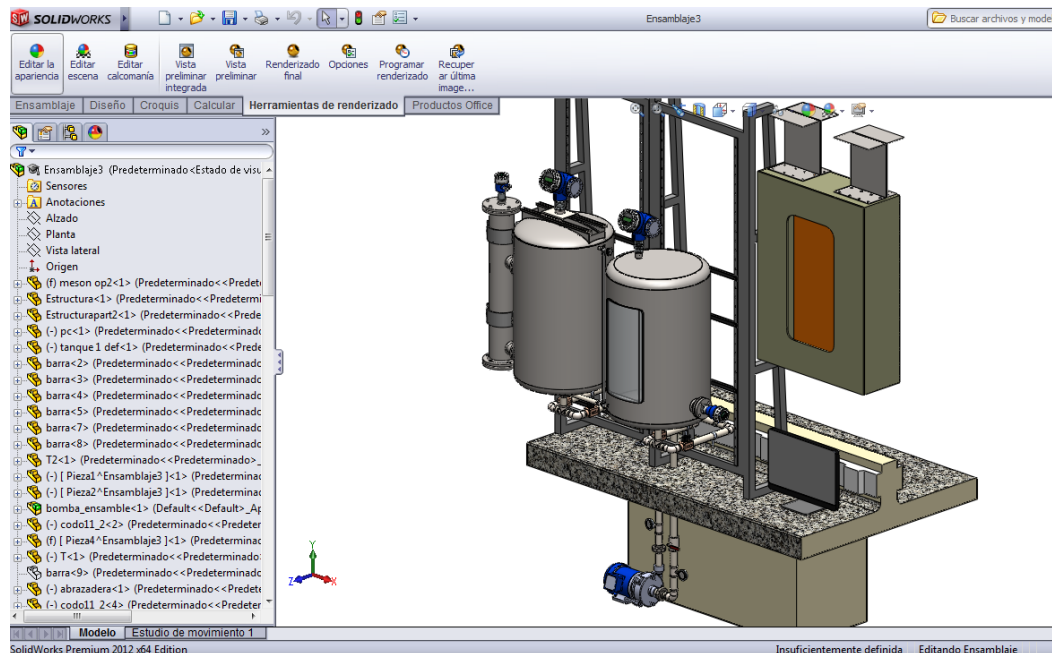


Imagen 39. Función ensamblaje de SolidWorks

La última herramienta que se usó de este software fue el renderizado, el cual nos permite realizar simulaciones de como quedarían las piezas finalmente con un alto nivel de realismo, conservando las proporciones y texturas que se emplearon en el diseño. (Imagen 40)

