



**Diseño y simulación de un medidor  
volumétrico patrón (MVP) con  
capacidad de 100 galones para la  
determinación estática de  
hidrocarburos en los procesos  
intervenidos por la empresa  
SERVITEINS J&I SAS**

**Juan Carlos Andrade Tovar  
Neifry Yith Álvarez Trujillo**

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2021



# **Diseño y simulación de un medidor volumétrico patrón (MVP) con capacidad de 100 galones para la determinación estática de hidrocarburos en los procesos intervenidos por la empresa SERVITEINS J&I SAS**

**Juan Carlos Andrade Tovar  
Neifry Yith Álvarez Trujillo**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director (a):

Mg. Martha Lucía Solano Moreno

Co-Director

Mg. Juan David Caicedo Vásquez

Línea de Investigación:

REM (Research in Energy and Materials)

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2021



*A Dios a mi familia, compañeros de estudio de trabajo, a los instructores de la Universidad Antonio Nariño, han sido importantes para mi desarrollo personal y profesional.*

*Neifry Yith Alvarez Trujillo*

*Dedico este logro y gran sentido de superación a Dios, a quien le pido sabiduría y prudencia en mi caminar, a mi familia, que ha sido apoyo incondicional y la razón para seguir adelante y nunca rendirme y a mis padres, que, aunque ya no me acompañan fueron pieza importante en mi formación y crecimiento personal.*

*Juan Carlos Andrade Tovar*



# Agradecimientos

Los autores agradecen a:

A la ingeniera Martha Lucía Solano Moreno, vicedecana de los programas de Ingeniería Mecánica y Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva, quien, con su experiencia en manejo de proyectos de grado, nos guió en la construcción de este documento con paciencia y sabiduría.

Al ingeniero Ph.D. Francisco Maximiliano Fernández Periche y el Ing. Karel Joel Arencibia Ávila, docentes de los programas de ingeniería mecánica, electromecánica y electrónica de la Universidad Antonio Nariño Sede Neiva, ya que con sus observaciones relacionadas al proceso de validación del MVP nos permitió orientar dicha actividad y lo que se buscaba con la misma; por su comprensión y orientación en el direccionamiento de los objetivos de este trabajo.

A la Universidad Antonio Nariño sede Neiva que durante todos estos años nos permitió con sus docentes e instalaciones, formarnos como personas íntegras y profesionales competentes para el mercado laboral que hoy en día tiene este hermoso país.





## Resumen

Una de las principales actividades económicas en el departamento del Huila, es la explotación de hidrocarburos. Sin embargo, carece de una infraestructura metrológica adecuada para la calibración de medidores de volumen. Los inconvenientes generados pueden ser variados, desde el incremento en los costos de operación hasta el no aseguramiento de los procesos industriales. Por tanto, en este trabajo diseño y simulo de un medidor volumétrico patrón (MVP) adecuado a las necesidades técnicas de la empresa SERVITEINS J&I S.A.S. y los requerimientos de la industria local. Para este fin se realizó Investigación bibliográfica y documental sobre los temas centrales, análisis detallado de medición de volumen en procesos de hidrocarburo, y el diseño de un equipo según parámetros identificados en visitas periódicas a la empresa, procedimientos identificados en la bibliografía especializada y recomendaciones de NBS HANDBOOK 105-3, ISO 17050, ISO 17025, la ISO 10012, OIML R 120:2010. Los principales componentes son; (i) Enderezado de vena, para reducir la turbulencia del fluido; (ii) Una válvula de control, para la seguridad en el proceso de medición; (iii) Un controlador lógico programable (PLC), para el control del proceso. Todo el diseño fue validado vía simulación en el software SolidWorks y Factory talk view. Como resultado se obtuvo el diseño y la simulación de un medidor volumétrico patrón de 100 galones, con fluido no turbulento.

**Palabras clave:** *MVP, hidrocarburos, medición estática, diseño mecánico, mecanismos, Serafín.*

## Abstract

One of the main economic activities in the department of Huila is the exploitation of hydrocarbons. However, it lacks an adequate metrological infrastructure for the calibration of instruments for measuring volume. The inconveniences generated can be varied, from the increase in operating costs to the non-assurance of industrial processes. Therefore, in this work we design and simulate a standard volumetric meter (MVP) appropriate to the technical requirements of the company SERVITEINS J&I S.A.S. and local industry demands. For this purpose, bibliographic and documentary research was carried out on the central issues, detailed analysis of volume measurement in hydrocarbon processes, and the design of a device according to parameters identified in periodic visits to the company, procedures identified in the specialized bibliography and recommendations of MANUAL NBS 105-3, ISO 17050, ISO 17025, ISO 10012, OIML R 120: 2010. The main components are; (i) flow straightener, to reduce fluid turbulence; (ii) A control valve, for safety in the measurement process; (iii) A programmable logic controller (PLC), to control the process. The entire design was validated via simulation in SolidWorks and Factory talk view. As a result, the design and simulation of a 100-gallon standard volumetric meter with non-turbulent fluid was obtained.

**Keywords: MVP, hydrocarbons, static measurement, mechanical design, mechanisms, Serafin**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Objetivos de la investigación.....	3
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Metodología .....	4
1.3.1 Descripción del Requerimiento .....	5
1.3.2 Condiciones de operación .....	5
<b>2. Marco Referencial, teórico y normativo.....</b>	<b>9</b>
2.1 Marco referencial.....	9
2.2 Marco teórico .....	14
2.2.1 Medición de flujo.....	14
2.2.2 Factores que influyen en la selección de un medidor de flujo .....	14
2.2.3 Tanques de Almacenamiento .....	16
2.2.4 Medidores volumétricos patrón .....	16
2.2.5 Clase nominal.....	19
2.2.6 Clasificación M.V.P .....	20
2.2.7 Criterios físicos principales .....	22
2.2.8 Requerimientos metrológicos básicos.....	25
2.2.9 Calibración y verificación .....	26
2.3 Marco Normativo .....	28
<b>3. Diseño y simulación.....</b>	<b>31</b>
3.1 Definición de parámetros.....	32
3.1.1 Volumen del (MVP).....	32
3.1.2 Estructura y accesorios.....	36
3.1.3 Análisis de flujo.....	38
3.1.4 Carga añadida de la bomba.....	40
3.2 Programación del PLC .....	44
<b>4. Resultados.....</b>	<b>47</b>
<b>5. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>55</b>
5.1 Conclusiones.....	55
5.2 Recomendaciones y trabajos futuros.....	57

**Bibliografía ..... 63**

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1.</b> Diseño de la investigación .....	4
<b>Figura 2-1:</b> Proceso para la selección de un medidor de flujo.....	15
<b>Figura 2-2:</b> Clasificación de tanques.....	16
<b>Figura 2-3:</b> Recipiente época neolítico .....	17
<b>Figura 2-4:</b> Recipiente patrón 20 l.....	18
<b>Figura 2-5:</b> Recipiente patrón 500 l.....	19
<b>Figura 2-6:</b> Recipiente volumétrico metálico .....	20
<b>Figura 2-7:</b> Tanque medidor de volumen .....	21
<b>Figura 2-8:</b> Instrumentos volumétricos de laboratorio .....	21
<b>Figura 2-9:</b> Recipientes volumétricos de 20 l, 10 l y 5 l.....	23
<b>Figura 2-10:</b> Partes principales de un recipiente volumétrico.....	25
<b>Figura 3-1:</b> Sistema utilizado en Serviteins J&I s.a.s .....	31
<b>Figura 3-2:</b> Estructura básica del MVP.....	33
<b>Figura 3-3:</b> Dimensionamiento del cilindro A.....	34
<b>Figura 3-4:</b> Dimensionamiento del cilindro B.....	35
<b>Figura 3-5:</b> Desviaciones .....	35
<b>Figura 3-6:</b> Enderezador de vena de la instalación .....	38
<b>Figura 3-7:</b> Diagrama de Moody .....	42
<b>Figura 3-8:</b> Inicio del proceso.....	44
<b>Figura 3-9:</b> Continuación del proceso – Programación proceso .....	45
<b>Figura 3-10:</b> Final del proceso – Programación proceso.....	46
<b>Figura 4-1:</b> Recipiente volumétrico diseñado de 100 gal.....	47
<b>Figura 4-2:</b> Distribución sistema MVP 100 gal Empresa SERVITEINS .....	49
<b>Figura 4-3:</b> Simulación llenado del medidor volumétrico N°1 .....	50
<b>Figura 4-4:</b> Fracción de masa del fluido .....	51
<b>Figura 4-5:</b> Fracción de Volumen - Simulación .....	52
<b>Figura 4-6:</b> Simulación PLC. ....	53
<b>Figura 4-7:</b> Modelamiento de presión en el sistema.....	54

## Lista de tablas

**Pág.**

<b>Tabla 3-1:</b> Requisito dimensional para los estándares de campo volumétricos habituales de EE.UU.....	33
<b>Tabla 3-2:</b> Accesorios sistema M.V.P .....	37

# 1.Introducción

A lo largo de la historia, el hombre siempre ha requerido procesos de medición en todas las áreas en las que se desempeña. La utilización del número fue uno de los primeros conceptos que se desarrollaron desde los inicios del hombre; era necesario numerar, llevar un orden de tal manera que permitiera a las sociedades manejar de forma adecuada sus actividades. Hoy en día, estos parámetros no han cambiado y, por el contrario, se trabaja arduamente para mejorar los procesos de medición dentro de todas las actividades que desarrolla el hombre, permitiéndole tener un mejor razonamiento numérico sobre los fenómenos y variables que ofrece la naturaleza y el ámbito en el que desarrolla sus funciones. La ciencia de las mediciones es denominada metrología, esta ciencia está inmersa en todos los procesos humanos. A grandes rasgos se puede dividir en metrología científica, industrial y legal.

Los beneficios que ofrece la metrología en la industria permiten obtener confianza e información sobre las variaciones de los procesos para su control y mejoramiento (DIAZ 2018). Permite tener grandes ventajas y beneficios en todos los campos industriales donde se enfoca la medición de las magnitudes. Para procesos de medición de fluidos, se requiere confiabilidad en aforos de volúmenes. Esto se realiza mediante la mejora continua de los procesos con, calibraciones, trazabilidad, servicios, resultando en el aseguramiento metrológico y reducción de la incertidumbre de las mediciones(TRINDADE2003).

En el contexto departamental se identificó ausencia de empresas que realicen el proceso de calibración de equipos volumétricos para la industria de hidrocarburos y demás procesos industriales que requieran de los medidores volumétricos, esto genera grandes inconvenientes para las empresas con sede en (Neiva, Huila, Colombia) y sus alrededores. Los inconvenientes generados pueden ser variados, desde el incremento en los costos de operación hasta el no aseguramiento de los procesos industriales. La empresaria Serviteins J&I s.a.s evidencio tal ausencia, por tanto, a partir del año 2019 realizaron un

plan piloto de calibración de este tipo de instrumentos para suplir la necesidad regional. En dicho plan piloto se dispuso de equipos alquilados de otras ciudades, incrementando los costos del servicio y reduciendo la competitividad de la empresa en el campo de la metrología. Con el propósito de reducir esta barrera tecnológica se denota la importancia para la organización empresarial Serviteins J&I s.a.s; contar con un equipo de medición patrón (MVP), para destacarse como una empresa líder en el sector de la metrología en el contexto regional.

Desde sus inicios Serviteins J&I s.a.s ha tenido un compromiso con la integración industria universidad, por tanto, incluyo a los autores de este trabajo integral de grado como parte del proceso de diseño y simulación de un Medidor volumétrico patrón (MVP).

La medición comparativa de recipientes volumétricos metálicos e instrumentos de medición tales como transmisores indicadores de flujo conocidos en el ámbito de la instrumentación como (FIT), permite determinar el volumen real de un recipiente para contener o suministrar un líquido, evitando incertidumbres en las mediciones y optimizando el ahorro en costos de producción o manejo de inventarios. Dentro de los beneficios de esta actividad se encuentran, dosificaciones y transferencias correctas del líquido, precisión en el desarrollo de las mediciones, evitar pérdidas de la materia prima y consolida una información veraz del inventario.(López López, 2011). Los medidores volumétricos patrón (MPV) o “serafines”, deben tener adecuadas capacidades nominales y construidos con materiales acordes a la normativa internacional y líquidos que se manipulan. Lo anterior teniendo el cuidado de garantizar que los elementos utilizados en su construcción o cualquier subsecuente contaminación de ellos, no cree un peligro para la seguridad del proceso y el operador. En Colombia, este proceso de medición con MVP’s o “serafines”, se rige bajo parámetros normativos tales como la resolución 77507 de 2016 que establece *“el control metrológico aplicable a los surtidores, dispensadores y/o medidores de combustibles líquidos, utilizados para determinar la cantidad (volumen) de hidrocarburos que se expende y comercializa en las Estaciones de Servicio (EDS) vehicular y fluvial”*. Esta normativa fue de especial interés para el diseño del medidor volumétrico patrón presentado en este documento.



El equipo diseñado debe realizar comparaciones de los fluidos para aforar tanques de almacenamiento, esto con el fin de conocer con precisión los volúmenes dispuestos en recipientes. Este trabajo integral de grado recurrió a las herramientas tecnológicas para su diseño y simulación, proporcionando las bases para futura construcción, pruebas y puesta en marcha de este diseño.

En estimaciones iniciales se calculó un monto inicial de \$ 38'000.000 (treinta y ocho millones de pesos colombianos), con retorno de la inversión en 22 meses. Demostrando la influencia que puede tener este trabajo en la industria regional.

### 1.1.1 Objetivos de la investigación

El objetivo principal de esta investigación es diseñar y simular un medidor volumétrico patrón (MVP) que se adecue a las necesidades técnicas de la empresa SERVITEINS J&I S.A.S.

Los objetivos específicos son:

- Identificar los criterios de diseño necesarios para el prototipo teniendo en cuenta los requerimientos actuales de la compañía;
- Elaborar los diseños de la estructura mecanismo y sistemas electromecánico del prototipo;
- Validar mediante simulación, el diseño del medidor volumétrico. Mediante software *Mediante software Rockwell –Studio 5000-para el PLC y Factory Talk View para el HMI.*

## 1.2 Justificativa

Una de las principales actividades económicas en el departamento del Huila, es la explotación de hidrocarburos. Sin embargo, carece de una infraestructura metrológica adecuada para la calibración de medidores de volumen. Dentro de ese contexto los autores de este trabajo junto con la empresa Serviteins J&I S.A.S concentraron esfuerzos en el estudio de medición de volumen, procesos de calibración, y diseño; así generando conocimiento necesario para el diseño y simulación de un medidor volumétrico patrón (MVP), que se adapte a las necesidades de la industria. En este contexto el proyecto contribuye a reducir la barrera tecnológica presente en Serviteins J&I S.A.S, y promover el avance de la insipiente industria metrológica en la región. Además, la utilización de un sistema de medidor patron, basado este diseño, se presenta como una alternativa

económicamente viable (Construcción estimada en \$ 38'000.000), pues se obtendría retorno en la inversión en el mediano plazo (22 meses).

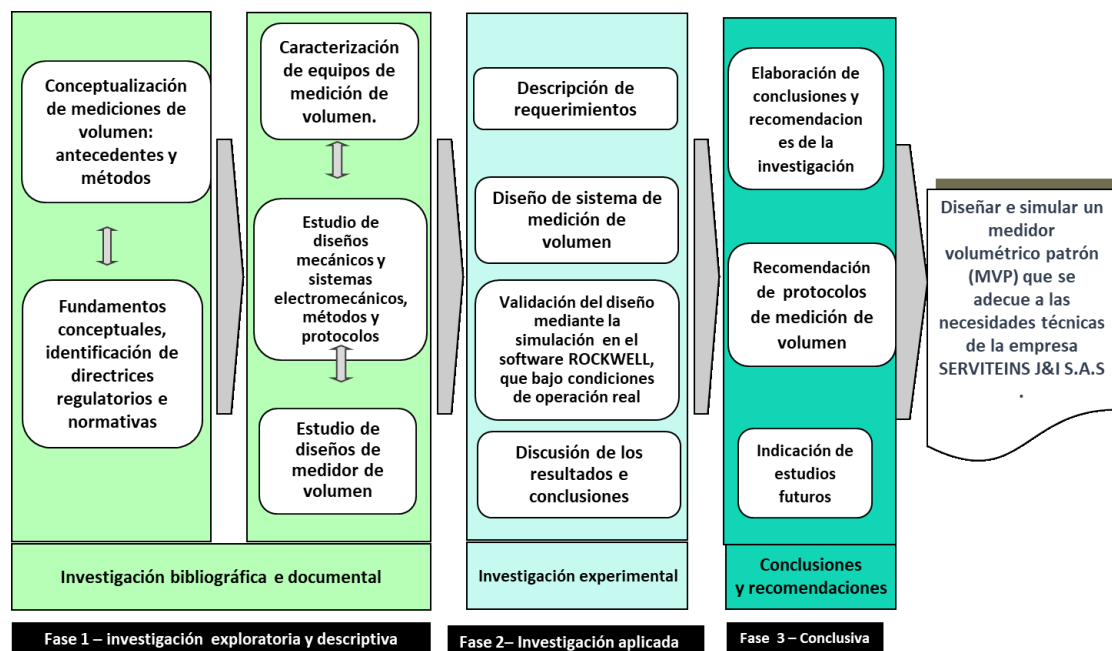
### 1.3 Metodología

La figura 1 presenta el diseño de la investigación, destacando sus componentes y métodos, de acuerdo con tres fases principales: (i) exploratoria y descriptiva; (ii) investigación aplicada; y (iii) conclusiva

Los medios de investigación, la metodología comprende:

- Investigación bibliográfica y documental sobre los temas centrales de la investigación, como es indicado en la fase exploratoria e descriptiva de la figura 1;
- Análisis detallado de medición de volumen en procesos de hidrocarburo, antecedentes y métodos en la literatura;
- Diseño de equipo según parámetros, procedimientos descritos en bibliografía especializada y siguiendo recomendaciones de NBS HANDBOOK 105-3, ISO 17050, ISO 17025, la ISO 10012, OIML R 120:2010. También se tomó en consideración la guía de buenas prácticas del fabricante del medidor escogido.

