



Adecuación al banco de prácticas de medición y regulación, para la medición de flujo de gases en tiempo real, variando condiciones de presión y temperatura, para la ejecución de prácticas en el laboratorio de instrumentación de las Unidades Tecnológicas de Santander.

Desarrollo Tecnológico

Jonathan José Caldera Suárez
CC 1140414987
Diego Armando Angarita Roperó
CC 13176435

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga 03/05/2026



Adecuación al banco de prácticas de regulación y medición para el monitoreo y corrección del volumen de gases en tiempo real, variando condiciones de presión y temperatura, en la ejecución de prácticas del laboratorio de instrumentación de las Unidades Tecnológicas de Santander

Desarrollo Tecnológico

Jonathan José Caldera Suárez
CC 1140414987
Diego Armando Angarita Roper
CC 13176435

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electromecánico**

DIRECTOR
Nilson Yulian Castillo León

Grupo de investigación – GISEAC

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga 03/05/2026**

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos
exigidos por las Unidades Tecnológicas
de Santander para optar al título de
Ingeniero Electromecánico según acta del
Comité de trabajo de grado 14 del día 10/06/2026
Evaluador: Brayan Eduardo Tarazona Romero



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos que han pasado y pasaran por algún aprendizaje, a esos que entregan dedicación y esfuerzo de una buena manera, porque simplemente les gusta, a todos esos que sienten nostalgia de saber que llegaron al final del curso, que su consuelo es saber que vivieron esos días todo lo que pudieron y que el aprendizaje nunca termina.

Jonathan Caldera

Con orgullo le dedico este logro a mi esposa Janinis Thomas, a mis Hijos Juan Diego, Danna Victoria y a mí madre Mélida Angarita que hoy está descansando en paz y que desde el cielo está celebrando este gran sueño de ser un profesional académicamente, siendo todos ellos testigos de que no ha sido nada fácil a pesar de todos los obstáculos presentados, pero con fe en Dios he logrado obtener como resultado este gran logro.

Diego Angarita

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres que siempre han estado apoyándome, a mis profesores y compañeros de los cuales he aprendido muchas cosas y por último a las Unidades Tecnológicas de Santander mí casa de estudios.

Jonathan Caldera

Mi primer agradecimiento es enormemente a Dios, ya que sin él nada es posible, gracias por guiarme siempre por los mejores caminos y colocándome personas de buen corazón. Y Nuevamente a mi gran amigo y compañero de estudio Jonathan Caldera que desde un principio confió en mí, me brindó su amistad incondicional y se mantuvo firme en este proyecto.

Diego Angarita

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>11</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>12</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>15</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. ESTADO DEL ARTE	17
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>19</u>
2.1. MARCO TEÓRICO	19
2.1.1. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	19
2.1.2. MECÁNICA DE FLUIDOS	19
2.1.3. MEDICIÓN DE FLUJO	20
2.1.4. FLUJO VOLUMÉTRICO	20
2.1.5. FLUJO MÁSSICO	21
2.1.6. COMPORTAMIENTO DE LOS GASES	21
2.2. MARCO CONCEPTUAL	22
2.2.1. GAS NATURAL	22
2.2.2. ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN	22
2.2.3. CORRECCIÓN DE FLUJO	23
2.2.4. CORRECTOR DE VOLUMEN	28
2.2.5. TRANSDUCTOR	29
2.2.6. RTD PT100	30
2.2.7. ODÓMETRO	30
2.3. MARCO LEGAL	31
2.3.1. NTC 3838	31
2.3.2. NTC 3728	31
2.3.3. NTC 6167	32
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	<u>33</u>

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

3.1.	ACTIVIDAD 1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA	35
3.2.	ACTIVIDAD 2. DISEÑO DE LA ADECUACIÓN	35
3.3.	ACTIVIDAD 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ADECUACIÓN	35
3.4.	ACTIVIDAD 4. ELABORACIÓN DE MANUAL OPERATIVO Y GUIA PRÁCTICA	36
4.	<u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>37</u>
4.1.	ACTIVIDAD 1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA	37
4.2.	ACTIVIDAD 2. DISEÑO DE LA ADECUACIÓN	43
4.2.1.	DISEÑO CAD	43
4.2.2.	DIAGRAMA P&ID	49
4.2.3.	DIAGRAMA ELÉCTRICO	49
4.2.4.	LISTADO DE COMPONENTES	51
4.3.	ACTIVIDAD 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ADECUACIÓN	54
4.3.1.	MANTENIMIENTO	54
4.3.2.	ADECUACIONES	59
4.4.	ACTIVIDAD 4. GUÍA PRÁCTICA	65
5.	<u>RESULTADOS</u>	<u>67</u>
5.1.	BANCO DE PRÁCTICAS	67
5.1.1.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	67
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>70</u>
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>71</u>
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>72</u>
9.	<u>ANEXOS</u>	<u>74</u>
9.1.	ANEXO A. GUÍA PRÁCTICA	74