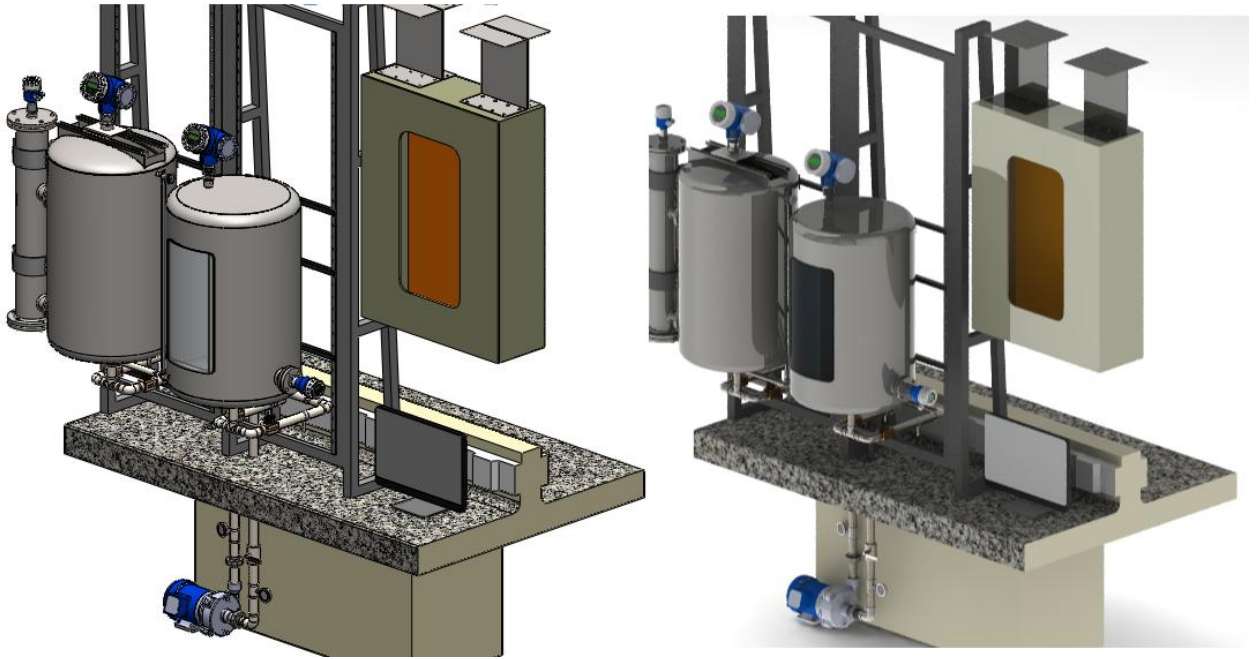


Imagen 40. Diseño final del módulo de nivel y su renderizado.

3.4.2 Diagrama P&ID.

En la imagen 38 se puede observar el diagrama P&ID del módulo de nivel de agua el cual se realizó siguiendo la norma **ANSI/ISA-5.1-1984 (R2009)**.

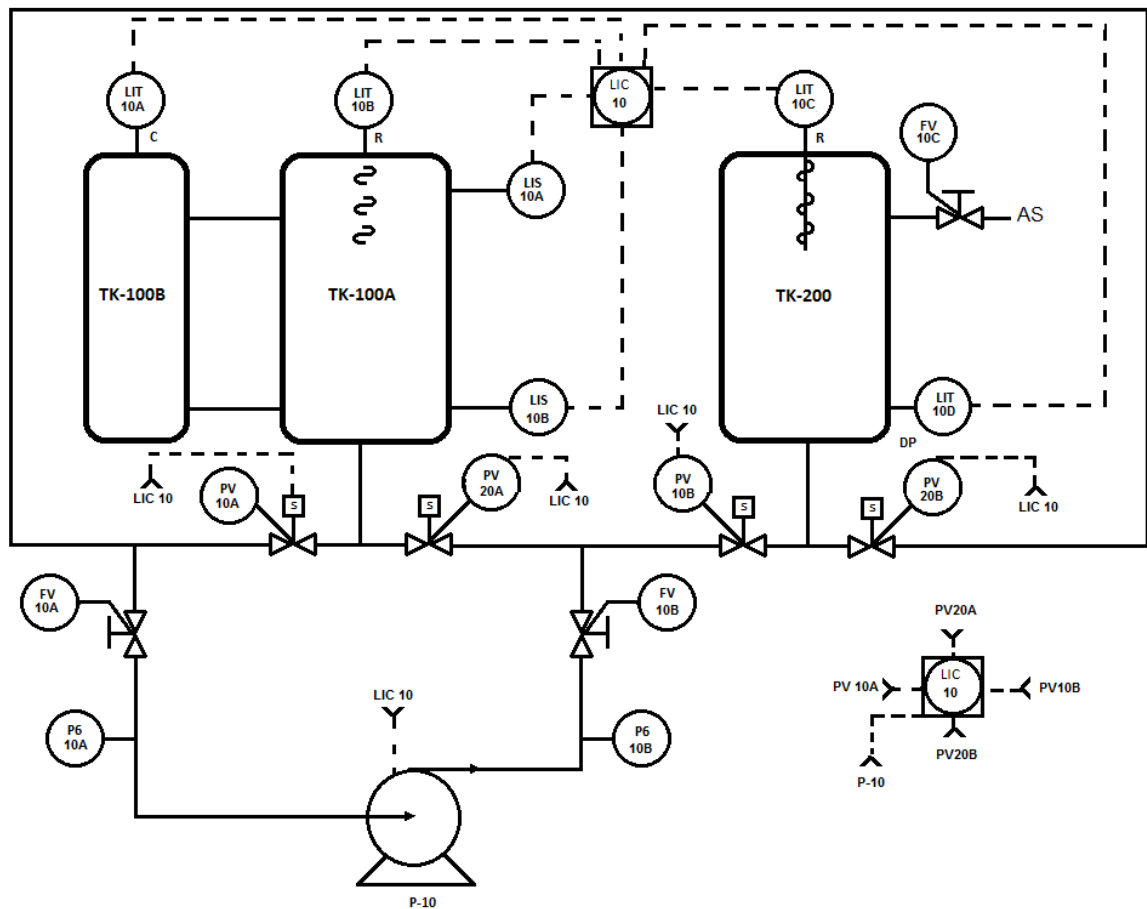


Imagen 41. Diagrama P&ID del banco de nivel.