**Figura 1-1.** Diseño de la investigación



Fuente: Elaboración propia

### **1.3.1 Descripción del Requerimiento**

Para la definición de los requerimientos del sistema fue necesario unas visitas periódicas a las instalaciones de Serviteins, en la cuales se recolectaron informaciones sobre las necesidades de un sistema de medición volumétrico (MVP). Se evidencio que se requería la reducción de la turbulencia en proceso de medición de volumen, con esto podríamos reducir los efectos en la incertidumbre de los trasmisores de presión (FIT), además, se requería que todo el sistema fuese construido con materiales livianos y aislante del calor (rayos solares). también se identificó un limitante en el volumen del equipo utilizado anteriormente.

Para atender estos requerimientos fue propuesto la implementación de un sistema usando un enderezador de venas, que se detalla en capítulo 3.1.2, construido en acero inoxidable en diámetro 1/4" y de 4" de longitud, detallado en el capítulo 3.1.2, y se seleccionó un volumen de 100 gal para aumentar la capacidad operativa del sistema y optimiza la confiabilidad de los resultados, este criterio de selección es descrito más a profundidad en la sección 3.1.1.

### **1.3.2 Condiciones de operación**

el diseño elaborado fue validado mediante la simulación del equipo en el software ROCKWELL, que bajo condiciones de operación real es decir bajo un Lasso del PLC y válvula de control que permitan enviar señal desde el PLC para hacer la apertura y cierre de la válvula automatizada (presión 15 psi, temperatura 60 °F y volumen de 30 galones/minuto). se establecieron parámetros de llenado, monitoreo de variables con el PLC entre otros elementos críticos del proceso. Para el PLC se utilizó el software Studio 5000 el cual permitió realizar la programación y simulación del código para la ejecución del proceso (descrito en capítulo 3.2). Todos los resultados de esta simulación están detallados en el capítulo 4.

Fue necesario una descripción del proceso realizado por los profesionales de la empresa para determinar entre otras cosas, capacidad a medir de los tanques que normalmente se intervienen, mejoras del proceso de medición tales como transporte y manipulación del equipo, lecturas adecuadas de medición y velocidades de llenado entre otros criterios de diseño.

Este equipo se proyecta en su diseño según simulación, los parámetros, procedimientos y estándares enfocados en el cumplimiento básico de la Norma ISO 17025, al igual que con

recomendaciones del fabricante del medidor escogido, componente importante en el equipamiento del prototipo.

Identificados dichos parámetros, se estableció el diseño del equipo con base en las necesidades de la empresa Serviteins J&I S.A.S; de suplir los requerimientos ya mencionados, al contar con el equipo para afrontar las necesidades de verificación de instrumentos de medición de flujo de las empresas locales y así proyectarse en una empresa altamente competitiva en sus labores de calibración y metrología, La capacidad del MVP fue seleccionada para 100 gal por su función operacional ,se buscó un volumen acorde para poder desplazarse en caso de presentarse tareas que conlleven a realizar la mediciones en áreas ajenas a Serviteins, ya que se identificó que los procesos realizados eran para tanques con capacidades cercanas o iguales a este valor. Se realizaron los cálculos respectivos para cada una de los parámetros mecánicos del equipo. Se realizaron los planos de detalle de cada uno de los sistemas del medidor utilizando para ello el programa SolidWorks que permitió no solo el componente CAD sino así mismo el componente CAE. Para el sistema de control del proceso se seleccionó un PLC que permitiese realizar monitoreo de las variables presentes en la medición tales como velocidad, flujo, nivel. Se realizaron los cálculos de la tubería necesaria y la selección del material acorde a la norma ASME B31.3 que permite establecer varios parámetros para el diseño, fabricación en inspección de sistemas de tubería, donde están las especificaciones requeridas; así mismo se tomaron indicaciones de instructivos internacionales como la NBS HANDBOOK 105-3 donde se definen los requisitos dimensionales para los estándares de campo volumétricos habituales de EE. UU. Esto permitió tener parámetros de diseño acordes a las normativas internacionales dando un plus de calidad al diseño entregado.

En tercera instancia, el diseño elaborado fue validado mediante la simulación del equipo en el software ROCKWELL, que bajo condiciones de operación real es decir bajo un Lasso del pls y válvula de control que permitan enviar señal desde el plc para hacer la apertura y cierre de la válvula automatizada, se establecieron parámetros de llenado, monitoreo de variables con el PLC entre otros elementos críticos del proceso. Para el PLC se utilizó el software Studio 5000 el cual permitió realizar la programación y simulación del código para la ejecución del proceso.

al diseño de ingeniería necesario. Según (Blanco Romero, 2018), debe existir una metodología que permita que los autores o un equipo de trabajo puedan realizar de manera sistematizada los pasos requeridos y necesarios para obtener buenos resultados. En dicha explicación de la metodología realizada de indagación, investigación y mitigación de la necesidad del equipo en la organización Serviteins J&I s.a.s, en cada uno de los objetivos específicos puede encontrarse tres fases importantes. La primera de ella está relacionada con la ingeniería conceptual que resume toda la identificación de parámetros de diseño. La segunda fase pactada en el diseño de ingeniería en sí y una tercera fase en la validación del modelo realizado, importante para verificar si lo elaborado cumple con las expectativas enfocadas.

Durante el desarrollo de este trabajo se presentaron algunas limitaciones para su ejecución teniendo en cuenta la anormalidad por covid-19 que aqueja aún a varios sectores laborales y del país. Inicialmente se tenía proyectado realizar la construcción del equipo como estrategia de validación del diseño, pero por situaciones ajenas a los autores de esta investigación, hubo la necesidad de orientar dicha validación mediante software de ingeniería para la simulación de los procesos.

En síntesis, este trabajo de ingeniería desarrollado se enmarca dentro del área de la electromecánica y es pertinente a los procesos laborales donde los autores se encuentran vinculados.



## **2.Marco Referencial, teórico y normativo**

A continuación, en este capítulo se hace una relación del marco referencial necesario para el desarrollo de este trabajo. Además de ello, se incluye un marco conceptual relacionado a la temática relacionada con los (MVP) o serafines y el marco legal que puede llegar a comprender este tipo de equipamientos.

### **2.1 Marco referencial**

Con base en este contexto, algunos autores que se relacionan a continuación han trabajado de manera directa e indirecta en el uso de los MVP o serafines para diferentes trabajos de investigación, permitiendo obtener información representativa en el desarrollo de este trabajo de grado.

Para el año 2011, en el proyecto de grado titulado Calibración De Instrumentos De Medición De Flujo Para Conductos Cerrados de la universidad de San Carlos Guatemala, se realizó una práctica de laboratorio correspondiente a la asignatura de mecánica de fluidos, en el que se pretendió estudiar los principales instrumentos para medición de flujo. Al mismo tiempo como parte experimental, se realizó un sistema físico que produce un caudal en una tubería en la cual se instalaron algunos flujómetros con el propósito de analizar, calcular y observar el comportamiento de este, de igual manera se tuvo en cuenta la instalación de tuberías y la calibración de los cinco medidores, que fueron instalados en serie. Utilizando como referencia el rotámetro para su respectiva comparación, el porcentaje de error obtenido en cada medidor y en el aforo volumétrico, (López López, 2011) Este documento aporta la importancia del equipo patrón de medición volumétrica para constatar la veracidad de y exactitud de los equipos IBC (Instrumento bajo calibración o verificación comparativa).

Para el año 2011 se puede encontrar el trabajo de investigación titulado Mantenimiento Y Calibración Del Medidor De Combustible Gilbarco Serie C de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde el objetivo principal es construir con información correcta y veraz la ficha de mantenimiento, para así prolongar el funcionamiento del medidor volumétrico de combustible Gilbarco serie C. De igual manera se analizó su funcionamiento, los componentes del mecanismo interno de medición, la propuesta de mantenimiento de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y leyes reguladoras del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, donde esclarecen la importancia de las rutinas de mantenimiento, inspecciones periódicas, reparación de averías y procedimientos de calibración en los equipos, de manera paralela las normas establecidas cobran gran importancia para las estaciones de servicio dado que hay un ente regulador y estatutos definidos en cada nación, (Cordón Posadas, 2011). De igual manera en Colombia se rige bajo la norma NTC 3436, donde se ilustran pautas y recomendaciones para la construcción aplicación y mantenimiento de equipos volumétricos (Serafín).

En el año 2006 en el proyecto de grado titulado Diseño Y Construcción De Un Sistema Para Aforar Tanques De Almacenamiento De Cerveza Terminada para la universidad de San Buenaventura, este propone replantear los datos de la capacidad del tanque existente ya que por el tiempo de uso las propiedades del material con que fue fabricado y las del fluido han llevado a la deformidad en su interior. Los resultados obtenidos llevaron a implementar un sistema para la calibración, de tanques de almacenamiento de cerveza que consistía en la medición comparativa por llenado o por vacío, para el aforo de los 18 tanques pertenecientes a CERVECERIA LEONA S.A. Con estos equipos hacia posible aforar dos tipos de depósitos que se encuentran dentro de la cervecería; además de aforar también permitió variar y por lo tanto se puede emplear en otros ámbitos industriales (Russi Beltrán & Castillo Rodríguez, 2006). Es de gran importancia tener en cuenta que además de hacer mediciones volumétricas comparativas, hace parte por estatutos nacionales colombianos cumplir con los estándares y parámetros de calidad al consumidor por ejemplo la medida de expendios de gasolina y biodiesel en bombas de servicio, medición de aguas potables entre otros.

En el 2018 en el proyecto de grado titulado Diseño Y Fabricación De Prototipo De Banco De Pruebas Portátil Para Medidores De Agua Potable para la universidad de Piura en Perú;



tuvo como finalidad construir un equipo para la lectura in situ del caudal, la presión y la temperatura del agua de consumo humano en las conexiones domiciliarias, comerciales e industriales del ámbito de la EPS Grau S.A. Para lograrlo, se hizo un inventario de medidores de agua potable, luego se analizó la confiabilidad de la calibración de los instrumentos de medición de las variables físicas de caudal, temperatura y presión. Con los datos obtenidos se analizó el servicio de producción y distribución de agua potable de la EPS Grau S.A. Además, se incorporó al sistema de adquisición y visualización de datos los instrumentos digitales de medición como: caudalímetro, transmisor de presión y sensor de temperatura, de igual manera permite que los datos recogidos se programaran en Arduino para ser visualizados en una pantalla LCD. Finalmente se construye el equipo, se realizan pruebas de laboratorio para medir su precisión y exactitud llevando a la conclusión que al realizar las mediciones en conexiones y compararlas con las lecturas de los medidores de agua de la EPS Grau S.A. Por lo que se determina que el costo del equipo corresponde a un 80% menos de los que costaría la compra de un dispositivo de marca, para la empresa SERVITEINS J&I SAS es muy importante llevar la trazabilidad y calidad de los servicios brindados, y la comparación con el equipo MPV ayuda a suplir dicha necesidad. (Lindao Miranda, 2018).

En el año 2018 en el documento titulado Parámetros Metrológicos Asociados En La Calibración De Un Medidor De Agua Potable De Clase Metrológica R160 15 mm para la Universidad de Cartagena, buscaba emplear el método de recolección de fluido para la calibración del medidor. Al finalizar la prueba los equipos eran sometidos a un proceso de limpieza con agua de la red y el agua recolectada en los tanques patrones era visualizada a través del vidrio visor. Una vez finalizada la recolección del agua se verifica la estabilización del nivel y se procede con la lectura en el tanque patrón para luego ser comparada con el registro realizado por el instrumento bajo prueba (IBC). Los resultados arrojan la conformidad del medidor de agua de acuerdo a los criterios establecidos por la norma de fabricación de medidores de agua (NTC-ISO /IEC 4064:2016) donde establece los errores máximos permisible (EMP) dentro de los diferentes caudales de prueba, para el proyecto es prioridad entregar un equipo que cumpla la norma NTC-3436 y de esa manera cumplir estándares. (Escandon Beltran & Sierra Garcia, 2018)

En la tesis de grado titulada INSTRUMENTACIÓN PARA SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE MEDICIÓN DINÁMICA DE HIDROCARBUROS para la universidad Cooperativa de

Colombia, en el cual realizan un revisión y análisis de equipos e instrumentos de los sistemas automáticos para transferencia de custodia de hidrocarburos, cuya conclusión se deriva a partir de la medición estática de hidrocarburos, en donde la geometría del contenedor, la presión, la temperatura del fluido y la homogeneidad del producto permiten determinar la cantidad almacenada. Los sistemas de medición dinámica no tienen almacenamiento ya que se miden con equipos de instrumentación muy rápidos, precisos y las características del fluido que varían fuertemente en el tiempo por lo anterior el error en la medición depende de una cadena de incertidumbres asociadas a cada instrumento (Escobar Díaz, Marín Oviedo, & Vacca González, 2018).

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL REEMPLAZO DE MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO POR MEDIDORES MÁSCOS TIPO CORIOLIS EN LAS UNIDADES DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA DE HIDROCARBUROS (LACT) EN EL CAMPO SINGUE es el trabajo realizado por los estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional cuya finalidad fue realizar un análisis para el reemplazo de medidores de desplazamiento positivo por medidores máscos tipo coriolis en las unidades de transferencia de custodia de hidrocarburos (LACT) en el campo Singue; los resultados arrojaron que los medidores de desplazamiento positivo son medidores directos que miden cantidades volumétricas individuales, el caudal que atraviesa el medidor es el resultado de la sumatoria de los volumen individuales, estos poseen partes móviles, por lo tanto son mayormente propensos al desgaste de las mismas, lo que conlleva a que sea necesario aplicar un mantenimiento y seguimiento frecuente para poder detectar y remediar posibles fallas que afecten la exactitud de las medidas (Chamba Rosillo & Tapia Tufiño, Escuela Politécnica Nacional, 2016).

Por otro lado, Torres realizó el trabajo de grado titulado DISEÑO DE SISTEMA DE MEDICIÓN ESTÁTICA PARA TRANSFERENCIA DE CUSTODIA EN TANQUE DE CRUDO, para la universidad Santo Tomás, el cual tiene como objetivo la conceptualización de la solución enfocada a la oportunidad de negocio, de acuerdo a las necesidades presentadas por un cliente independiente que comercializa crudo. Los resultados arrojaron desviación entre las mediciones las cuales propusieron instalar un sistema de medición estática de acuerdo al estándar API MPMS para controlar los niveles alto y bajo del producto (Torres Triana, 2014).

El documento titulado ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE LA ESTACIÓN N°2 “LUMBAQUI” Y MEDIDORES DE TIPO CORIOLIS DE LA ESTACIÓN “SANSAHUARI”, EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS realizado por la estudiante López para la Universidad Central del Ecuador; cuyo objetivo se radicó en la comparación de dos tipos de medidores de flujo de fluidos en las unidades LACT, para procesos de transferencia de custodia. Los resultados arrojaron información detallada sobre los medidores de tipo coriolis que son la mejor alternativa para la medición fiscalizada de hidrocarburos, ya que presentan mejores características técnicas, operativas y económicas, las cuales nos ayudaría a realizar procesos de transferencia de crudo, de una manera más confiable y segura (López Cushicagua, 2018).

El trabajo de grado titulado PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DE MEDICIÓN FISCAL AUTOMÁTICA PARA MEJORAR EL PROCESO DE FISCALIZACIÓN DE CRUDO DE LAS PLATAFORMAS CX-11 Y CX-15 EN EL LOTE Z-1 ZORRITOS-TUMBES, cuyo objetivo fue estudiar la factibilidad de mejorar el proceso de fiscalizaciones del crudo proveniente de las Plataformas CX-11 y CX-15 del Yacimiento Corvina implementando una Unidad de Medición Fiscal (FMU) en el Lote Z-1 Zorritos – Tumbes mar afuera, la cual será muy beneficiosa ya que permitirá medir la cantidad y calidad del crudo recolectado de las Plataformas en tiempo real, redundando en un beneficio económico para la Empresa Operadora y permitirá calcular de manera justa las regalías que corresponden al país. El desarrollo de este proyecto permitió incrementar la precisión en el proceso de medición de petróleo, sustituir las mediciones manuales del registro de crudo, prescindir de la calibración por parte de las compañías acreditadas, generar reportes de producción y calibración automáticamente sin intervención del personal (Mendoza, 2017).

A continuación, aparece los principales conceptos que se estudiaron para desarrollar dicha investigación.

## **2.2 Marco teórico**

En esta sección se describirá los aspectos teóricos necesarios para esta investigación.

### **2.2.1 Medición de flujo**

La medición de flujo de fluidos es un proceso complejo debido a que otras magnitudes tienen una influencia determinante en el comportamiento de los medidores de flujo, en algunos casos es afectado también por instalaciones inadecuadas que producen distorsiones en el régimen de flujo, vórtice y vibración.

Los medidores de flujo se emplean en operaciones tan diversas como: el control de procesos, balances de energía, distribución, emisión de contaminantes, metrología legal, indicación de condición y alarma, hasta lo que probablemente es la aplicación más importante, la transferencia de custodia de fluidos como el petróleo y sus derivados. La medición de flujo de fluidos es un proceso complejo debido a que otras magnitudes tienen una influencia determinante en el comportamiento de los medidores de flujo, por ejemplo: instalaciones inadecuadas, distorsiones en el régimen de flujo, vórtices y vibración.

En aplicaciones industriales como el control de procesos donde la medición del flujo del fluido tiene un alto impacto sobre la calidad del producto final, en los balances energéticos de plantas para evaluar su eficiencia, en la cuantificación de la emisión de contaminantes y en actividades de metrología legal que demandan la garantía de mediciones de buena exactitud o en los sistemas de indicación o alarma, se encuentran siempre medidores de flujo de líquidos (López López, 2011).