3.5 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Es utilizado para recopilar información, documentar o analizar un fenómeno. Como la tecnología ha avanzado, este tipo de sistema se ha simplificado y siendo más preciso, versátil y fiable a través de equipos electrónicos. Los productos de adquisición de datos sirven como un punto focal en un sistema, uniendo una amplia variedad de productos, tales como sensores que indican la temperatura, caudal, nivel o presión.

Para la primera fase del diseño del banco de ensayo para la medición de nivel de líquidos se estableció un sistema de adquisición de datos de National Instruments NI cRIO SYSTEM que comprende de un chasis de 4 ranuras, una fuente de alimentación NI PS-15 a 24Vdc y cuatro módulos para la entrada HART, entrada/salida digitales y un módulo para la comunicación de RS485 para el variador de velocidad SINAMICS V20 del proveedor de Siemens.



Imagen 42. Sistema de adquisición de datos. [45]

3.5.1 Módulo de Salida Digital, NI 9474.

NI 9474 es un módulo de salida digital, cuenta con 8 canales de alta velocidad que posee un LED indicador del estado (on/off) que se encuentra en cada canal, es compatible con cualquier chasis como compactDAQ o compactRIO. Cada canal es compatible con señales de 5v a 30v, con este módulo se realiza el control de las electroválvulas del banco diseñado aunque también se puede conectar directamente dispositivos industriales como relés, motores, actuadores entre otros. (Imagen 43)[42]



Imagen 43. NI 9474. [42]

3.5.2 Módulo de Entrada Digital, NI 9421.



Imagen 44. NI cRIO-9421. [43]

Este módulo de entrada digital NI 9421 de la serie C, es compatible con diferentes tipos de chasis como compactRIO y compactDAQ, cuenta con 8 canales de entrada tipo sinking, cada canal es compatible con señales 12v a 24v además posee en sus canales un indicador LED para observar el estado en que se encuentran, ofreciendo a su vez una amplia variedad de dispositivos industriales como conmutadores, transductores entre otros. (Imagen 44) [43]

3.5.3 Módulo de Interfaz Serial, Rs485/Rs422.

El NI 9871 Cuenta con 4 puertos de comunicación RS485/RS422 (TIA/EIA-485/422), utiliza una fuente de alimentación externa que brinda una máxima confiabilidad y flexibilidad en todas las condiciones de los puertos, utiliza un cable de potencia de microfit para una conexión rápida a la fuente de alimentación externa del sistema compactRIO. (Imagen 45) [46]



Imagen 45. Módulo de interfaz serial. [47]

3.5.4 Módulo AM-9898.

Módulo AM-9898 de comunicación HART de compactRIO esta codificado para evitar las conexiones al revés, contiene cuatro canales (ch0, ch1, ch2 y ch3), está diseñado para salidas 4- 20 mA. (Imagen 46) [48]



Imagen 46. Módulo AM-9898. [48]

3.5.5 Chasis NI cRIO-9075.

El chasis NI cRIO-9075 es un sistema robusto que maneja un procesador industrial en tiempo real para el manejo del control, registro de datos y análisis, cuenta con cuatro ranuras para módulos de E/S de la serie C, puerto Ethernet que puede llevar a cabo la comunicación con archivos e interfaz del usuario de aplicaciones LabVIEW embebidas. El chasis ofrece también un rango de entrada de potencia de 9 a 30 Vdc, el tamaño pequeño y el bajo costo hacen al cRIO-9075 sea ideal para aplicaciones de alto volumen. Hay disponibles varias opciones de montaje para el cRIO-9075, incluyendo el montaje en panel rack, riel DIN y pc de escritorio. (Imagen 47) [49]



Imagen 47. Chasis NI cRIO-9075. [50]

3.5.5.1 Fuente de Alimentación NI PS-15.

Es una fuente de alimentación de 24Vdc para el compactRIO, tiene una potencia de salida completa de 120W entre -25 y 60°C. El amplio rango de temperatura de operación y la inmunidad de interferencia extraordinaria electromagnética (EMI), permite una operación sin problemas, hasta en condiciones agresivas. (Imagen 48) [51]



Imagen 48. Fuente para compactRIO. [51]

3.5.5.2 Protección para Módulos NI-9927.

La protección del conector NI 9927, brinda liberación de tensión y protección al operador contra señales de alto voltaje para cualquier módulo de terminal de tornillo de 10 posiciones, se conecta directamente al módulo. (Imagen 49) [44]



Imagen 49. Protección para NI 9927. [44]

3.5.5.3 Panel Horizontal para Montaje.

Este juego de montaje en panel NI 9904 sirve para chasis compatible en compactDAQ de 8 ranuras y 4 ranuras, ayudando a montar de manera segura a la pared o superficie plana. (Imagen 50) [52]



Imagen 50. Panel de montaje NI 9904 [53]

3.5.5.4 Cable para Ethernet.

El cable para Ethernet sirve para conectar a NI GPIB-ENET/100, ENET/232 y ENET/485, estos cables robustos e industriales son usados para conectar equipos Ethernet en entornos EMI/RFI, contiene doble revestimiento con protección trenzada de aluminio y cobre, este diseño ofrece la facilidad de instalación y extracción. Los cables son ideales para conectar chasis NI compactDAQ Ethernet y controladores de automatización programables NI compactRIO a conmutadores Ethernet industriales en la fábrica y entornos de control donde prevalece el ruido eléctrico y de RF. (Imagen 51)



Imagen 51. Cable Ethernet

3.5.5.5 Juego para Montaje de Panel.

El juego de montaje NI PS-15/16/17 de National Instruments, ofrece estos accesorios en panel/pared para fuentes de alimentación industriales incluyen clips para montajes en riel DIN. Este accesorio para el panel es compatible con todas las fuentes de alimentación NI PS-1x. (Imagen 52) [55]



Imagen 52. Accesorio de montaje NI PS-15/16/17 [56]

3.6 GABINETE DE CONTROL.

Para la distribución y montaje del gabinete de control se debe cumplir con los parámetros planteados en la norma **RETIE**, para garantizar un correcto funcionamiento y desempeño de los instrumentos y equipos que se encuentra en el tablero monomodular; a continuación se plantea en la imagen 53 la distribución del gabinete:

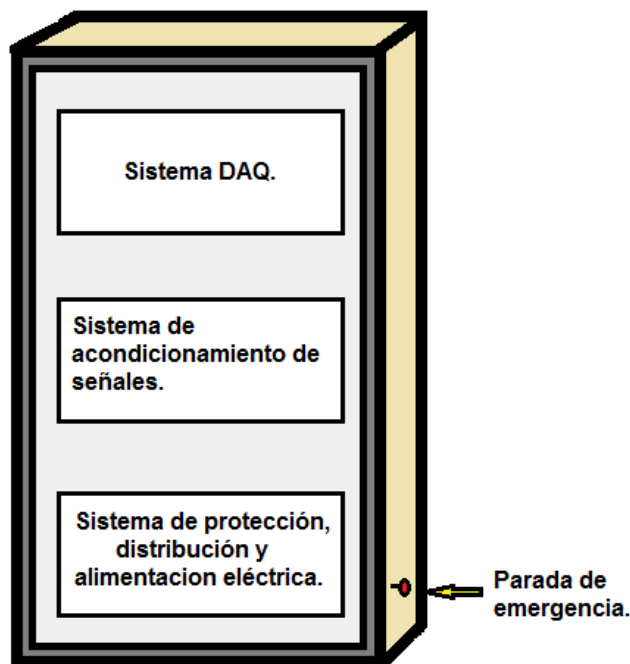


Imagen 53. Distribución del gabinete eléctrico y de control.

- el sistema DAQ comprende el sistema de adquisición de datos de National Instruments NI cRIO SYSTEM donde se encuentra la entradas y salidas digitales, módulo para la comunicación Bus HART AM-9898 y la interfaz serial NI 9871, para la comunicación y manejo de los sensores implementados en el módulo de nivel.
- Sistema de Acondicionamiento de Señales: en este grupo se encuentra los relés de estado sólidos, convertidores de señal y borneras de alimentación.
- En el sistema de protección, distribución y alimentación eléctrica la conforman la fuente de alimentación 24V, borneras de 110 y la protección eléctrica del gabinete.