### **2.2.2 Factores que influyen en la selección de un medidor de flujo**

Al estudiar el efecto, funcionamiento y las aplicaciones tecnológicas de algunos medidores de flujo, (de los cuales su invención data desde el siglo XIX) como el caso del tubo Venturi, donde su creador luego de muchos cálculos y pruebas logró diseñar un tubo para medir el gasto de un fluido, es decir, la cantidad de flujo por unidad de tiempo, puede decirse que,

principalmente, su función se basó en esto y luego con posteriores investigaciones para aprovechar las condiciones que presentaba el mismo, se llegaron a encontrar nuevas aplicaciones como la de crear vacío a través de la caída de presión. Luego a través de los años se diseñaron equipos como los rotámetros y los fluxómetros, que en la actualidad cuentan con la mayor tecnología para ser más precisos en la medición del flujo.

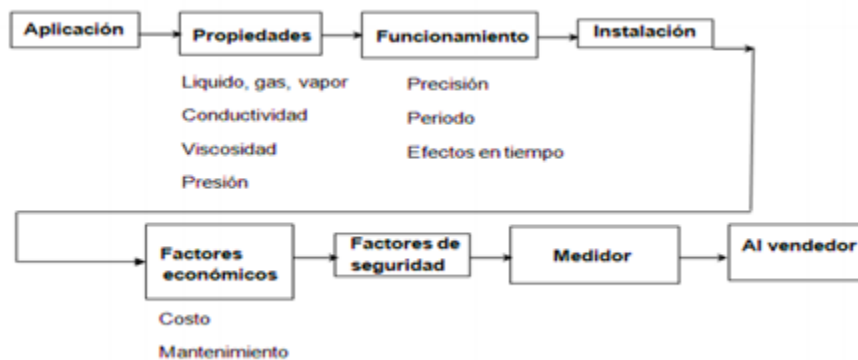
Para la selección del tipo de medidor; se debe tener presente otros factores como: los comerciales, económicos, para el tipo de necesidad que se tiene etc.

El tipo de medidor de flujo usado frecuentemente, depende de la naturaleza del fluido y de las condiciones del proceso bajo las cuales el fluido es medido. Cada tipo de medidor de flujo tiene beneficios y limitaciones que dependen particularmente de dicho medidor y de la aplicación.

Los medidores de flujo se pueden clasificar según reporten unidades de volumen por unidad de tiempo o unidades de masa por unidad de tiempo en: Volumétricos y Másicos.

En la figura 2-1 puede detallarse el proceso para la selección de un medidor de flujo.

**Figura 2-1:** Proceso para la selección de un medidor de flujo



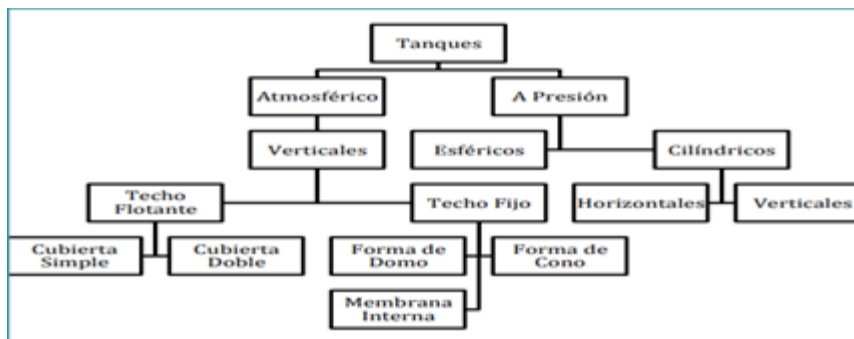
Fuente: (López López, 2011)

### 2.2.3 Tanques de Almacenamiento

El almacenamiento de hidrocarburos y productos derivados es de gran importancia dentro de su proceso de explotación, debido a que permite un correcto uso de los volúmenes de fluido a ser transportados o almacenados, sea este procedimiento realizado: en el lugar de producción, almacenamiento o refinación de hidrocarburos (Chamba & Tapia, 2016).

Los fluidos a almacenarse serán colocados en diversos tipos de tanques. A continuación, en la siguiente figura puede verse una clasificación de los tanques de almacenamiento.

**Figura 2-2:** Clasificación de tanques



Fuente: (ECOPETROL S.A, 2015).

Generalmente, estos recipientes son fabricados de acero y pueden ser atmosféricos si están diseñados para contener hidrocarburos a presión atmosférica igual a 14.7 psi. Si el tanque es presurizado la presión de almacenamiento será igual o menor a 14.7 psi.

### 2.2.4 Medidores volumétricos patrón

Los recipientes o vasijas de almacenamiento, tienen un origen que se centra desde la misma prehistoria o los comienzos de la humanidad. El hombre de la prehistoria transportaba la fruta mediante pieles de animales utilizando como recipientes, así mismo, la cultura de Egipto creó a partir del vidrio, recipientes para el aprovechamiento del hombre. Los chinos desarrollaron a partir del barro, recipientes que les permitía guardar productos

líquidos y sólidos. Sin lugar a dudas, el desarrollo de la cerámica permitió un avance importante en la evolución de objetos que permitieran almacenar ciertos contenidos.

La palabra *recipiente* es un término que significa “que recibe”, en su derivado en latín y para efectos de este trabajo podría decirse que recipiente volumétrico tendrá el mismo significado de medidor volumétrico. En varia literatura es posible encontrar que la palabra *Recipiente* es sinónimo de volumen. Cuando comenzó el sistema métrico se propuso que un 1 kg correspondía a la masa de 1 dm<sup>3</sup> de agua pura en su mayor densidad estando a una temperatura promedio de 4 °C. En la figura siguiente puede apreciarse un *recipiente* del neolítico, a base de cerámica.

**Figura 2-3:** Recipiente época neolítico



Fuente: (Casilla G, 2018)

Desde 1901 hasta 1964, se pudo encontrar que la relación de masa vs volumen estaba dada porque el nombre “litro” iba a corresponder a definir el volumen de 1 kg de agua a 4 °C.

$$1 \text{ litro} = 1.000\ 028 \text{ dm}^3$$

Ya en 1964 se estableció que 1 l equivale a 1.000 000 dm<sup>3</sup>.

Un recipiente o medidor volumétrico es un contenedor de medición que permite realizar el ejercicio de determinar de manera estática, el volumen de líquidos específicos o volúmenes desconocidos.

Actualmente, los medidores más comunes encontrados en el mercado son los conocidos como tipo “Serafín”, cuya característica y figura representativa es un cuello angosto donde va colocada una escala graduada que permite medir o indicar el volumen nominal y las variaciones mínimas de volumen que pueden apreciarse en este cuello.

En general, son recipientes o medidores donde su volumen está definido por su capacidad nominal, por la lectura de su marca graduada o por la indicación de su volumen en su escala. En la Figura 2-4 se tiene un recipiente patrón acreditado con una capacidad para 20 l y una división de escala de 0.01 l. Su clase nominal es de 0.05% y el material de construcción es acero inoxidable.

**Figura 2-4:** Recipiente patrón 20 l



Fuente: (Casilla G, 2018)

Se ha mencionado anteriormente que el uso apropiado de recipientes o medidores volumétricos en los niveles de producción, ayuda a promover la precisión y uniformidad de volúmenes en el ámbito de las mediciones de flujos líquidos.



## 2.2.5 Clase nominal

La clase indicada en un recipiente tiene carácter nominal. Es muy recomendable considerar que la exactitud de un instrumento en general y un recipiente en particular, se determina mediante su calibración y su correspondiente incertidumbre asociada. (Casilla G, 2018)

- **Determinación de la clase nominal de un recipiente volumétrico**

**Datos del recipiente volumétrico**

- Cap: Capacidad: 500 l
- Div.esc: División de escala: 0,2 l

**Fórmula de cálculo**

$$\% \text{ Clase nominal} = \frac{\text{Div. Esc}}{\text{Cap}} \times 100$$

Los cálculos son los siguientes:

$$\% \text{ Clase nominal} = \frac{0,2 \text{ l} \times 100}{500 \text{ l}}$$

$$\% \text{ Clase nominal} = 0,04\%$$

En la Figura 2-5 puede apreciarse un recipiente volumétrico utilizado para el cálculo de la determinación de clase nominal.

**Figura 2-5:** Recipiente patrón 500 l

RECIPIENTE  
PATRÓN NACIONAL  
Capacidad: 500 Litros  
División de escala: 0,2 Litros  
Clase Nominal: 0,04%  
Material: Acero inoxidable



Fuente: Recipiente Patrón Nacional (Casilla G, 2018)

## 2.2.6 Clasificación M.V.P

Normalmente se pueden encontrar clasificaciones de recipientes o medidores volumétricos de acuerdo al nivel de exactitud que se puede lograr en cada uno de estos equipos. Por dicha exactitud estos pueden ser clasificados en:

- **Recipientes volumétricos metálicos**

Estos son utilizados normalmente para la medición de volúmenes de líquidos; lo conforman un cuello, un cuerpo y en algunos casos, con sistema de desagüe y se pueden encontrar desde 1 l hasta los 5000 l. En la siguiente figura se puede detallar uno de estos equipos.

**Figura 2-6:** Recipiente volumétrico metálico



Fuente: (ECOPETROL S.A, 2015)

- **Tanques medidores de volúmenes**

Estos recipientes tienen la característica que pueden ser utilizados para solo almacenamiento de líquidos. Son recipientes de gran capacidad, que cuentan con una escala graduada que, como se mencionó anteriormente, pueden ser solo depósitos o pueden ser utilizados como instrumentos de medida. Se pueden encontrar recipientes con capacidades desde cientos de litros hasta varios miles de metros cúbicos.

**Figura 2-7:** Tanque medidor de volumen

Fuente: (Escandon Beltran & Sierra Garcia, 2018)

- **Instrumentos volumétricos de laboratorio**

Son fabricados normalmente en vidrio y son aquellos utilizados para las mediciones de laboratorio, pruebas y/o ensayos en estos espacios. Pueden ser usados de igual manera para la verificación de contenido de productos pre-empacados. Sus capacidades son pequeñas y están desde el orden de los mililitros hasta algunos litros.

En instrumentos volumétricos de laboratorio, es recomendable tener en cuenta para los errores máximos permisibles y otros requerimientos técnicos, seguir las recomendaciones de la norma la ISO 10012, y los comités técnicos de la OIML (OIML, 2015), (ALVES & CARVALHO, 2018),(Métrologie Légale, 2010). A continuación, en la siguiente figura puede detallarse un recipiente volumétrico de laboratorio.

**Figura 2-8:** Instrumentos volumétricos de laboratorio

Fuente:(Chamba & Tapia, 2016)

### **2.2.7 Criterios físicos principales**

En la construcción de este tipo de instrumentos, se requiere tener en cuenta una serie de parámetros que permitan la calidad del equipo. Entre esos parámetros se encuentran:

- **Material de construcción**

Los materiales con los que se construye cualquier equipo deben contar con un riguroso proceso de selección, ya que se debe tener en cuenta la interacción de estos con el medio donde operarán. Los medidores volumétricos no son la excepción y en este caso, todas las partes del medidor que lleguen a entrar en contacto con la sustancia, deben ser químicamente resistentes al contacto con el líquido con el que van a interactuar. Estas partes deben ser resistentes y que no se corroan.

Generalmente, los medidores volumétricos son construidos en acero de bajo carbono o acero inoxidable. La diferencia puede radicar, al momento de su construcción, en líquidos en específico que solo trabajan el acero al bajo carbono y los costos de cada uno de estos materiales. El acero inoxidable es más multipropósito que el otro.

Ya dentro del interior del recipiente, la superficie debe ser completamente lisa. Se debe evitar que existan impedimentos para que el líquido quede vertido en el recipiente. Así mismo, la superficie externa debe tener un espesor adecuado de tal manera que por temperaturas u otros factores, el líquido no deforme el recipiente y coloque en peligro al operario y el proceso.

- **Tamaño de los recipientes**

El tamaño de un recipiente volumétrico está estandarizado a nivel instrumentos de medición. Hoy día es fácil encontrar diferentes capacidades para medidores volumétricos. Entre ellos se pueden tener valores de  $1 \times 10^n$ ,  $2 \times 10^n$ ,  $5 \times 10^n$ , unidad de volumen, donde n es un número entero positivo o negativo o cero (Portaria Inmetro N° 064, 2003). Esto facilita la calibración de los recipientes volumétricos. A continuación, en la siguiente figura se puede apreciar algunos de los diferentes recipientes volumétricos o M.V.P que se encuentran en el mercado.

**Figura 2-9:** Recipientes volumétricos de 20 l, 10 l y 5 l

Fuente: (Casilla G, 2018)

Un recipiente volumétrico requiere necesariamente tener una información de identificación de características técnicas. Esta debe ser claramente identificable y dentro de dichos parámetros debe tener:

- Marca o nombre del fabricante
- Capacidad nominal indicada en litros
- Modelo
- Año de fabricación
- N° de serie
- Tipo de material en el que está fabricado
- Coeficiente de expansión cúbica del material en el que está fabricado (°C o °F)
- Temperatura de referencia
- Indicación del flujo de escurrimiento después de la interrupción del flujo principal.

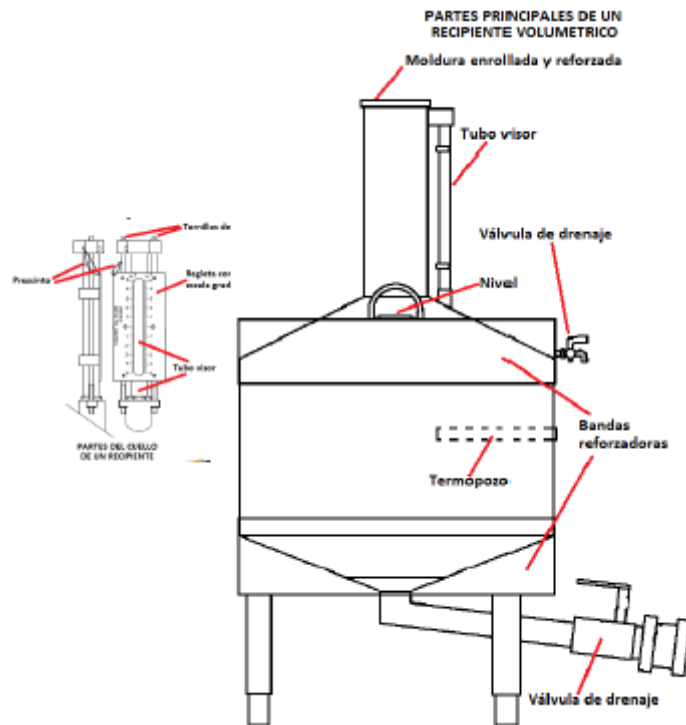
Todos estos parámetros permiten caracterizar cada uno de los recipientes volumétricos. Además de ello, dichos parámetros de construcción están dentro de las normativas para la calibración de este tipo de equipos como la NIST Handbook 105-3 que permite establecer todas estas medidas.

- **Construcción e instalación**

Por lo general, los recipientes o medidores volumétricos deben ser construidos en forma de vasos simétricos que permita una mayor robustez. Además de ello, la construcción del recipiente debe tener en cuenta que no se formen burbujas de aire durante el llenado del

instrumento y que no se permita restos de agua en el proceso de vaciado. Estos son criterios importantes para la construcción del recipiente.

Para la instalación de los mismos, se debe tener en cuenta que los recipientes queden fijos de tal forma que su posición o inclinación no se vean afectados ya que puede llevar a una mala lectura del proceso. Se deben tener accesorios apropiados como un instrumento de nivel que permita verificar la condición anterior. En la Figura 2-10 se relaciona un recipiente volumétrico y las partes que lo conforman.

**Figura 2-10:** Partes principales de un recipiente volumétrico

Fuente: (Casilla G, 2018)

### 2.2.8 Requerimientos metroológicos básicos

Así como se tienen parámetros básicos para la construcción de un recipiente volumétrico, en el diseño y construcción se requiere establecer unos requisitos mínimos metroológicos. Estos se refieren a error máximo permisible, la sensibilidad y la escala de graduación del cuello.

El error máximo permisible se refiere al valor extremo del error de medida, que puede tener un instrumento de medición, teniendo en cuenta la normativa o especificaciones, con respecto a un valor de referencia. Para un recipiente volumétrico según la OIML R 120:2010 es de  $\pm 0.05\%$  de la capacidad nominal del recipiente (Métrologie Légale, 2010).

La sensibilidad de un recipiente es la requerida si se cumple que la variación del volumen puede llegar a representar cambios de hasta 3 mm en el nivel del líquido y está debe ser posible apreciarle en la regleta del recipiente.

La escala de graduación del cuello es importante ya que juega un papel importante en la medición del proceso. Debe tener las marcas correspondientes a la capacidad nominal y las divisiones sucesivas de al menos 1% de su capacidad. Si el recipiente tiene una capacidad de 20 l, la graduación de la regleta del cuello al menos debe indicar 200 ml hacia arriba y 200 ml hacia abajo.

### **2.2.9 Calibración y verificación**

Según el vocabulario internacional de metrología, la calibración está definida como “operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación” (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados, 2012).

- **Calibración de recipientes por método volumétrico**

El método volumétrico se basa en la transferencia de líquidos desde un recipiente patrón que ha sido calibrado con un nivel de exactitud significativamente superior a otro recipiente de menor exactitud. Este método se utiliza cuando la capacidad de un recipiente es tan grande que el uso del método gravimétrico es impracticable o los EMP de la balanza disponible son mayores a los del recipiente a calibrar. (Casilla G, 2018)

Es necesario disponer de otro recipiente de mayor precisión que proporcione el valor convencionalmente verdadero. Solo a través de la calibración de un equipo de medición respecto de patrones con trazabilidad internacional, se pueden asegurar las mediciones.