PRESUPUESTO.

A continuación se muestra en la Tabla 3, las cotizaciones de los elementos que conforman el módulo de nivel.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
1	Estructura de procesos (tanques, tubería, variador, soporte, válvula y bomba).	\$ 26,140,000
2	Instrumentación de procesos (sensores: capacitivo, radar, presión hidrostática).	\$ 32,018,542
3	Sistema de adquisición de datos (módulo, compactRio y accesorios).	\$ 13,070,951
4	Accesorios de montaje (cableado, tablero).	\$ 3,127,265
5	Computador DELL.	\$ 2,962,000
6	Imprevistos del proyecto.	\$ 557,728
	TOTAL	\$ 77,876,486

Tabla 3. Cotizaciones

RECOMENDACIONES.

Se recomienda instalar un sensor de flujo como sistema de protección de la bomba centrífuga, evitando que ocurra un efecto de cavitación, provocado por la falta de agua de alguno de los tanques o porque una o varias válvulas solenoides fallen.

Para el desarrollo de las prácticas de laboratorio es necesario tener en cuenta las recomendaciones de la guía técnica colombiana GTC-60, para que los estudiantes puedan realizar la correcta caracterización de los equipos de medida que se utilizan en la medición de nivel.

Se plantea realizar una interfaz HMI utilizando el software LabView de National Instruments, para el control y el manejo de los diferentes dispositivos de entrada y salida que posee el módulo de nivel.

Es necesario implementar una válvula check conectándola a la salida de la bomba centrífuga como elemento de seguridad, previniendo que el líquido se devuelva haciendo funcionar la bomba en sentido contrario ocasionando daños.

Para el montaje del tablero eléctrico y de control es importante revisar e implementar la norma RETIE para la distribución adecuada de los elementos que serán instalados.

CONCLUSIONES.

Utilizando las ventajas de la herramienta de software SolidWorks se realizó el diseño de la estructura del módulo con el ánimo de garantizar una alta precisión en la ejecución del proyecto y de esta manera disminuir el porcentaje de imprevistos en la construcción del módulo de nivel.

Debido a que el diseño cuenta con instrumentos de medida que manejan una comunicación de lazo 4 a 20mA con protocolo HART y un variador de velocidad con comunicación RS-485, se seleccionó el sistema de adquisición de datos compactRIO ya que se ajusta a las especificaciones de diseño para el control y la adquisición de los datos en la medición de nivel de los tanques ofreciendo como herramienta de programación gráfica el software de LabView.

A partir del diseño de la ingeniería de detalle se realizaron las respectivas cotizaciones de los diferentes componentes y dispositivos que conforman el módulo de nivel, con el fin de establecer un presupuesto inicial.

Se estableció la documentación de las tecnologías de medición de la variable nivel, permitiendo realizar una selección de los equipos más apropiados para el módulo teniendo en cuenta las características del lugar, las normas y de más factores que influyan en la medición.

Se establece en el diseño del módulo conexiones de proceso estandarizadas de tipo tri-clamp y brida, permitiendo realizar de manera flexible el intercambio de sensores con diferentes tecnologías para la medición de la variable nivel, también presenta una estructura didáctica, donde los estudiantes pueden ejecutar diversos procedimientos en base a la variable nivel.