Normalmente se debe tener en cuenta que los procesos de calibración dependen de varios factores, uno de ellos la robustez del equipo frente a las condiciones de uso. Por estas razones normalmente se puede establecer que las frecuencias de calibración pueden estar dadas entre 6 y 24 meses.



Calibrar no significa necesariamente que el instrumento está trabajando de manera adecuada funcionalmente. Lo que realmente significa la calibración es que se puede saber la diferencia entre lo que el instrumento indica y lo que este debiera indicar. Todas estas informaciones se encuentran registradas en los certificados de calibración de los equipos.

El uso frecuente del equipo, el paso del tiempo, la interacción de los líquidos que se manipulan o el mismo contacto con el medio ambiente de los materiales y elementos del equipo llevan a que estos pueden presentar falla. Normalmente y dentro de los procesos de mantenimiento, el proceso de calibración evita que se presenten fallas que hagan que el equipo quede inhabilitado.

Los equipos se calibran por:

- Mantener y verificar el buen funcionamiento de estos equipos
- Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad.
- Garantizar la confiabilidad de la trazabilidad de sus mediciones.

Siempre es necesario y sobre todo en los procesos industriales, mantener equipos de medición debidamente calibrados.

En la calibración de un recipiente o medidor volumétrico, los resultados obtenidos se pueden considerar válidos si la incertidumbre expandida de la calibración tiene un valor que pueda representar una quinta parte del error máximo permitido en las pruebas de aprobación del modelo y un tercio del error máximo permitido en las pruebas de verificación. Para recipientes volumétricos el error máximo permisible debe ser  $\pm 1/2000$  o 0,05% de la capacidad nominal del recipiente. (Casilla G, 2018)

- **Verificación**

La verificación consiste en establecer si están cumpliendo con los requerimientos como errores permisibles o tolerancias, apoyados en evidencia objetiva y estándares internacionales. Es una etapa posterior al proceso de calibración y no se puede hablar de verificación si no hay una calibración previa y segura.

## 2.3 Marco Normativo

A continuación, se hará mención de diferentes normativas que se encuentran relacionadas en la industria de hidrocarburos y se deben tener presente en la manipulación de equipos que intervienen procesos de medición y calibración de tanques de almacenamiento.

La primera de ellas es la resolución 41251 del 23 de diciembre de 2016, que reglamenta la medición del volumen y la determinación de la calidad de los hidrocarburos producidos en el país para la adecuada liquidación de las regalías y contraprestaciones económicas en favor del Estado. Menciona que teniendo en cuenta el artículo 07 de la resolución 40048 de 2015 establece que los equipos de medición de hidrocarburos, la obligación de preservar su integridad, la periodicidad con la cual estos deben calibrarse, las certificaciones con las cuales estas deban contar y los demás requerimientos que sean necesarios para desarrollar esta actividad, serán reglamentados por el ministerio de energía y energía. (GOBIERNO DE COLOMBIA, 2016)

La norma NTC ISO 10012, es una norma internacional que especifica requisitos genéricos y proporciona orientación para la gestión de los procesos de medición y para la confirmación metrológica del equipo de medición utilizado para apoyar y demostrar el cumplimiento de requisitos metrológicos. Especifica los requisitos de gestión de la calidad de un sistema de gestión de las mediciones que puede ser utilizado por una organización que lleva a cabo mediciones como parte de su sistema de gestión global, y para asegurar que se cumplen los requisitos metrológicos (ICONTEC, 2003).

Resolución 77507 de 2016 Reglamenta el control metrológico aplicable a surtidores, dispensadores y/o medidores de combustibles líquidos. Esta se convierte en un reglamento técnico primordial para ser aplicable a los surtidores, dispensadores y/o medidores de combustibles líquidos, utilizados para determinar la cantidad (volumen) de hidrocarburos que se expende y comercializa en las estaciones de servicio (EDS) vehicular y fluvial públicas de acuerdo con las definiciones previstas en los artículos 2.2.1.1.2.2.1.4 y 2.2.1.1.2.2.1.5 del Decreto número 1073 de 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, con el fin de reducir o eliminar la inducción a

---

error a los consumidores y usuarios en general, asegurando la calidad de las mediciones que proveen este tipo de instrumentos de medición.(Resolución 77507, 2016)

La norma NTC 3436 de metrología sobre recipientes volumétricos metálicos, establece los requisitos de construcción y calibración que deben cumplir dichos recipientes. Esta norma permite orientar los requisitos mínimos que se deben tener en cuenta en la construcción de *seraphines*, los materiales utilizados, las especificaciones de calibración, medida e instrucciones relacionadas con los protocolos para la medición de tanques de almacenamiento de fluidos.

Por último y no menos importante, se cita la norma NIST HANDBOOK 105.-3 que corresponde a una norma internacional americana que determina las especificaciones y tolerancias para estándares de referencia y estándares de campo, pesos y medidas. Esta norma está enfocada a especificaciones y tolerancias para recipientes o medidores volumétricos con tipo de cuello graduado y estándares de campo volumétrico. (NBS-HANDBOOK-105-3, 2010)



### 3. Diseño y simulación

Con base en la información obtenida de manera preliminar con todo lo relacionado a tipos de tanques que interviene la empresa Serviteins J&I s.a.s durante sus procesos de medición y calibración, se establecen diferentes parámetros de diseño que conllevan a la concepción del equipo necesario para la organización.

La metodología empleada, sección 1.3, para definir los criterios de diseño son las visitas en campo que permiten documentar los alcances que requiere el equipo de manera técnica y el soporte con las normas para la construcción de este tipo de equipos y las indicaciones que estos deben tener. En la figura 3-1 se puede observar el sistema utilizado por la empresa, con equipos rentados y limitados a las exigencias.

**Figura 3-1:** Sistema utilizado en Serviteins J&I s.a.s



Fuente: Elaboración propia

### **3.1 Definición de parámetros**

En primera instancia, el parámetro de diseño inicial está relacionado a la capacidad volumétrica que debe tener el medidor o serafín para atender la necesidad de la empresa. Tales como la limitación de los volúmenes, falta de accesorios e instrumentos requeridos para el óptimo desempeño de las funciones del medidor, para el proceso comparativo de los instrumentos bajos calibración (IBC), versus volúmenes medidos en el serafín.

En este orden de ideas, los parámetros que han seleccionado los autores y que se deben tener en cuenta para el modelamiento del equipo son:

- Volumen del MVP
- Equipamientos requeridos para MVP
- Instrumentación requerida para el MVP

Cabe resaltar que en gran parte de estos parámetros se tienen en cuenta los modelos comerciales que se encuentran en este momento en el mercado siendo este un punto de partida dado que la organización ha utilizado estos a lo largo de su operación con una eficiencia bastante alta.

#### **3.1.1 Volumen del (MVP)**

Para la selección del volumen del medidor, se tuvo como parámetros iniciales las experiencias previas (descritas en la sección 1.3.1), de los procesos de medición y calibración de tanques que ha realizado SERVITEINS J & I S.A.S. Dentro de sus bitácoras de trabajo se puede determinar que los equipos alquilados o suministrados por proveedores son de capacidades nominales que están entre los 90 gal y 100 gal.

Para calcular el volumen de (MVP) se tienen dos cilindros; la parte de mayor área que es el cuerpo del (MVP) y el cuello de este; a su vez para el cálculo de las dos partes cónicas superior e inferior se toma como referencia, la norma NBS HANDBOOK 105-3 que dentro de su contenido se encuentran los requisitos dimensionales para estándares de campo volumétrico que se detallar en Tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Requisito dimensional para los estándares de campo volumétricos habituales de EE.UU

Tamaño (L)	Espesor mínimo del metal* (in)	Máximo diámetro interno del cuello superior ** (in)	Calibre de tubo del diámetro interno (in)	Paso mínimo del cono superior	Paso mínimo del cono inferior	Tamaño de drenaje Min / Max (in)
5	0,0312	2,25	0,5	35°	---	--- / ---
10	0,0312	3	0,5	35°	20°	1.5 / 2.25
20	0,0312	4	0,5	35°	20°	1.5 / 2.25
50	0,0312	5	0,5	35°	20°	1.5 / 2.25
100	0,109	5	0,625	25°	20°	1.5 / 2.25
200	0,109	7	0,625	25°	20°	2 / 3
500	0,109	10	0,625	25°	20°	2 / 3
1.000	0,109	17	0,625	25°	20°	2 / 3
2.000	0,141	17	0,625	25°	20°	3 / 4.5
3.000	0,172	20	0,625	25°	20°	4 / 6
3.800	0,172	20	0,625	25°	20°	4 / 6
5.000	0,172	20	0,625	25°	20°	4 / 6

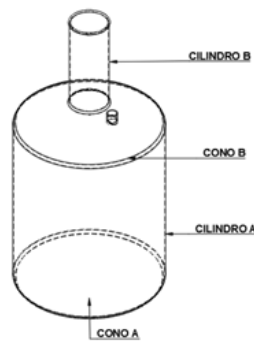
\* El espesor es intencionalmente nominal.

\*\* El diámetro interno puede variar; los factores críticos a ser considerados, los cuales afectan el diámetro interno del cuello son, el volumen por encima y en volumen nominal por debajo, el tamaño de la graduación, mínimo espacio entre graduaciones, el uso de tuberías de llenado y sistemas de recuperación de vapor.

Fuente: traducido de NBS-HANDBOOK-105-3

La estructura del (MVP) está distribuida en sus dos conos y sus dos cilindros como se puede apreciar en la Figura 3-2.

**Figura 3-2:** Estructura básica del MVP



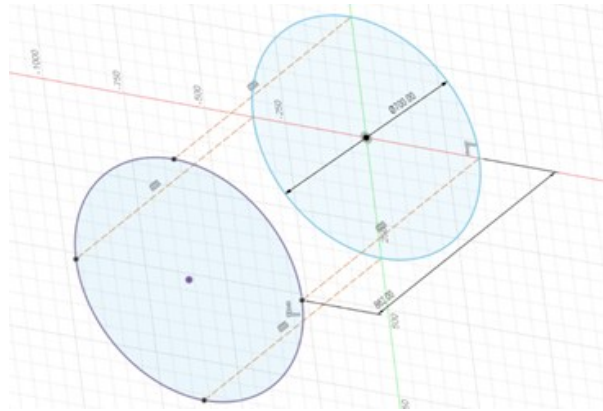
Fuente: Elaboración propia

Siguiendo las recomendaciones del Handbook 105-3, y con base en la necesidad de la empresa se diseña un recipiente con características cilíndricas y cónicas, como se puede observar en la figura 3-2. Los cálculos para el volumen y/o capacidad del equipo son los siguientes:

$$\begin{aligned}v_{CA} &= \pi * r^2 * h && (3.1) \\v_{CA} &= 3.14.16 * 35^2 * 86.2 \\v_{CA} &= 331.7 \text{ l}\end{aligned}$$

Con la ecuación 3.1 se determina el volumen de un cilindro,  $v_{CA}$ , a partir de la altura, h, y el radio, r. Para el cilindro A, que es el más grande, se realizó el dimensionamiento, que se encuentra ilustrado Figura 3-3, se destaca que en este cilindro se encuentra el medidor.

**Figura 3-3:** Dimensionamiento del cilindro A



Fuente: Elaboración propia

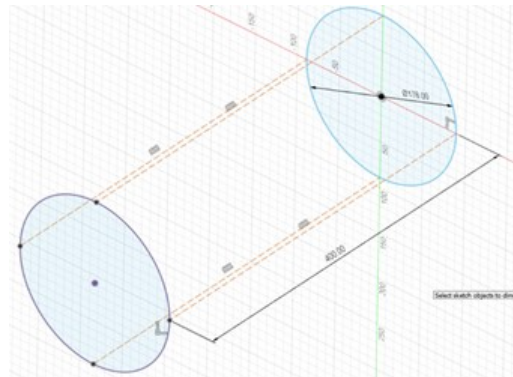
Para el cilindro B también se utiliza la ecuación 3-1 que permite calcular el volumen del cilindro,  $v_{CB}$ :

$$\begin{aligned}v_{CB} &= 3.1416 * 20^2 * 17.8 \\v_{CB} &= 10 \text{ l}\end{aligned}$$

En la Figura 3-4 se observa el dimensionamiento dado al depósito cilíndrico B o (cilindro B), se destaca que en este cilindro se encuentra la regleta de medición.



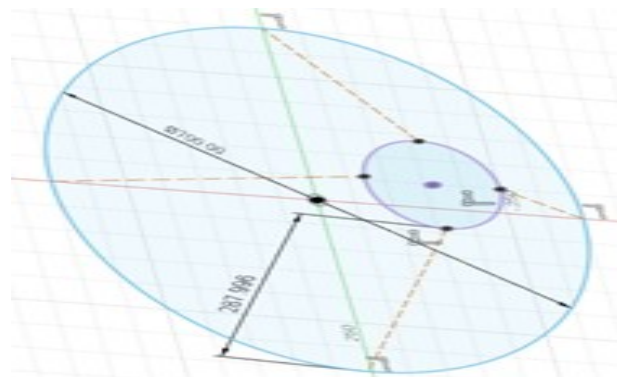
**Figura 3-4:** Dimensionamiento del cilindro B



Fuente: Elaboración propia

Para las secciones cónicas del (MVP) se calcula la inclinación teniendo en cuenta las indicaciones de la tabla anterior Tabla 3-1 las cuales mencionan unas desviaciones entre 20° y 25° como se muestra en la Figura 3-5.

**Figura 3-5:** Desviaciones



Fuente: Elaboración propia

Para calcular el volumen de los conos A,  $v_{CA}$ , B,  $v_{CB}$ , se establece la ecuación (3.2); así mismo, la ecuación (3.3) se convierte en el área del círculo,  $AB$ , que es la sección transversal mayor del cono. A continuación, el cálculo del volumen de los dos conos del recipiente y el volumen total,  $v_{total}$ .

$$v = \frac{AB * H}{3} = \tag{3.2}$$

$$AB = \pi * r^2 \tag{3.3}$$

$$AB = 3.1416 * 35^2$$

$$AB = 3848.4 \text{ cm}^2$$

$$v_{CA} = \frac{3848.4 * 16.3}{3} = 20.9 \text{ litros}$$

$$v_{CB} = \frac{3848.4 * 12.7}{3} = 16.29 \text{ litros}$$

$$v_{total} = v_{CA} + v_{CB} + v_{CA} + v_{CB}$$

$$v_{total} = 378.9 \text{ litros} = 100.6 \text{ gal}$$

### 3.1.2 Estructura y accesorios

La estructura de la instalación del (MVP) se compone de válvulas, y accesorios para la simulación del sistema en condiciones de operaciones reales.

Para esta instalación se plantean algunas mejoras con las que se buscan optimizar el rendimiento de sus materiales; por consiguiente, obtener una mayor estabilidad térmica en el (MVP), con el fin de reducir la variación del volumen con respecto a la temperatura (que varía en el transcurso del día). También se propone en este diseño, la instalación de un enderezador de vena al inicio de la sección de tubería, lo cual permite una mayor estabilidad y mejora el flujo laminar del fluido que circula.

En la Tabla 3-2, se hace un inventario de los accesorios requeridos para el complemento del sistema medidor volumétrico patrón. Se destaca que se escogieron instrumentos con un diámetro de 2" (pulgadas) por la fácil adquisición y por demanda del mercado local (para su comparación y calibración).

**Tabla 3-2:** Accesorios sistema M.V.P

Ítem	Descripción	Dimensión	Cantidad	Especificaciones
1	BOMBA CENTRIFUGA	2" X 2"	1	Hierro fundido ASTMA-48 clase 30 / 92 gal/min
2	BRIDA SLIP-ON	2" ANSI 150	16	Acero al carbón ANSI 150 RF
3	ESPARRAGO DE	5/8" x 3"	32	Grado 8 doble tuerca
4	FLEXITALICO	2" x 150	8	
5	FILTRO TIPO Y	2" x 150	1	Malla filtro
6	NIPLE 2" ROSCADO	2"x 6"	2	SCH 40
7	VÁLVULA DE BOLA	2"	2	Roscada npt
8	ENDEREZADOR DE VENA	2" x 5/16"	1	
9	MEDIDOR FLUJO BAJO IBC	2" x 150	1	Bridado
10	MEDIDOR FLUJO PATRON	2" x 150	1	Bridado
11	THREDOLET	2" x 1/2"	1	Roscado x 3000
12	TRANSMISOR DE PRESIÓN ROUSEMOUNT	1/2"	1	Rango de 0-1000 psi
13	TRANSMISOR DE TEMPERATURA ROUSEMOUNT	1/2"	1	Rango de 0-150 °C
14	VÁLVULA DE CONTROL FISHER	2" x 150	1	Vástago deslizante Fisher 657
15	VÁLVULA CHEQUE	2"	1	Roscada de lengüeta

Fuente: Elaboración propia

Los criterios de selección para los componentes básicos son:

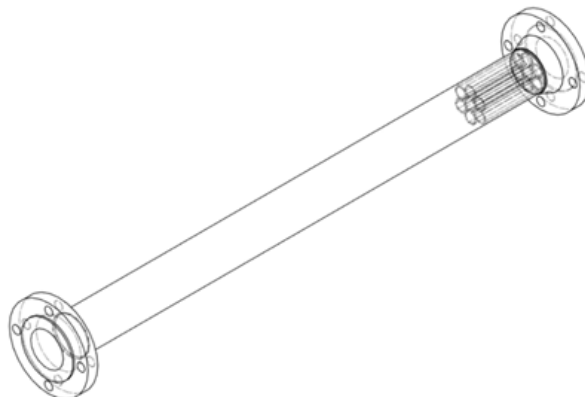
(i) La bomba centrífuga: basada en el modelo existente de la empresa SERVITEINS J&I SAS; (ii) Brida slip-on: Bajo costo y sencilla instalación; (iii) Esparrago de 5/8" x 3": Tamaño acorde al rating de la brida; (iv) Flexitalico 2" x 150: Tamaño acorde al rating de la brida; (v) Filtro tipo y 2" x 150: Tamaño adecuado y malla acorde a la filtración del fluido; (vi) Niple 2" roscado 2"x 6": Acorde a los ajustes requeridos en la instalación de los medidores; (vii) Válvula de bola: Fácil acceso de mercado; (viii) Medidor flujo patrón: Confiabilidad en su medición, respaldo de distribuidor; (ix) Threadolet: Fácil adherencia con soldadura; (x) Transmisor de presión rousemount: Confiabilidad en la medida; (xi) Transmisor de temperatura rousemount: Confiabilidad en la medida; (xii) Válvula de control Fisher: Fácil acceso en el mercado y respaldo del distribuidor en Colombia; (xiii) Válvula cheque "Anti retorno": Fácil acceso en el mercado y bajo costo.

- **Enderezador de Vena**

Para el enderezador de vena, se plantean secciones de tubería de  $\frac{1}{4}$  " de pulgada por una longitud de 4" pulgadas en acero inoxidable, estas están ubicadas después de la boca de la brida de entrada, y en medio de la válvula de bola y el medidor Instrumento bajo medición y calibración "IBC". Posteriormente se encuentra una sección de tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor de flujo.

En la Figura 3-6 se aprecia el modelo de enderezador de vena utilizado en el diseño del sistema.

**Figura 3-6:** Enderezador de vena de la instalación



Fuente: Elaboración propia

### **3.1.3 Análisis de flujo**

Para el análisis de flujo del sistema se calcularon principalmente la potencia de la bomba, la carga de la bomba, las pérdidas primarias y secundarias, y la velocidad en la línea de fluido. Para el cálculo de la potencia se usa la ecuación (3.3).

$$P = \frac{r * Q * Ha}{n} \quad (3.3)$$

Donde la potencia es (P), peso específico (r) caudal (Q) carga añadida (Ha) eficiencia (n).

Para calcular la carga añadida, se utilizó la ecuación (3.4) basados en las condiciones reales de operación de la bomba (en este caso se tienen datos en el depósito y el depósito A se tomará desde antes de la succión de la bomba a una altura de 1 m del suelo).

$$\frac{PA}{r} + \frac{VA^2}{2g} + ZA + HA - HE - HI = \frac{PB}{r} + \frac{VB^2}{2g} + ZB \quad (3.4)$$

Donde **PA** = es la carga de presión **A**, **r** es el peso específico, **VA** es la velocidad a o velocidad de entrada, **g** es gravedad, **ZA** es la carga de posición, **HA** es la carga añadida de la bomba, **HE** es la carga si hubiera turbina, **HI** es la carga de presión del depósito, **PB** es la carga de presión **b**, **VB** es la velocidad de **B** o velocidad de salida, **ZB** es la carga de posición de **B**

Debido a que la succión es tipo atmosférica, la carga, presión y de velocidad son iguales a cero, simplificando en la ecuación (3.5):

$$\frac{PA}{r} + \frac{VA}{2g} = 0 \quad (3.5)$$

De igual manera se debe tener en cuenta que el sistema no tiene turbinas, lo cual permite deducir que no hay carga extraída Ecuación (3.6). También el depósito B o el mismo (MVP) es un recipiente cerrado se puede decir que su presión es un poco mayor a la presión atmosférica, por consiguiente, la velocidad también tienda a cero ecuación (3.7) (se puede entender que el agua debería estar en calma).

$$HE = 0 \quad (3.6)$$

$$\frac{VB}{2g} = 0 \quad (3.7)$$

### 3.1.4 Carga añadida de la bomba

A continuación, se realizan los respectivos cálculos para determinar las pérdidas primarias y secundarias. Para ello se utiliza la siguiente ecuación de continuidad (3.8) donde  $Q$  es el caudal,  $V$  es la velocidad media en la sección,  $A$  es el área en la sección de flujo; y  $D$  es el diámetro de la sección interna.

$$Q = A * V \quad (3.8)$$

Despejando

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.9)$$

$$Q = 92 \text{ gal/min}$$

$$Q = 0.0069 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 0.063 \text{ m}^2 \quad D = 0.2832 \text{ m}$$

Puede determinarse que, para hallar la velocidad lineal, velocidad que debe tener el fluido dentro del sistema para evitar fenómenos de cavitación o turbulencia en la línea, se hace un reemplazo de los datos en la fórmula de la ecuación (3.9):

$$V = \frac{0.0069 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.063 \text{ m})^2}{4}}$$

$$V = 2.02 \text{ m/s}$$

- Pérdidas por fricción en la línea de flujo

Para determinar estas pérdidas, y teniendo en cuenta que el material de la tubería es de acero inoxidable, es necesario determinar la rugosidad relativa que puede ser hallada con la ecuación (3.10), donde ( $\epsilon$ ) es rugosidad absoluta y, ( $D$ ) es el diámetro.

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\epsilon}{D} \quad (3.10)$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{5 \times 10^{-5} \text{ m}}{0.063 \text{ m}}$$

$$Rugosidad\ relativa = 0.00079$$

- Rugosidad Relativa Enderezador De Vena

$$Rugosidad\ relativa = \frac{5 \times 10^{-5} m}{0.056 m}$$

$$Rugosidad\ relativa = 0.00089$$

- Número De Reynolds

La ecuación (3.11) permite determinar el número de Reynolds ( $Re$ ), donde  $V$  es la velocidad relativa, ( $D$ ) es el diámetro y ( $\nu$ ) viscosidad cinemática del agua a 30 °C es igual a  $0.803 \times 10^{-4}$ .

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (3.11)$$

Se selecciona 30 °C la temperatura del fluido debido a que es un criterio de diseño adecuado para obtener una mayor eficiencia del paso de este por la bomba. Así mismo, esta temperatura es un valor promedio en ciudades como Neiva y sitios donde se realizan este tipo de pruebas. Esto conlleva a que el cálculo del número de Reynolds permita orientar un mejor diseño y mejor selección de la bomba que requiere el sistema para el llenado del recipiente volumétrico.

$$Re = \frac{(2.02 m/s \times 0.063 m^3/s)}{0.803 \times 10^{-4}} \quad Re = 1.584 \times 10^3$$

- Número de Reynolds para el enderezador de vena

$$Re = \frac{(2.8 m/s \times 0.056 m^3/s)}{0.803 \times 10^{-4}} \quad Re = 1.952 \times 10^3$$

Después de obtener los valores de la rugosidad relativa de ( $Rr$ ) = 0.00089 y un número de Reynolds de =  $1.584 \times 10^3$  se procede a buscar la solución a través de la tabla de moody, debido a que el número de Reynolds es menor a 2000 se calcula el factor de fricción a través de la ecuación (3.12).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.12)$$

Usando la figura Figura 3-7 y ecuación (3.12), obtenemos los valores de factor de fricción de 0.040. y para el enderezador de vena es de 0.032.

Figura 3-7: Diagrama de Moody

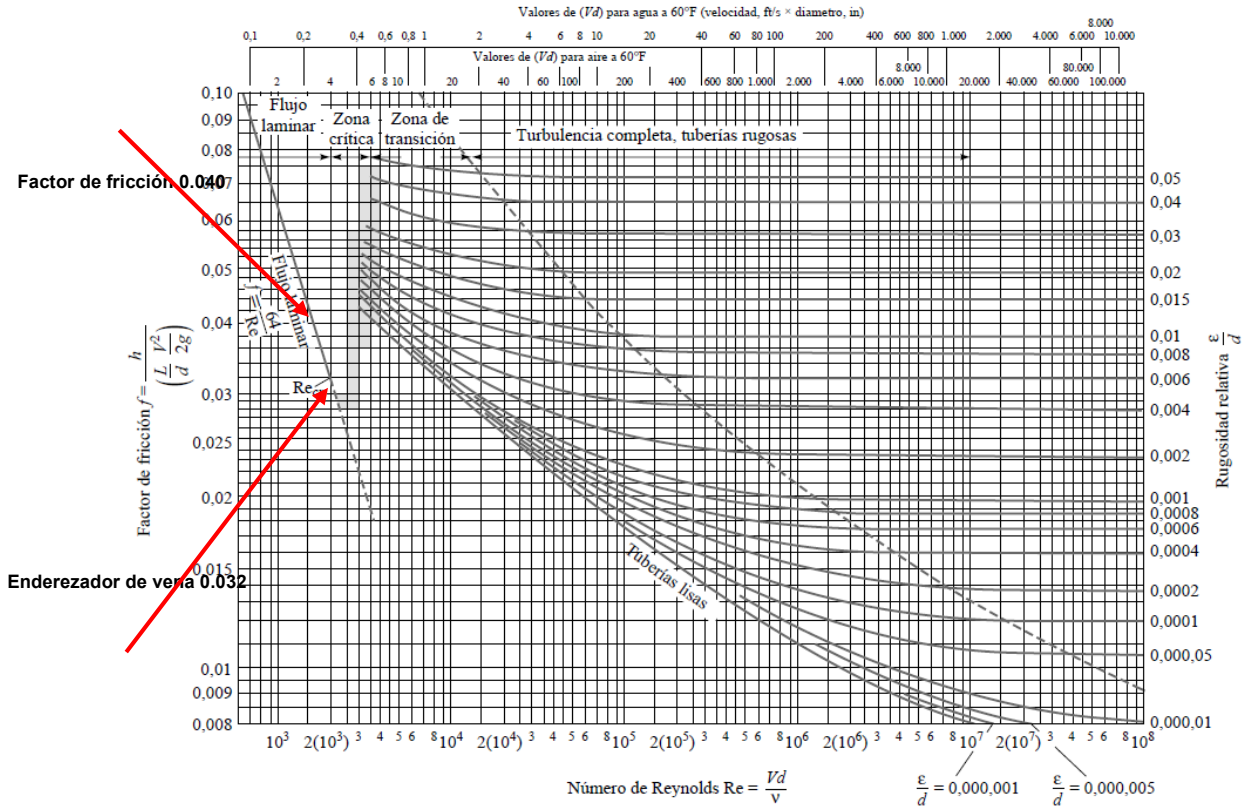


Figura 6.13. Diagrama de Moody para el coeficiente de fricción en conductos de paredes lisas y rugosas. Este cuadro es idéntico a la Ecuación (6.48) para flujos turbulentos. (De la Referencia 8, con permiso de ASME.)

Fuente: (White, 2004)

**ECUACIÓN DE DARCY WEISBACH**

$$Hf = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \tag{3.13}$$

$$Hf_1 = 0.040 * \frac{4.43m}{0.063} * \frac{(2.02)^2}{2g}$$

$$Hf_1 = 0.584 m$$

**PÉRDIDAS POR ENDEREZADOR DE VENA**

$$Hf_2 = 0.032 * \frac{0.1m}{0.056} * \frac{(2.8)^2}{2g}$$

$$Hf_2 = 0.467 m$$



### PÉRDIDAS POR ACCESORIOS

Se toma como pérdida por accesorios los resultados hallados del enderezador de vena las válvulas demás accesorios.

$$Hl = K * \frac{V^2}{2g}$$

$$Hl = (0.5 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2.5 + 2.5) * \frac{\left(\frac{2.02m}{s}\right)^2}{2g}$$

$$Hl = 1.98m$$

### PÉRDIDAS TOTALES

$$Hl = 0.584m + 0.467 m + 1.98 m$$

$$Hl = 3.24831 m$$

Ya habiendo calculado todas las pérdidas reemplazamos en la ecuación de energía para hallar la carga añadida de la bomba.

$$Z_A + H_A - H_L = \frac{P_b}{r} + Z_B$$

$$1m + H_A - 3.24831 m = \frac{12236.59 \frac{Kg}{m^2}}{993 \frac{Kg}{m^3}} + 1.5 m$$

$$-1.3366 m + H_A = 13.822$$

$$H_A = 13.822 + 1.3366 m$$

$$H_A = 15.159 m$$

Presión dentro del serafín: 12,236.59 kg/m<sup>2</sup>

Densidad relativa del agua : r = 993 kg/m<sup>3</sup>

### POTENCIA DE LA BOMBA

$$P = \frac{r * Q * HA}{n} \quad (3.14)$$

$$P = \frac{((993 \text{ kg/m}^3) * (9.8\text{m/s}^2)) * (0.069 \text{ m}^3/\text{s}) * (15.159)}{0.75}$$

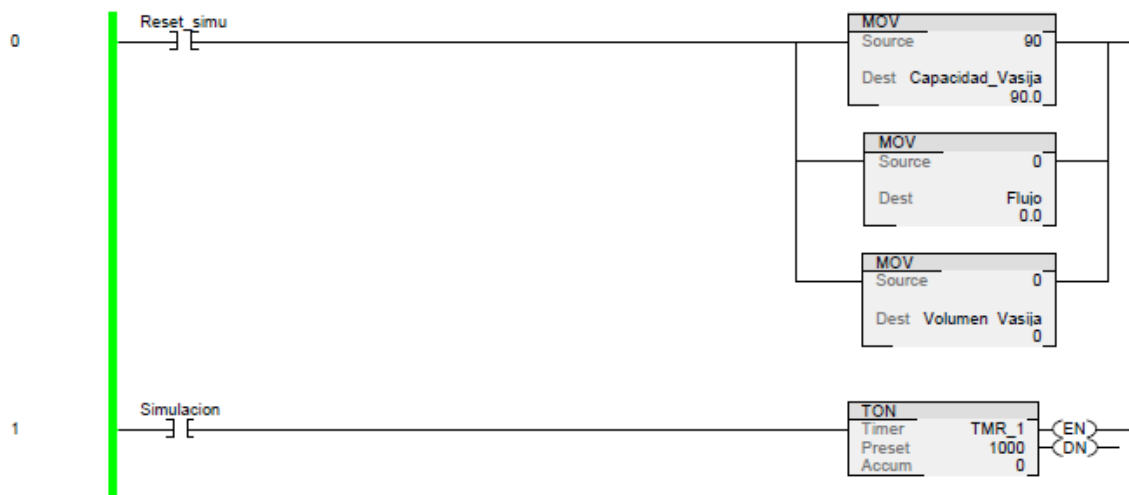
$$P = 13.57 \text{ kW}$$

Los cálculos anteriores son necesarios ya que este sistema no comprende solamente el recipiente medidor volumétrico, sino que así mismo, todos los accesorios y equipos necesarios para el sistema de llenado tales como válvulas, instrumentos, accesorios y equipos, entre estos, la bomba que permite el llenado del MVP.

## 3.2 Programación del PLC

El control automático del proceso de medición implementado, en este trabajo integral de grado, incluye un PLC (controlador lógico programable) para monitorear las variables críticas del proceso, estas son: (i) llenado; (ii) temperatura; y (iii) fluido. En las figuras 3-8, 3-9 y 3-10 se ilustran las lógicas programadas del proceso, se destaca que se encuentra relacionados los instrumentos citados en la tabla 3-2.

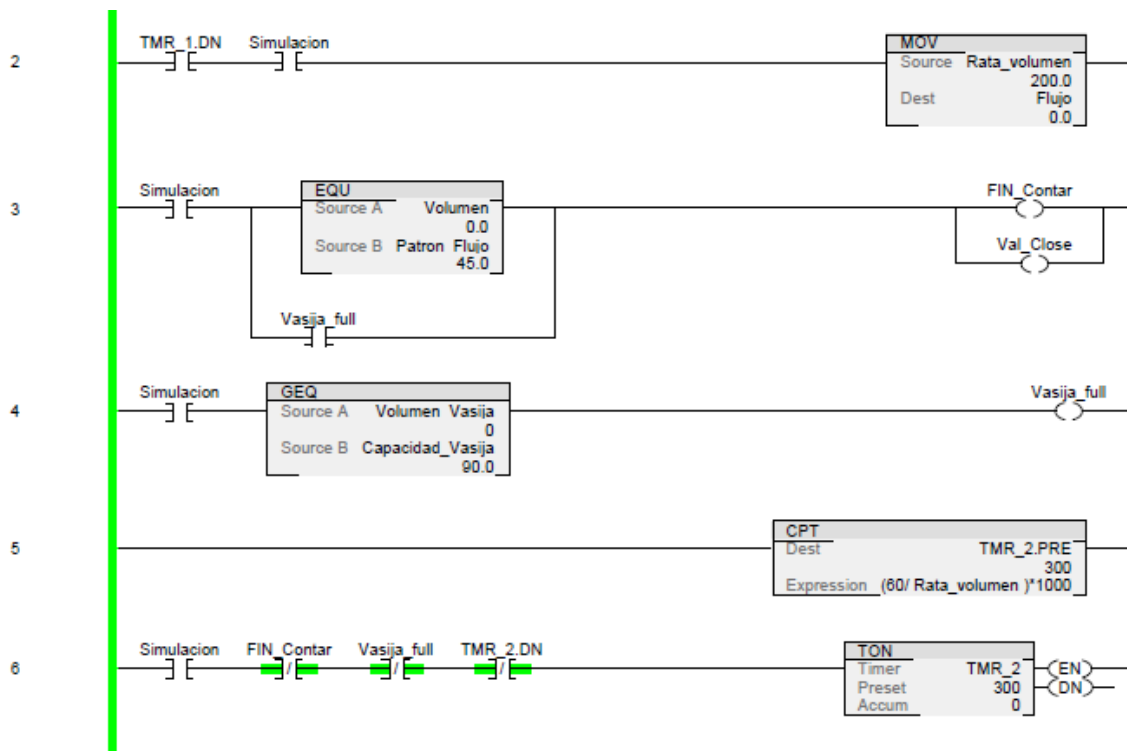
**Figura 3-8:** Inicio del proceso



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-8 puede observarse la parte inicial del proceso donde se le asignada el *set point* al proceso; capacidad de la vasija, para el caso de la simulación de 90 l. Así mismo los demás tags (nombres de cada instrumento) asociados. A continuación, en la figura 3-9 se muestra la continuación del ciclo. Se simuló diferentes ratas de flujo (galones por minutos) con diferentes baches programados (volumen objetivo), cuando el volumen medido (calculado en tiempo versus rata de flujo) llega al volumen programado se cierra la válvula y se tiene la opción de continuar con otro bache, se estableció una protección por llenado del tanque (90 galones) de tal manera que no se pudieran llenar más allá y se presentara un derrame o contaminación ambiental, dando mayor seguridad al proceso.