La implementación de sensores robustos en el diseño del módulo permite acercar al estudiante a un ambiente industrial, permitiendo una mejor preparación en el manejo de la variable nivel y sus diferentes formas de instrumentación.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Medición de nivel de líquidos. Tomado de internet.
<http://www.bannerengineering.com/ko-KR/products/application/7/703/1711>.
[Citado en 20 de julio del 2014].
- [2] Tipos de tanques. Tomado de internet.
<http://ingenieriacontroldelcentro.com/churintzio.html> [Citado en 20 de julio del 2014].
- [3] Definición tipos de tanques. Tomado de internet.
http://ingenieriacontroldelcentro.com/tipos_de_tanques.html. [Citado en 21 de julio del 2014].
- [4] Sistema de seguridad tanque cerrado. Tomado de internet.
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=3058>[Citado en 21 de julio del 2014].
- [5] Tipos de medidores de sonda. Tomado de internet.
<http://www.ospg.com.mx/>. [Citado en 22 de julio del 2014].
- [6] Medidor de cristal. Tomado de internet.
<http://www.interempresas.net/Agua/FeriaVirtual/Producto-Indicador-de-nivel-a-espiga-redonda-666-166-R-54594.html>. [Citado en 22 de julio del 2014].
- [7] Sensor tipo flotador. Tomado de internet.
<http://www.elesa-ganter.com/es/30/sp/8637/4/92/indicador-de-nivel-con-flotador/hfl-e/eg/>[Citado en 23 de julio del 2014].
- [8] Conexión sensor tipo flotador. Tomado de internet.
<http://news.directindustry.es/press/atmi/detectores-nivel-pequeno-diametro-52928-368225.html>. [Citado en 23 de julio del 2014].
- [9] Medidores de nivel ultrasónicos. Tomado de internet.
<http://www.nikron.com.ar/automacion/descripcion-producto/4/5/12/3/>. [Citado en 24 de julio del 2014].
- [10] Medidores de nivel por radar. Tomado de internet.
<http://www.nikron.com.ar/automacion/nivel/liquidos/medicion/radar/>. [Citado en 24 de julio del 2014].
- [11] Sensor tipo radar. Tomado de internet.
http://jsindustrial.com.pe/site/components/com_virtuemart/shop_image/product/Medidores_de_Niv_4d1b2668dc299.jpg. [Citado en 24 de julio del 2014].

- [12] Sensor radiométrico Tomado de internet.
<http://www.ferret.com.au/c/Endress-Hauser-Australia/Gammapiot-M-FMG60-for-radiometric-measurement-now-available-from-Endress-Hauser-Australia-n885004>. [Citado en 25 de julio del 2014].
- [13] Sensor capacitivo Tomado de internet.
<http://www.nikron.com.ar/automacion/nivel/liquidos/control/capacitivos/>. [Citado en 25 de julio del 2014].
- [14] Aplicaciones sensores radiométricos. Tomado de internet.
<http://www.vega.fr/es/27085.htm>. [Citado en 25 de julio del 2014].
- [15] CREUS Antonio. Instrumentación industrial. Editorial marcombo alfaomega. México 2007. [Citado en 26 de julio del 2014].
- [16] FA00001Fes_Catalogo_Nivel_1512-O1 pdf. Capitulo: Medición y Detección de Nivel - Endress + Hauser. [Citado en 26 de julio del 2014].
- [17] ARCOS, JULIETH ANDREA, Diseño y construcción de un transmisor de nivel capacitivo, libro tesis. [Citado en 27 de julio del 2014].
- [18] Sensor de nivel por desplazamiento. Tomado de internet.
http://www.directindustry.es/prod/fisher/transmisores-nivel-por-desplazamiento-14722-1080331.html#product-item_550335. [Citado en 28 de julio del 2014].
- [19] Rango de medida manómetro. Tomado de internet.
<http://www.antechsv.com/2010/11/medidor-de-nivel-manometrico.html>. [Citado en 28 de julio del 2014].
- [20] Tema 5: medida de nivel. Tomado de internet.
<http://nyquist.us.es/pepemaestre/INSTRUMENTACION/Tema5.pdf>. [Citado en 28 de julio del 2014].
- [21] Sensor tipo burbujeo. Tomado de internet.
<http://www.tecnoficio.com/docs/doc61.php>. [Citado en 28 de julio del 2014].
- [22] Conexión medidor de tipo burbujeo. Tomado de internet.
<http://es.scribd.com/doc/23575897/TRABAJO-DE-NIVEL>. [Citado en 28 de julio del 2014].
- [23] Resumen diferentes tecnologías para la medición de nivel en líquidos. Tomado de internet.
<http://www.tecnoficio.com/docs/doc60.php>. [Citado en 30 de julio del 2014].