**Figura 3-9:** Continuación del proceso – Programación proceso

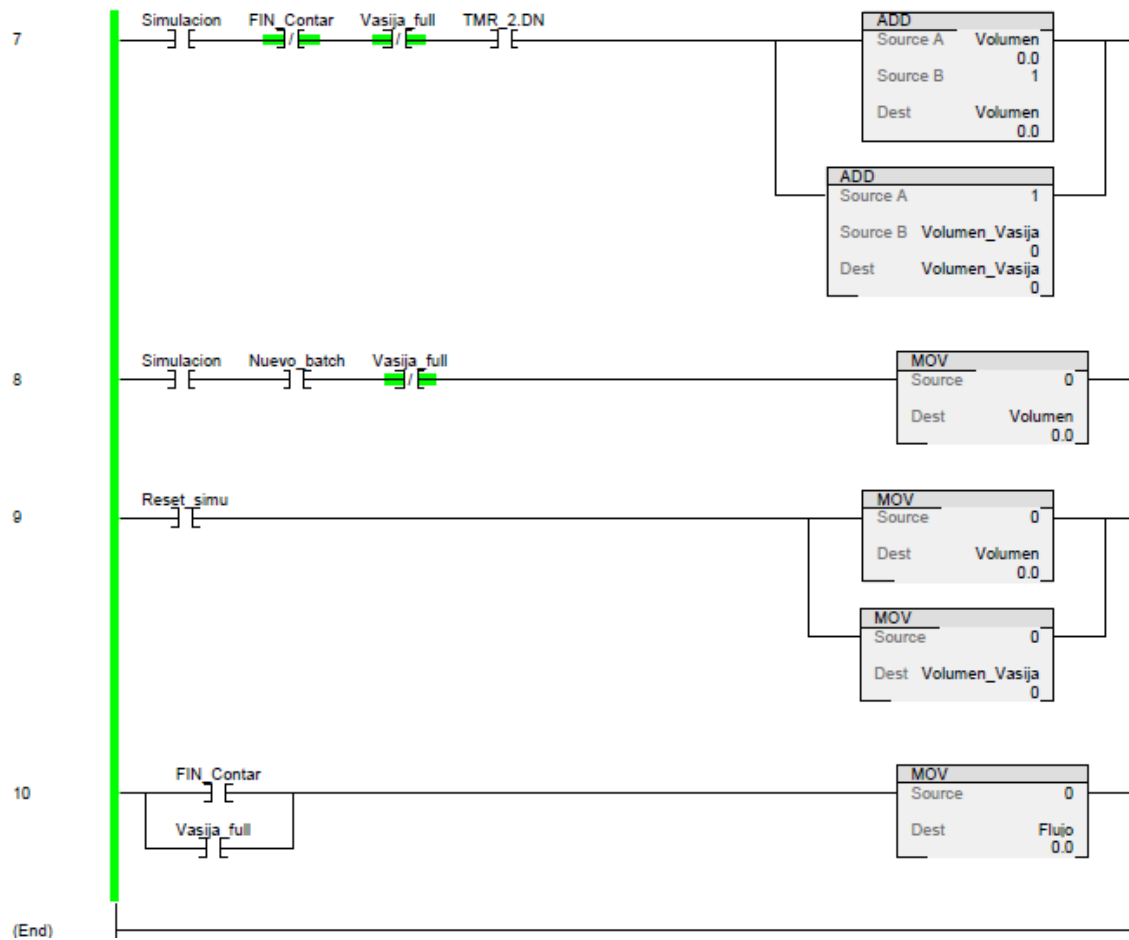


Fuente: Elaboración propia

La simulación se hizo bajo parámetros de operación normal del sistema (descrito en la sección 1.3.2). Aquí se tuvieron en cuenta las alertas y mensajes enviados por los sensores de tal manera que permitieran el monitoreo del flujo, volumen de la vasija, y caudal.

Esta lógica de trabajo se realizó bajo el ambiente Ladder que facilita la programación de una gran mayoría de PLC entre ellos los Schneider u OMRON. A continuación, la parte final de la programación de la lógica del proceso en la figura 3-10.

**Figura 3-10:** Final del proceso – Programación proceso



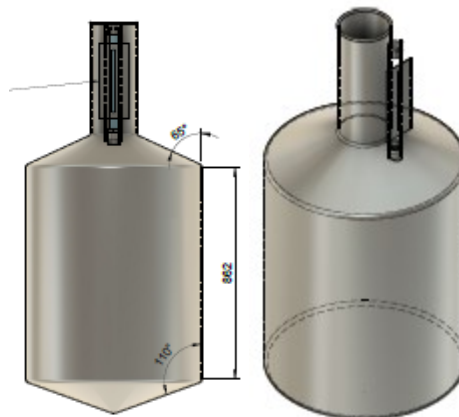
Fuente: Elaboración propia

## 4. Resultados

Los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo permiten corroborar que los criterios de diseño seleccionados, descritos en la sección 3.1, son acordes a la necesidad del cliente y a lo estipulado en las normativas nacionales e internacionales para la construcción de este tipo de equipos. En primera instancia y como establece la norma, los medidores se encuentran estandarizados en medidas en las que se puede tener valores de  $1 \times 10^n$  G,  $2 \times 10^n$  G,  $5 \times 10^n$  G que facilita la construcción de los mismos.

Teniendo en cuenta las visitas de campo para verificar el método utilizado en ese momento, descrito en la sección 1.3.1, por los operarios de la empresa y con base en las entrevistas realizadas al técnico del proceso, se establece que la **medida del recipiente es de 100 gal, descrita en sección 3.1.1**, ya que no se tienen procesos de medición para recipientes de mayor volumen y satisface las operaciones de los procesos de la empresa. En la figura 4-1 se puede observar el diseño seleccionado para dicho recipiente.

**Figura 4-1:** Recipiente volumétrico diseñado de 100 gal

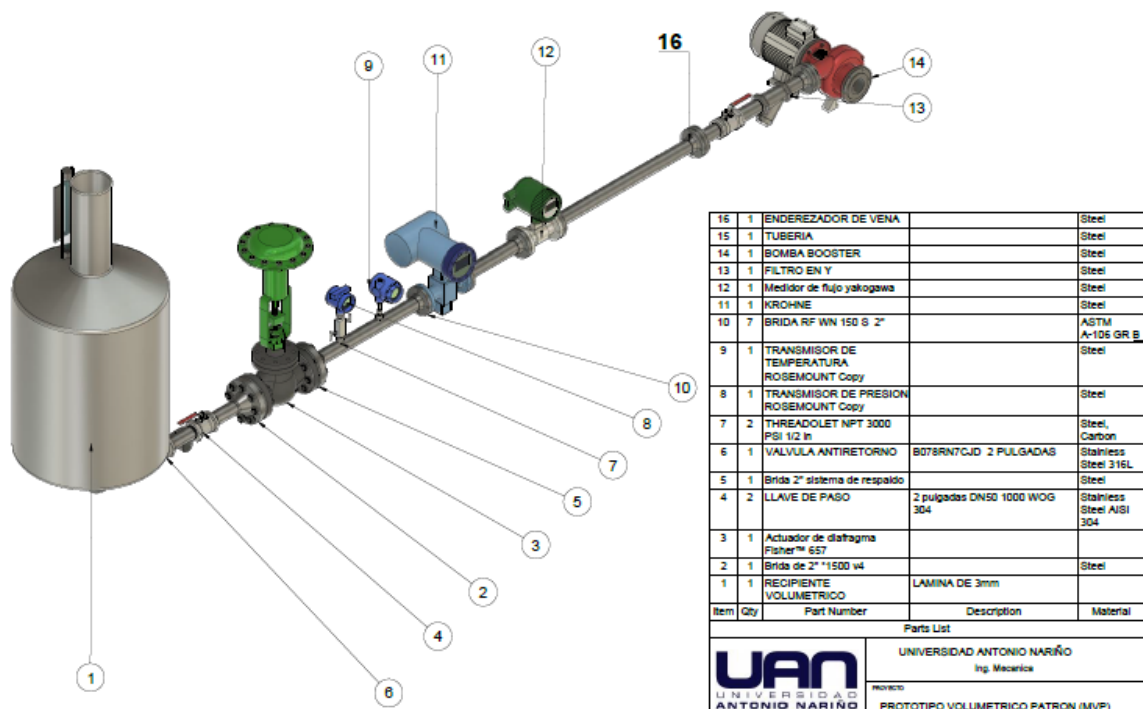


Fuente: Elaboración propia

Existen por norma técnica dos materiales que se utilizan de manera más frecuente en la construcción de este tipo de equipos; el acero al carbono y el acero inoxidable 304. Por costos y fácil adquisición, además que los equipos construidos y alquilados en Colombia en su mayoría están contruidos con ese material, se escoge el acero inoxidable 304. Este permite con sus propiedades, soportar altamente los fenómenos de corrosión gracias a su alto porcentaje de cromo en su composición. Este acero es de los más comunes en el mundo lo que hace de fácil acceso y costo. Además de esto, el acero inoxidable 304 permite soportar los efectos que pueden generar incluso fluidos como ácidos muy corrosivos. Es de fácil limpieza. Muy común en la construcción de tanques de almacenamiento. Teniendo en cuenta la utilización de estos materiales propuestos, se viabiliza la construcción de un prototipo por parte de la empresa Serviteins.

El sistema de medición diseñado y simulado en este trabajo contempla no solamente el diseño de un recipiente volumétrico, sino la selección de los instrumentos (mencionado en la tabla 3-2) y equipos que debe tener el sistema en general para hacer el proceso de llenado del MVP, el control de las variables del fluido y la seguridad de la operación.(mencionado en la sección 3.2) se tomaron con base en la experiencia de los procesos adelantados por la empresa y con la disponibilidad de equipos con los que ya actualmente cuenta. Es el caso de la bomba centrífuga, cálculos que se hicieron respectivamente para tener en cuenta las pérdidas del proceso y verificación que este equipo era apto para implementarlo en el sistema. Así mismo la implementación de instrumentos electrónicos que midieran las variables críticas como caudal, flujo y temperatura, actuadores como las válvulas y el controlador PLC para el manejo de estos sensores y actuadores. En la figura 4-2 puede observarse la configuración del sistema determinada por los autores con base en las experiencias de campo de los operarios de la empresa y la bibliografía consultada.

**Figura 4-2:** Distribución sistema MVP 100 gal Empresa SERVITEINS



Fuente: Elaboración propia

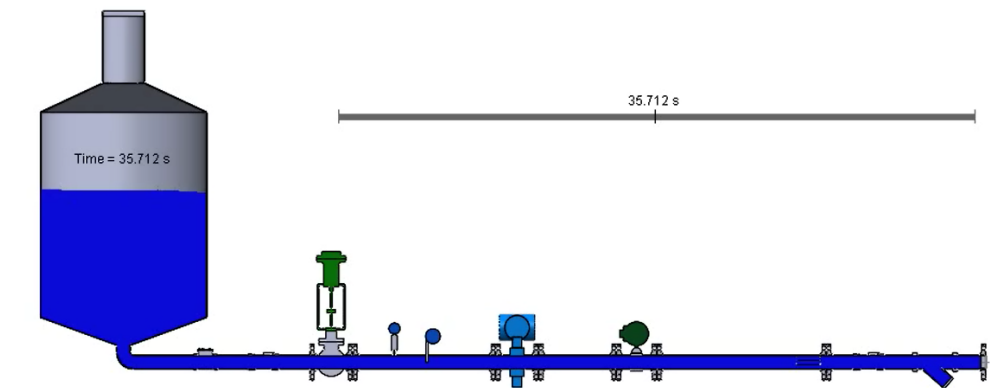
Estos planos pueden ser encontrados en el anexo A de este documento o a su vez en las memorias del trabajo de grado. Dichas memorias fueron entregadas también al dueño de la empresa para su posterior construcción.

En el capítulo 3 de este documento, se realizaron los cálculos de diseño necesarios para este sistema. Siguiendo las recomendaciones del Handbook 105-3, fue diseñado el recipiente volumétrico con las medidas seleccionadas; así mismo se realizó los cálculos respectivos para la tubería empleada en el sistema y las pérdidas que pueden existir en los accesorios de tal manera que se pudiera seleccionar una bomba apropiada para el proceso de llenado del recipiente, descritos en 3.1.3. Teniendo en cuenta que la bomba debe ser de 13.57 kW ó 18 Hp aproximadamente, según tablas nominales se puede encontrar una bomba centrífuga de motor eléctrico de 60 Hz 5 Hp e impeler de caudal de 92 gal/min con succión y descarga de 2". Esta bomba centrífuga la tiene actualmente la empresa como soporte de procesos de llenado de tanques.

Con base en la información de diseño, se estableció diferentes simulaciones que permitieron verificar el diseño realizado, que serán detalladas en figura 4-6. Para la validación del modelo diseñado del medidor volumétrico patrón (M.V.P) se realizó simulaciones bajo el software SOLID WORKS que permitiesen verificar que, bajo condiciones reales de trabajo, (presión 15 psi, temperatura 60 °F y volumen de 30 gal/min). el equipo puede funcionar de manera adecuada. A continuación, se hace una explicación de los resultados de la simulación:

En la simulación del medidor volumétrico patrón (MVP) se contó con una bomba centrífuga con las especificaciones anteriormente dadas. Teniendo en cuenta el comienzo del bombeo del fluido, este sigue su camino y se encuentra con un filtro strainer tipo Y, el cual sirve para proteger el proceso de impurezas que se presenten en el fluido los cuales pueden afectar el proceso con taponamientos u obstrucciones de los instrumentos. Dicho filtro es seleccionado ya que es el más común en este tipo de procesos. En la figura 4-3 se puede observar una imagen capturada de la simulación del llenado del medidor o recipiente. En el anexo A se pueden encontrar los planos relacionados a la ubicación de cada una de los accesorios y equipos del sistema M.V.P

**Figura 4-3:** Simulación llenado del medidor volumétrico N°1



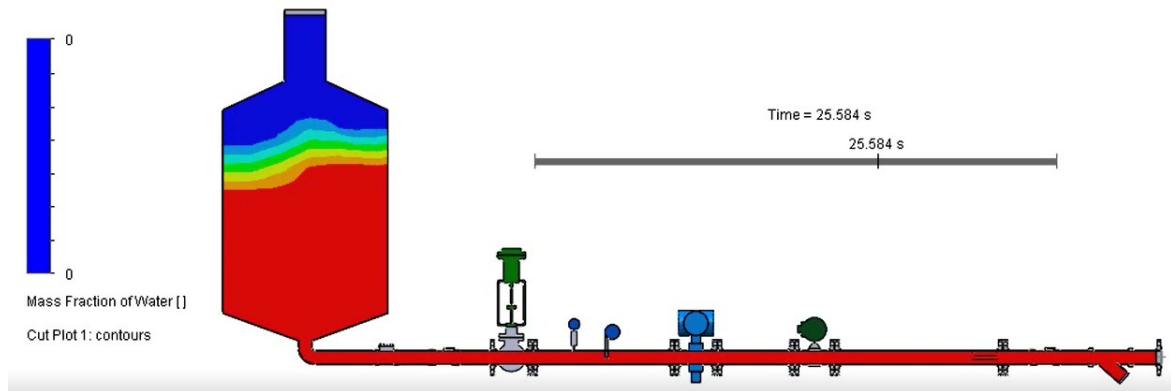
Fuente: Elaboración propia

Bajo los parámetros reales del proceso (mencionados en sección 1.3.2) se puede determinar que, para almacenar los 90 l preestablecidos, se requiere de 72 s para el llenado. Aquí se tiene en cuenta el diámetro de la tubería y diferentes parámetros mecánico y de fluidos para realizar la simulación. La figura 4-4 refleja la simulación realizada para la



fracción de masa del fluido. Esto permite establecer dentro de la simulación, la distribución de llenado del fluido dentro del recipiente.

**Figura 4-4:** Fracción de masa del fluido



Fuente: Elaboración propia

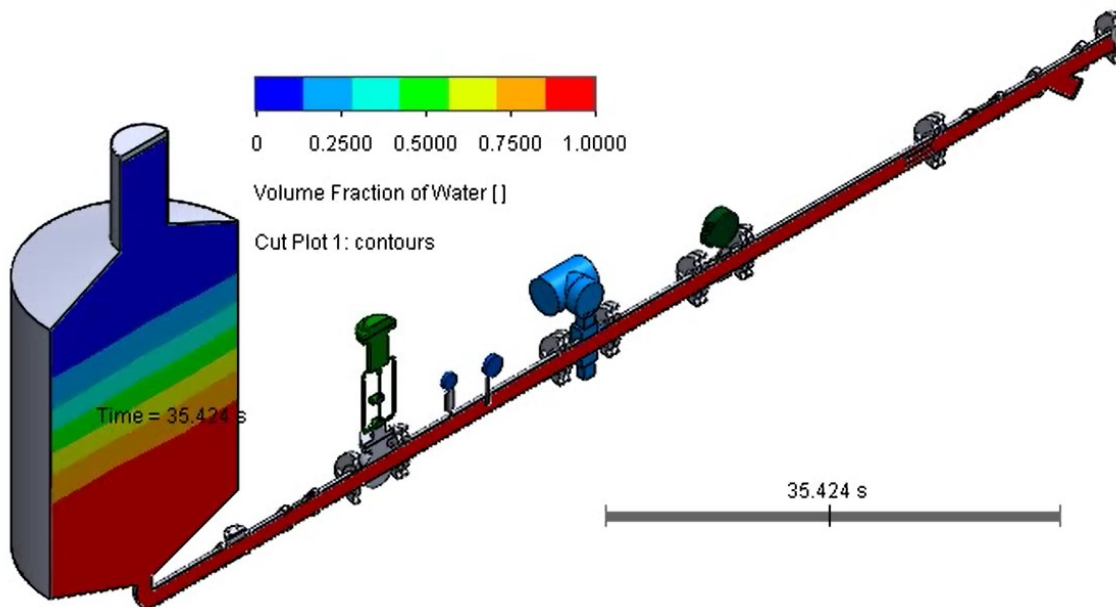
Siguiendo el sentido del flujo es posible encontrar una válvula de bola tipo NPT la cual se selecciona porque cumple los requisitos mencionados en la sección 3.1, además es un tipo de válvula multipropósito y sus costos no son tan altos, y es la que permite cerrar el flujo de la bomba en caso de querer parar o disminuir flujo. Luego de esta válvula está ubicado el enderezador de venas, este instrumento de tubing de 5/16" sirve para minimizar la turbulencia que genera el fluido al salir de la bomba. Este elemento puede apreciarse en el anexo A relacionado a los planos del equipamiento y las medidas del mismo.