- [24] Diferentes tecnologías para medir nivel en sólidos. Tomado de internet <http://www.codisin.com/productos/instrumentacion/nivel.html> mayo 9. [Citado en 30 de julio del 2014].
- [25] Resumen diferentes tecnologías para la medición de nivel en sólidos. Tomado de internet. <http://www.tecnoficio.com/docs/doc60.php>. [Citado en 30 de julio del 2014].
- [26] Normas técnicas, Biblioteca Universidad de Alcalá. Tomado de internet. http://www2.uah.es/bibliotecaformacion/BPOL/FUENTESDEINFORMACION/normas_tcnicas.html. [Citado en 3 agosto del 2014].
- [27] CÉSPEDES ANDRÉS FELIPE, JEREZ LUIS CARLOS, Diseño y especificación de un banco de masas y balanzas para la medición de peso y la calibración de instrumentos de pesaje en el laboratorio de instrumentación de la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga, libro tesis. [Citado en 14 agosto del 2014].
- [28] MORALES, ERLA MARIELA, Gestión del conocimiento en sistemas E-Learning, basado en objetos de aprendizaje, cualitativa y pedagógicamente definidos. [Citado en 14 agosto del 2014].
- [29] ¿Qué es la normalización? Tomado de internet <http://www.icontec.org/index.php/es/inicio/normalizacion>. [Citado en 20 agosto del 2014].
- [30] Nuestra compañía. Tomado de internet. <http://www.icontec.org/index.php/es/nuestra-compania/nuestra-compania>. [Citado en 20 agosto del 2014].
- [31] La acreditación. Tomado de internet. <http://www.onac.org.co/módulos/contenido/default.asp?idmódulo=243>. [Citado en 20 agosto del 2014].
- [32] Corporativo Tomado de internet <http://www.onac.org.co/módulos/contenido/default.asp?idmódulo=242>. [Citado en 20 agosto del 2014].
- [33] ¿Qué es certificación? Tomado de internet <http://www.cesmec.cl/noticias/Certificacion/1.act>. [Citado en 20 agosto del 2014].
- [34] ¿Qué es metrología legal? Tomado de internet. <http://www.sic.gov.co/drupal/metrologia-legal>. [Citado en 21 agosto del 2014].

- [35] PIMIENTA ROGER DAVID, RODRÍGUEZ MAURER, Diseño de un módulo de ensayo para la medición de la variable presión, con la implementación de un circuito básico de presión relativa para el laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Libro tesis. [Citado en 22 agosto del 2014].
- [36] Transmisor levelflex-FMP52. Tomado de internet.
<http://www.endress.com/en/products/level/levelflex-FMP52> [Citado en 27 agosto del 2014].
- [37] Transmisor Micropilot FMR 51. Tomado de internet.
<http://www.endress.com/en/products/level/fmr51>. [Citado en 27 agosto del 2014].
- [38] Transmisor Liquicap M FMI 51. Tomado de internet.
<http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/level/20164>. [Citado en 27 agosto del 2014].
- [39] Medición continua de nivel en líquidos, Guía de ingeniería y selección para la industria de procesos, HENDRESS AND HAUSER, pdf. [Citado en 5 septiembre del 2014].
- [40] Transmisor Deltapilot M FMB 50. Tomado de internet.
<http://www.ppmlonlineshop.com/shop/used-miscellaneous-industrial-sundries-equipment/drives-plc-inverters-frequency-controlled-allen-bradley-endress-hauser-flowmeters-digital-scales/endress-and-hauser-deltapilot-m-fmb50-level-transmitter>. [Citado en 10 septiembre del 2014].
- [41] GÓMEZ, ÁLVARO 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, Libro tesis. [Citado en 10 septiembre del 2014].
- [42] Módulo de salida digital NI 9474. Tomado de internet.
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208823> [citado en 27 octubre del 2014].
- [43] Módulo de entradas digitales NI 9421. Tomado de internet.
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208813> [citado en 27 octubre del 2014].
- [44] Protección para módulos NI 9927. Tomado de internet.
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/211677> [citado en 27 octubre del 2014].

- [45] Resumen de configuración. Tomado de internet.
<http://ohm.ni.com/advisors/crio/pages/common/intro.xhtml?configid=CR4246294&pdfqte=2030590> [citado en 27 octubre del 2014].
- [46] Módulo de interfaz serial. Tomado de internet
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/204260> [citado en 27 octubre del 2014].
- [47] Imagen módulo de interfaz serial. Tomado de internet.
[http://sine.ni.com/nips/cds/pages/image?imagepath=/images/products/us/ni-9870_w_cable_l.jpg&title=NI 9871&oracleLang=esa](http://sine.ni.com/nips/cds/pages/image?imagepath=/images/products/us/ni-9870_w_cable_l.jpg&title=NI%209871&oracleLang=esa) [citado en 27 octubre del 2014].
- [48] Módulo AM 9898. Tomado de internet.
<http://www.ni.com/data-acquisition/compactrio/esa/> [citado en 27 octubre del 2014].
- [49] NI cRIO 9075. Tomado de internet.
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209757> [citado en 27 octubre del 2014].
- [50] Chasis NI cRIO 9075. Tomado de internet.
[http://sine.ni.com/gallery/app/ui/page?nodeId=209757&mTitle=NI cRIO-9075&mGallery=set_crio-9075](http://sine.ni.com/gallery/app/ui/page?nodeId=209757&mTitle=NI%20cRIO-9075&mGallery=set_crio-9075) [citado en 27 octubre del 2014].
- [51] Fuente de alimentación NI PS 15. Tomado de internet.
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207473> [citado en 27 octubre del 2014].
- [52] Panel horizontal para montaje. Tomado de internet.
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208000> [citado en 27 octubre del 2014].
- [53] Panel de montaje NI 9904. Tomado de internet.
[http://sine.ni.com/nips/cds/pages/image?imagepath=/images/products/us/crio_9904_9905_l.jpg&title=Juegos para Montaje de Panel&oracleLang=esa](http://sine.ni.com/nips/cds/pages/image?imagepath=/images/products/us/crio_9904_9905_l.jpg&title=Juegos%20para%20Montaje%20de%20Panel&oracleLang=esa) [citado en 27 octubre del 2014].
- [54] Cable para Ethernet. Tomado de internet
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/211324> [citado en 27 octubre del 2014].
- [55] Juego para montaje de panel. Tomado de internet.
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/211669> [citado en 27 octubre del 2014].

- [56] Accesorio NI PS 15/16/17. Tomado de internet.
http://sine.ni.com/gallery/app/ui/page?nodeId=211669&mTitle=Juego para Montaje de Panel&mGallery=set_panel_mount_ps [citado en 27 octubre del 2014].
- [57] Imagen tanque serrado. Tomado de internet.
<http://colombia.nexolocal.com/p14944220-creamos-tanques-para-asfalto-y> [citado en 01 noviembre del 2014].
- [58] Técnicas para la medición de nivel. Tomado de internet.
http://www.starrett.com.ar/catalogo/productos/cintas-metricas-de-profundidad-con-cintas-de-acero-cromo-satinadas-15m-con-plomada_2359.php [citado en 01 noviembre del 2014].
- [59] Sondas de nivel. Tomado de internet.
http://www.pesa-gwe.es/files/pdf/Sondas_nivel.pdf [citado en 01 noviembre del 2014].
- [60] Metrología. Tomado de internet.
<http://www.icontec.org/index.php/es/inicio/metrologia> [citado en 04 noviembre del 2014].
- [61] Imagen metrología industrial. Tomado de internet.
http://www.udb.edu.sv/udb/index.php/pagina/ver/metrologia_industrial [citado en 04 noviembre del 2014].
- [62] Imagen metrología científica. Tomado de internet.
<http://www.tecnalia.com/es/servicios-tecnologicos/servicios-por-industria/metrologia-in-situ-personalizada.htm#prettyPhoto> [citado en 04 noviembre del 2014].
- [63] Imagen metrología legal. Tomado de internet.
http://www.lacomet.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=177&Itemid=224. [Citado en 04 noviembre del 2014].
- [64] Instituto Nacional de Metrología. Tomado de internet.
<http://www.inm.gov.co/es/>. [Citado en 04 noviembre del 2014].
- [65] Bureau International des Poids et Mesures. Tomado de internet.
<http://www.bipm.org/en/about-us/> [Citado en 04 noviembre del 2014].
- [66] Organización Internacional de Metrología Legal. Tomado de internet
<https://www.oiml.org/en> [Citado en 04 noviembre del 2014].

ANEXOS.

ANEXO A.
PLANIMETRÍA.

ANEXO B.
COTIZACIONES.

ANEXO C.

DATASHEETS DE LOS INSTRUMENTOS.

ANEXO D.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.