El enderezador de venas queda ubicado entre las dos bridas slip-on en compañía de los empaques Flex itálicos que son los que permiten el sello entre las caras de las bridas, luego es posible encontrar un tramo recto de tubería que, por recomendaciones del fabricante de los medidores, ( Manual de Instalación del Medidor de Flujo Magnético AXG Serie ADMAG TI- sección 3.3 )se debe dejar 10 diámetros antes "aguas abajo" y 5 diámetros después "aguas arriba" esto para optimizar la lectura o medición del sensor.

Cabe mencionar que este medidor será quien el cliente trae a las instalaciones de la empresa SERVITEINS para ser calibrado o más bien comparado frente al medidor patrón, y este medidor volumétrico. En este proceso el medidor se interviene mediante un protocolo establecido por el fabricante quien en su catálogo o ficha técnica (Manual de

Instalación del Medidor de Flujo Magnético AXGSerie ADMAG TI- sección 3.3) otorga la definición de parámetros bien sea cambio de unidades es decir de galones, barriles, litros o como mejor se adecue al proceso y según el volumen a manejar. A continuación, en la siguiente figura se refleja un momento de la simulación de Fracción de masa y de volumen que permite ver el comportamiento de llenado del fluido dentro del recipiente.

**Figura 4-5:** Fracción de Volumen - Simulación



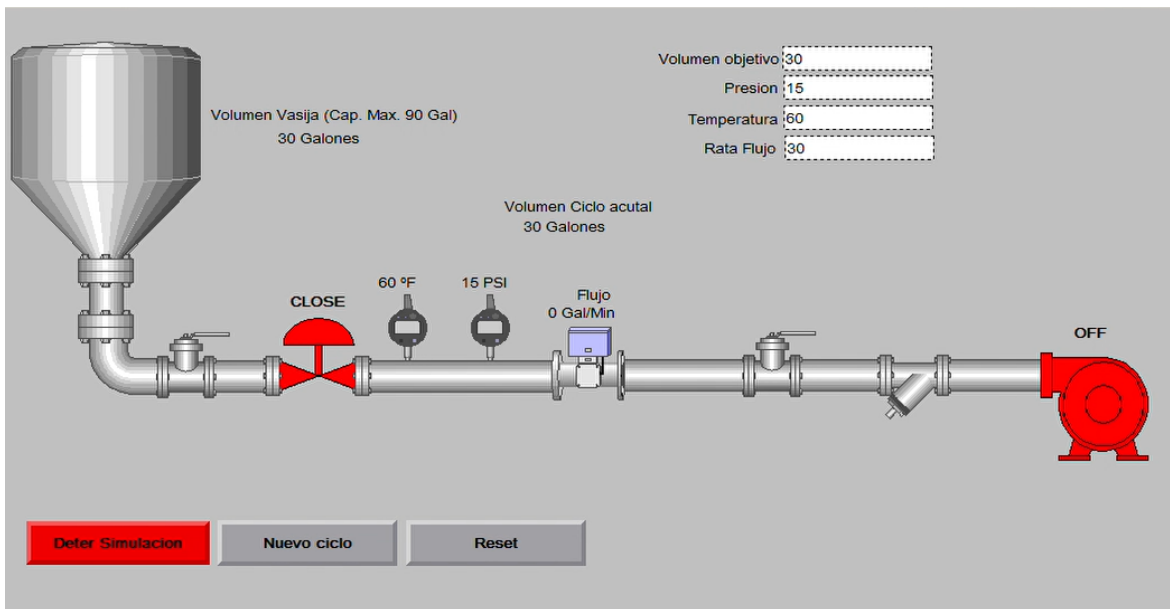
Fuente: Elaboración propia

Luego en este orden de proceso se encuentra el transmisor de flujo FIT de tecnología avanzada método de excitación de doble frecuencia de marca YOKOGAWA, AXGSerie ADMAG TI quien va hacer la referencia de instrumento patrón que según especificación y exactitud de este medidor asegura una estabilidad cero, y la capacidad de realizar mediciones con bombas de desplazamiento positivo.

En esta etapa se debe tener la conexión al controlador PLC el cual deberá ser conectado al instrumento patrón para ser enlazado al proceso de automatización, el cual envía una señal a la válvula de control, quien se encargará de recibir la programación para dar apertura o cierre al proceso del fluido.

Dependiendo de los requerimientos del equipo a ser comparado se ajustan los parámetros de medición y la cantidad para determinar la exactitud de dicho instrumento. A continuación, en la figura 4-6 puede apreciarse una simulación realizada mediante Ladder, del proceso realizado con el programa del PLC. (mencionado en la sección 3.2) puede observarse que se programan valores de set point que permite orientar lo que se quiere en el proceso. Este puede ser implementado directamente en el equipo cuando este esté construido.

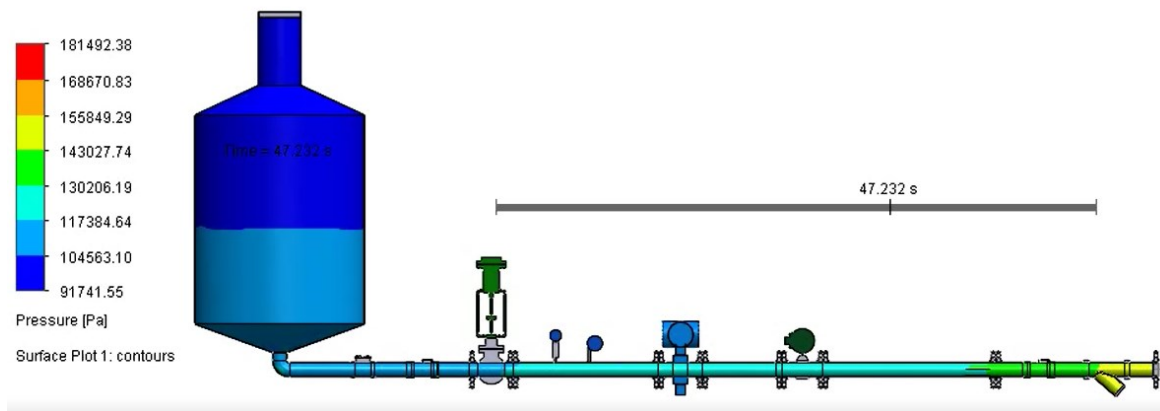
**Figura 4-6:** Simulación PLC.



Fuente Elaboración propia

En la figura 4-6 observamos los transmisores de presión y temperatura, los cuales permitirán la consolidación y almacenamiento de datos indispensable para los resultados de parámetros que afectan de alguna manera la medición de equipo patrón.

**Figura 4-7:** Modelamiento de presión en el sistema



Fuente: Elaboración propia

Siguiendo el proceso de flujo se encuentra con la válvula de control tipo Fisher de vástago deslizante de referencia 657, selecciona porque cumple los requisitos mencionados en la sección 3.1, y de fácil adquisición en el mercado. Esta electro válvula será quien reciba la orden enlazada del PLC desde el medidor y será la encargada de abrir o cerrar el proceso de conducción de flujo al medidor volumétrico tipo Serafín.

Continuando con el proceso, se encuentra con una válvula de bola roscada de 2" NPT, es la que se activa al cierre de flujo, siendo una válvula normalmente abierta, en caso de que la válvula de control este por fuera de línea por mantenimiento, seguida a esta válvula está ubicada una válvula cheque o de retención, quien sirve de contra flujo desde el serafín por efecto de columna por gravedad, es decir no permite que el flujo se devuelva del serafín a la línea de proceso.

Y en la última etapa se tiene el comparador MVP medidor de volumen patrón, el cual será un equipo o vasija certificada con capacidad volumétrica de 100 gal, con su respectiva regleta de valores de volumen, será el instrumento que compare el censo de los medidores de flujo bajo verificación. Este estará construido de acero inoxidable 304 que es un material multipropósito y de costo estimado en el mercado de \$6'500.000 medio para la implementación de este equipo.

# 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1 Conclusiones

En concordancia a los objetivos originalmente formulados, resultados de diseño y simulación confirman la viabilidad de la implementación de un sistema de un medidor volumétrico patrón (MVP) con capacidad de 100 galones para la determinación de volumen de hidrocarburos y aguas de proceso intervenidos por la empresa SERVITEINS J&I SAS. Basado en los resultados consolidados por la investigación fue posible concluir que los objetivos originalmente formulados fueron plenamente alcanzados.

Para el primer objetivo específico - **identificar los criterios de diseño necesarios para el diseño y simulación del MVP**- Se identificaron los siguientes criterios:

(i) reducción de la turbulencia del fluido, se identificaron inconsistencia en los resultados anteriores del proceso de medición de volumen registrados en la empresa, este hecho fue atribuido a la turbulencia, por lo tanto, el diseño necesito de la implementación de un dispositivo para la reducción de flujos turbulentos; (ii) materiales de fabricación, se evidencio la necesidad de usar materiales livianos, duraderos, aislantes de temperatura y dieléctrico, este es un requerimiento fundamental para que el sistema sea trasportable, compacto y escalable;(iii) volumen del recipiente, las necesidades de la industria regional(disponibilidad in situ y versatilidad de medidas) reflejar la importancia de escoger un recipiente con un volumen adecuado como criterio de diseño.

Para el segundo objetivo específico-**elaborar los diseños de la estructura mecanismo y sistemas electromecánico**- se diseñó un sistema de medición de volumen patrón (MVP) utilizando un enderezador de vena para reducción de turbulencia en el fluido a ser medido. El sistema fue fabricado en material acero inoxidable 304, con tubing de diámetro de ¼” y longitud de 4 “y ubicado en el sentido del flujo en la descarga de la bomba, en tubería de diámetro de 2”; además, se utilizó un recipiente almacenador y aforado en 100 galones. También se diseñó un sistema de control Lasso cerrado utilizando un controlador

programable (PLC) y electro válvula de control on-off. Finalmente se implementaron los siguientes instrumentos de medición:

- Transmisor indicador de presión (PIT)
- Transmisor indicador de temperatura (TIT)

Todas las especificaciones del prototipo se encuentran reunidas en los planos de diseños descritos en la figura 4-2.

Para el tercer objetivo específico- ***validar mediante simulación, el diseño del medidor volumétrico. Mediante software Solidword y Rockwell –Studio 5000 para el PLC y Factory Talk View para el HMI-se realizó simulaciones del sistema en condiciones reales*** (presión 15 psi, temperatura 60 °F y volumen de 30 gal/min). como resultado se obtiene correcto comportamiento del fluido (figuras 4-3 a 4-7) y del llenado del aforo del serafín vs tiempo optimo en cada bache simulado, apreciando en figura 4-6. Así es posible afirmar que el diseño del prototipo cumple con los requerimientos de funcionalidad y seguridad inicialmente planteados.

La conjugación de estos objetivos específicos permite concluir que el objetivo central originalmente propuesto -i.e.: **Diseñar y simular un medidor volumétrico patrón (MVP) que se adecue a las necesidades técnicas de la empresa SERVITEINS J&I S.A.S-** fue plenamente alcanzado.

Como resultado de la contribución del presente trabajo integral de grado, se concluye que El medidor fue diseñado con bases en los requerimientos técnicos identificados en las visitas de campo a la empresa. Posteriormente se estableció los equipos y accesorios necesarios para controlar las condiciones de operación real del sistema. Finalmente, todo el diseño fue validado vía software. Una vez cumplido con todos los parámetros requeridos por la empresa se entrega planos, diseño y simulaciones a la empresa, para su futura fabricación y puesta en marcha. En esta perspectiva, se entiende que el trabajo contribuye para la articulación de los procesos Empresa-Universidad necesarios para el desarrollo tecnológico de una región

## 5.2 Recomendaciones y trabajos futuros

Teniendo en cuenta algunas limitaciones que se presentaron en el desarrollo de este trabajo, se establecen una serie de recomendaciones que pueden ser tenidas en cuenta por otros investigadores al momento de realizar consultas y tomen este documento como guías en algunos casos. Dichas recomendaciones son:

- A quienes tomen este trabajo como referente, se les recomienda proyectar el modelo con otros materiales más ligeros, pero con similares propiedades mecánicas y físico químicas de tal forma que no se vea afectado el proceso por calidad de la medición, corrosión y seguridad del trabajador.
- La inversión para el desarrollo de este sistema puede ser revisada con instrumentos de otras marcas teniendo en cuenta los valores técnicos requeridos para el proceso.
- Se sugiere realizar pruebas iniciales luego de construido el equipo de tal manera que los resultados obtenidos en simulación puedan ser validados de manera real. Se recomienda elaborar un manual de operación y montaje del equipo.
- Se recomienda realizar los respectivos trámites de certificación de calibración ante la ONAC y demás entes respectivos para la utilización del equipo luego de su construcción.

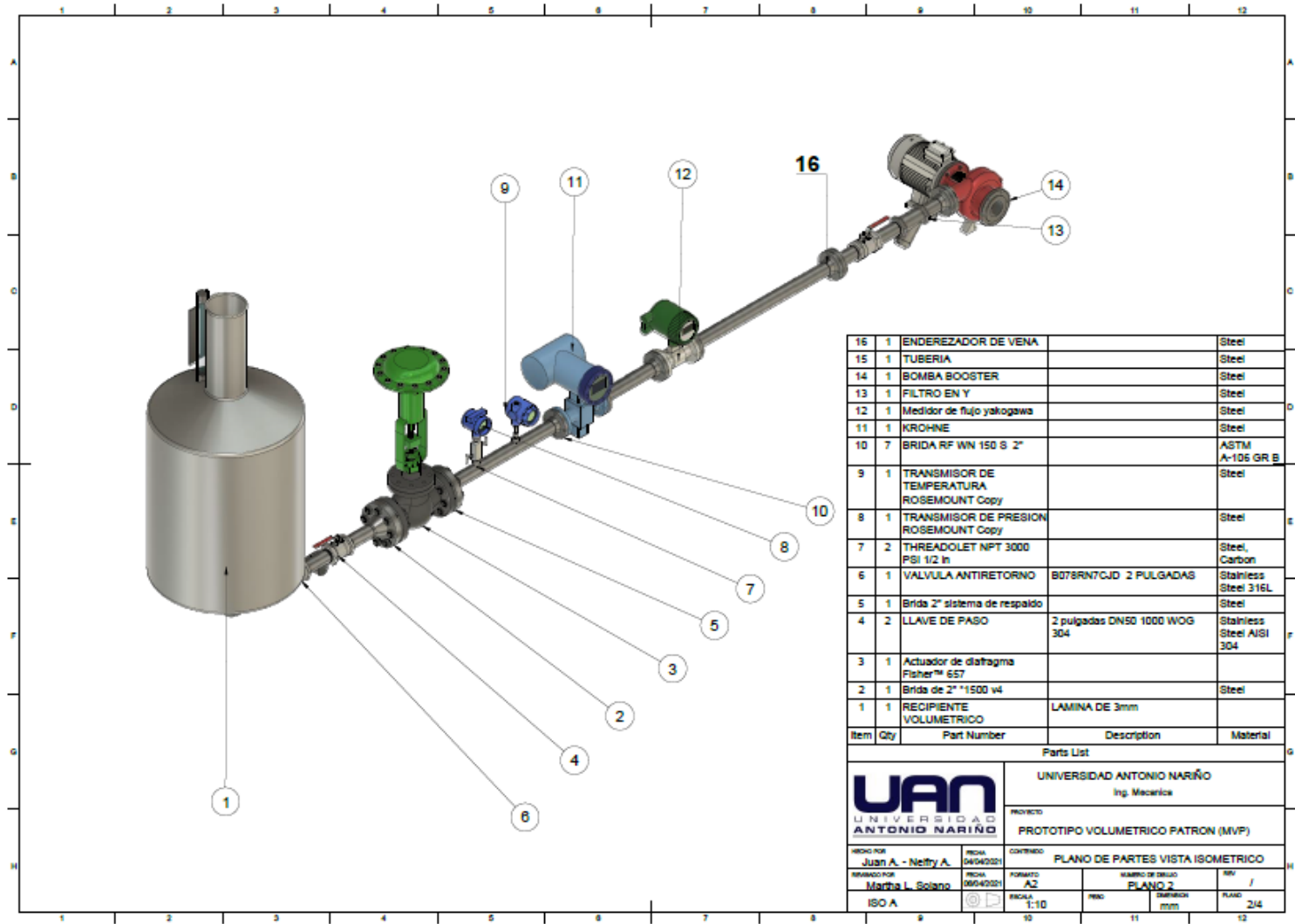
Como desbordamiento natural de este trabajo integral de grado TIG, se recomienda los siguientes trabajos futuros:

- Estudiar una mayor variedad de condiciones de operación, que puedan ser considerados “reales” en otros procesos u otras industrias.
- Construir el prototipo diseñado y ponerlo en funcionamiento
- Realizar un estudio de fuentes de incerteza en el sistema de mediciones de volumen con flujos turbulentos





# A. Anexo: Diseño Sistema M.V.P

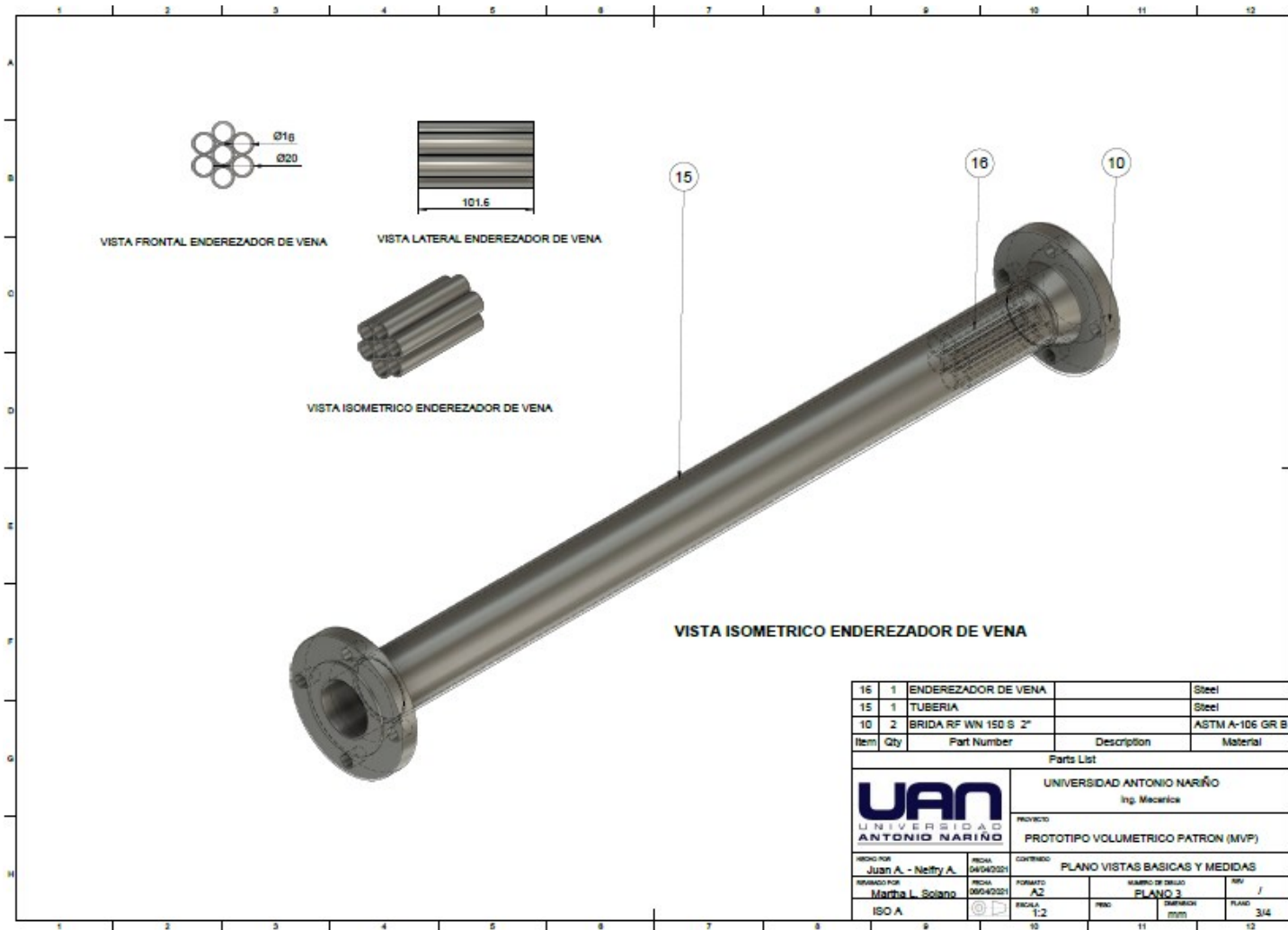


Item	Qty	Part Number	Description	Material
16	1		ENDEREZADOR DE VENA	Steel
15	1		TUBERIA	Steel
14	1		BOMBA BOOSTER	Steel
13	1		FILTRO EN Y	Steel
12	1		Medidor de flujo yokogawa	Steel
11	1		KROHNE	Steel
10	7		BRIDA RF WN 150 S 2"	ASTM A-105 GR B
9	1		TRANSMISOR DE TEMPERATURA ROSEMOUNT Copy	Steel
8	1		TRANSMISOR DE PRESION ROSEMOUNT Copy	Steel
7	2		THREAOLET NPT 3000 PBI 1/2 in	Steel, Carbon
6	1		VALVULA ANTIRETORNO B078RN7CJD 2 PULGADAS	Stainless Steel 316L
5	1		Brida 2" sistema de respaldo	Steel
4	2		LLAVE DE PASE 2 pulgadas DN50 1000 WOG 304	Stainless Steel AISI 304
3	1		Actuador de diafragma Fisher™ 657	
2	1		Brida de 2" 1500 v4	Steel
1	1		RECIPIENTE VOLUMETRICO LAMINA DE 3mm	

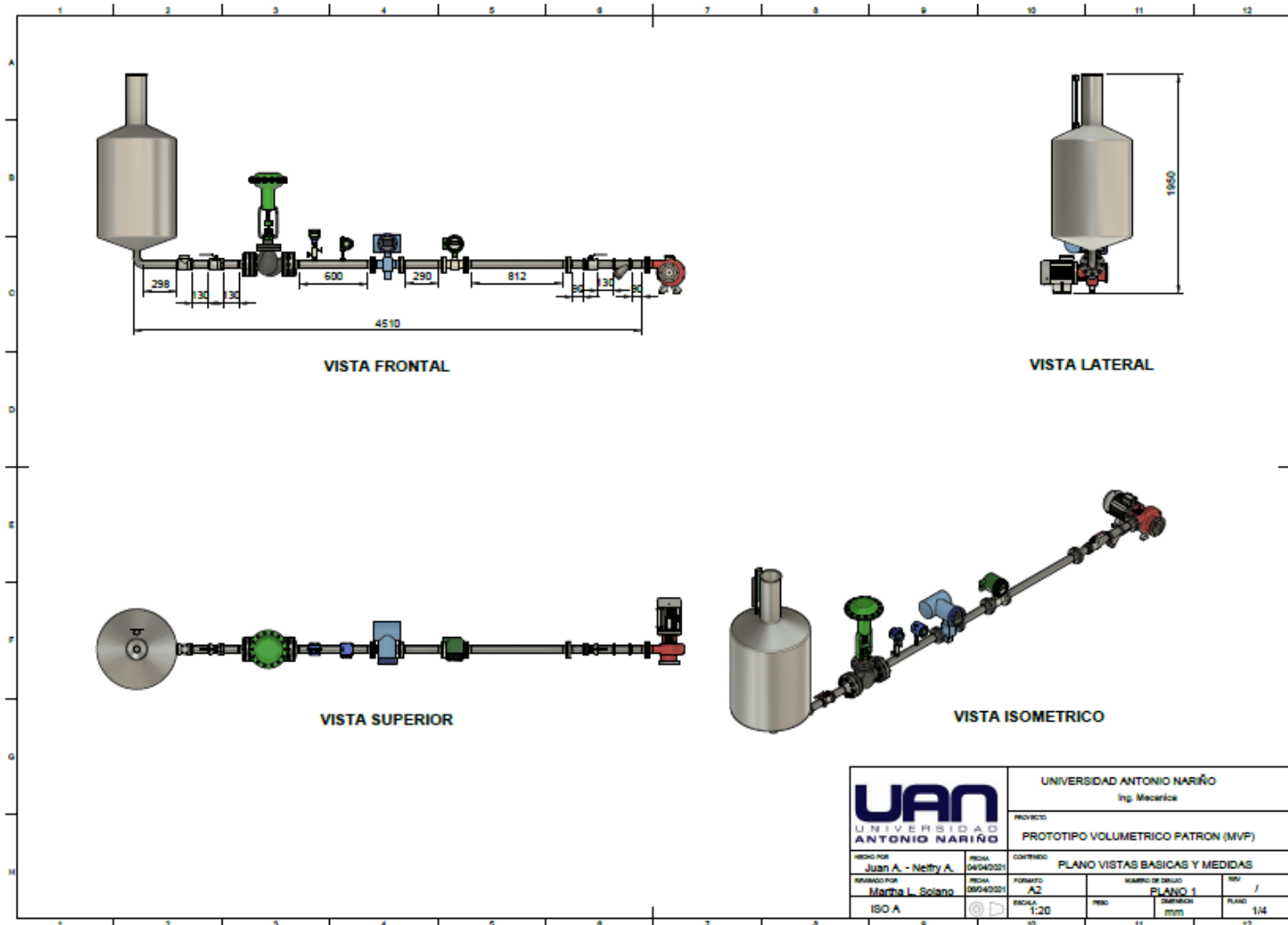
Parts List

 <b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b> Ing. Mecánica		PROYECTO	
		PROTOTIPO VOLUMETRICO PATRON (MVP)	
DISEÑADO POR		FORMATO	
Juan A. - Netly A.		AZ	
REVISADO POR		NÚMERO DE DISEÑO	
Martha L. Solano		PLANO 2	
ISO A		PLANO 214	

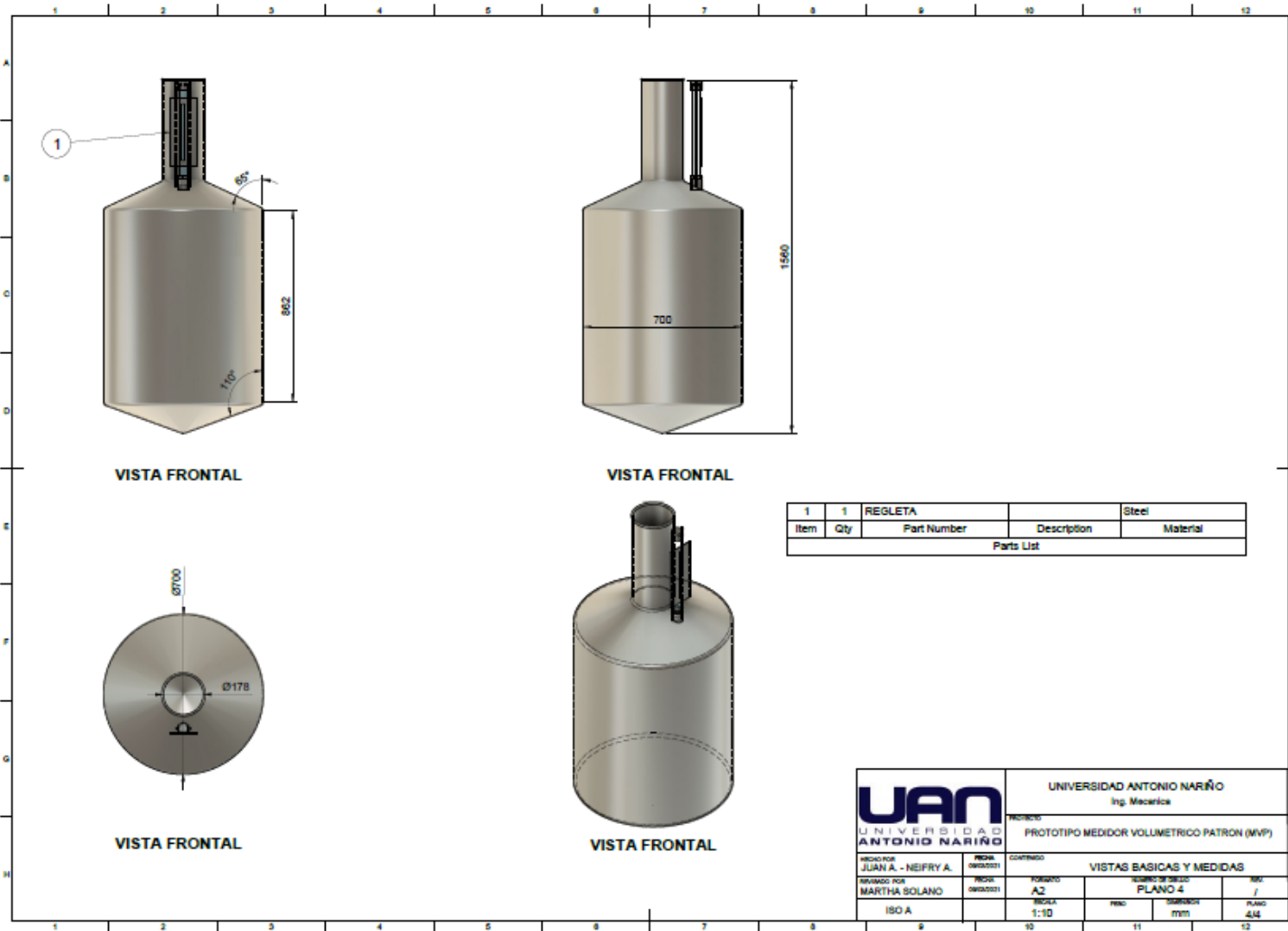
# A. Anexo: Enderezador de venas



# A. Anexo: Vistas axonométricas M.V.P



# A. Anexo: Vistas axonométricas M.V.P



## Bibliografía

- Blanco Romero, M. (2018). *Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo*. Catalunya, Barcelona. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/TMEBR1de1.pdf
- Casilla G, J. (Junio de 2018). *IBMETRO*. Obtenido de FOMENTO A LA INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD QUE APOYA A LAS MEDICIONES Y ENSAYOS EN AGUA POTABLE:  
<https://www.ibmetro.gob.bo/web/sites/default/files/2018-06/ARTICULO%20RECIPIENTES%20V1.0%20JCG.pdf>
- Chamba Rosillo, Y. E., & Tapia Tufiño, I. A. (agosto de 2016). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA EL REEMPLAZO DE MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO POR MEDIDORES MÁSCOS TIPO CORIOLIS EN LAS UNIDADES DETRANSFERENCIA DE CUSTODIA DE HIDROCARBUROS (LACT) EN EL CAMPO SINGUE: file:///C:/Users/User/Downloads/CD-7217.pdf
- Chamba Rosillo, Y. E., & Tapia Tufiño, I. A. (agosto de 2016). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*. Obtenido de ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA EL REEMPLAZO DE MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO POR MEDIDORES MÁSCOS TIPO CORIOLIS EN LAS UNIDADES DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA DE HIDROCARBUROS (LACT) EN EL CAMPO SINGUE.: file:///C:/Users/User/Downloads/CD-7217.pdf
- Cordón Posadas, P. R. (2011). *MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE COMBUSTIBLE GILBARCO SERIE C*. Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0682\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0682_M.pdf)
- ECOPEPETROL S.A. (2015). *Tanques y Recipientes de almacenamiento*. Bogota: Ecopetrol S.A.
- Escandon Beltran, V., & Sierra Garcia, B. (2018). *PARÁMETROS METROLÓGICOS ASOCIADOS EN LA CALIBRACIÓN DE UN MEDIDOR DE AGUA POTABLE DE CLASE METROLOGICA R160 15 mm*. Cartagena. Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/10132/Trabajo%20de%20Grado.pdf?sequence=1>

- Escobar Díaz, A., Marín Oviedo, L. E., & Vacca González, H. (10 de mayo de 2018). *Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de Instrumentación para sistemas automatizados de medición dinámica de hidrocarburos: [https://revistas.ucc.edu.co/html\\_revistas/IngSol/14%2826%29/14%2826%29/14%2826%29.html](https://revistas.ucc.edu.co/html_revistas/IngSol/14%2826%29/14%2826%29/14%2826%29.html)
- GOBIERNO DE COLOMBIA. (23 de Diciembre de 2016). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de Resolución 41251 del 23 de Diciembre de 2016: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/37318-Resolucion-41251-23Dic2016.pdf>
- ICONTEC. (27 de Junio de 2003). *Instituto Distrital de Recreación y Deporte*. Recuperado el 9 de Abril de 2021, de <https://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc-iso10012%20medicion%20y%20equipos0.pdf>
- JURISCOL. (10 de Noviembre de 2016). *Sistema único de información normativa*. Recuperado el 10 de Abril de 2021, de RESOLUCIÓN 77507 DE 2016: <http://suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30033956>
- Lindao Miranda, G. (2018). *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROTOTIPO DE BANCO DE PRUEBAS PORTÁTIL PARA MEDIDORES DE AGUA POTABLE*. Perú. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3654/IME\\_241\\_REST.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3654/IME_241_REST.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- López Cushicagua, E. V. (julio de 2018). *Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE LA ESTACIÓN N°2 “LUMBAQUI” Y MEDIDORES DE TIPO CORIOLIS DE LA ESTACIÓN “SANSAHUARI”, EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16266/1/T-UCE-0012-FIG-028.pdf>
- López López, J. R. (septiembre de 2011). *Biblioteca usac*. Obtenido de CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE FLUJO: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3300\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3300_C.pdf)
- López López, J. R. (septiembre de 2011). *Biblioteca USAC*. Obtenido de CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE FLUJO PARA CONDUCTOS CERRADOS: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3300\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3300_C.pdf)
- Mendoza Elias, R. (agosto de 2017). *Universidad Nacional de Piura*. Obtenido de Implementación de una unidad de medición fiscal automática para mejorar el

proceso de fiscalización de crudo de las plataformas cx-11 y cx-15 en el lote z-1 Zorritos Tumbé: <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1055/MIN-MEN-ELI-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Russi Beltrán, L. H., & Castillo Rodríguez, J. P. (2006). *Diseño y construcción de un sistema para aforar tanques de almacenamiento de cerveza terminada*. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37488.pdf>

Torres Triana, Y. A. (2014). *Universidad Santo Tomás*. Obtenido de DISEÑO DE SISTEMA DE MEDICIÓN ESTÁTICA PARA TRANSFERENCIA DE CUSTODIA EN TANQUE DE CRUDO: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/771/disen%C3%B3%20de%20sistema%20de%20medici%C3%B3n%20est%C3%A1tica%20para%20transferencia%20de%20custodia%20en%20tanques%20de%20crudo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>