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de flujo de actividades</i>	34
<i>Figura 2. Banco de prácticas, estado inicial</i>	37
<i>Figura 3. Filtro de partículas y manómetro diferencial</i>	38
<i>Figura 4. Elemento filtrante</i>	38
<i>Figura 5. Regulador de presión</i>	39
<i>Figura 6. Válvula de seguridad</i>	39
<i>Figura 7. Medidor de flujo FSM25</i>	40
<i>Figura 8. Corrector de flujo IVC-FA</i>	41
<i>Figura 9. Corrector de flujo (interno)</i>	41
<i>Figura 10. Válvula de Globo</i>	42
<i>Figura 11. Válvulas mariposa y manómetros</i>	42
<i>Figura 12. Ensamblaje estación de medición y regulación</i>	44
<i>Figura 13. Calentador de flujo</i>	44
<i>Figura 14. Filtro de Partículas</i>	45
<i>Figura 15. Regulador de presión</i>	45
<i>Figura 16. Válvula de seguridad de presión</i>	46
<i>Figura 17. Medidor de volumen rotativo</i>	46
<i>Figura 18. Corrector de flujo</i>	47
<i>Figura 19. Tablero eléctrico</i>	47
<i>Figura 20. Válvula bypass</i>	48
<i>Figura 21. Patín de la estación</i>	48
<i>Figura 22. P&ID del banco de prácticas ó ERM</i>	49
<i>Figura 23. Diagrama eléctrico del banco de prácticas ó ERM</i>	50
<i>Figura 24. Desmonte de componentes para mantenimiento</i>	54
<i>Figura 25. Corrosión en el sistema</i>	55
<i>Figura 26. Limpieza de filtro</i>	55

<i>Figura 27. Ajuste 1 válvula de seguridad</i>	56
<i>Figura 28. Ajuste 2 a válvula de seguridad</i>	56
<i>Figura 29. Lubricación del medidor de flujo</i>	57
<i>Figura 30. Mantenimiento 1 a corrector de volumen</i>	58
<i>Figura 31. Mantenimiento 2 a corrector de volumen</i>	58
<i>Figura 32. Calentador internamente (tubería y resistencias)</i>	59
<i>Figura 33. Calentador con aislamiento (lana de piedra)</i>	59
<i>Figura 34. Tubería de entrada y salida del calentador</i>	60
<i>Figura 35. Calentador con aislamiento e instalado</i>	60
<i>Figura 36. Tablero de control calentador</i>	61
<i>Figura 37. Tablero de control de temperatura (vista interna)</i>	62
<i>Figura 38. Tablero de control de temperatura (vista externa)</i>	62
<i>Figura 39. Resorte del regulador</i>	63
<i>Figura 40. Vástago del regulador</i>	63
<i>Figura 41. Tapa del regulador</i>	64
<i>Figura 42. Maneral del regulador</i>	64
<i>Figura 43. Regulador de presión</i>	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Pruebas de funcionamiento 68

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo de grado tiene como objeto la adecuación al banco de prácticas de regulación y medición para el monitoreo y corrección del volumen de gases en tiempo real, variando condiciones de presión y temperatura en la ejecución de prácticas del laboratorio de instrumentación de las Unidades Tecnológicas de Santander, contribuyendo así al aprendizaje del funcionamiento de una estación de regulación y medición (ERM) de gas natural. Asimismo, los objetivos específicos que permiten el desarrollo del proyecto son, primero, el diagnóstico de los componentes que conforman el banco de medición y regulación, incluyendo diseño CAD, P&ID, matriz de componentes y mantenimiento de los mismos. Seguido, implementar un sistema que permita el ajuste de las variables de presión y temperatura del fluido. Por último, se realiza una guía práctica que permita al estudiante interactuar de forma didáctica con el banco de pruebas.

Por otro lado, para dar cumplimiento a los objetivos, el proyecto es de tipo correlacional con un enfoque cuantitativo, siendo las variables principales del estudio, el control y medición de las variables presión, temperatura y volumen del fluido. Por otra parte, se obtiene como resultado un banco de pruebas funcional para la regulación y medición de fluidos, en el que se pueden variar las variables de presión y temperatura, con el fin de medir el volumen sin corregir y corregido del fluido. De igual forma se consigue una guía práctica para el desarrollo de actividades con el banco en el laboratorio de instrumentación.

PALABRAS CLAVE. *Presión, Temperatura, Volumen corregido, Regulación*

INTRODUCCIÓN

El gas natural es una de las fuentes de energía más limpias, seguras y útiles; siendo un combustible que abastece de energía a todo el mundo. Aunque es común encontrarlo junto con otros combustibles fósiles y otras fuentes de energía, hay muchas características del gas natural que lo hacen único. El desconocimiento total del gas natural, llevó a civilizaciones enteras a atribuir a este como una manifestación divina. A consecuencia de los relámpagos, se generaban incendios provocados por el gas que se filtraba de la corteza terrestre, dando lugar a fuego que venía desde el subsuelo. Estos incendios dejaban perplejos a las comunidades más cercanas, y es aquí donde tienen origen muchos mitos y supersticiones. Sin embargo, mucho tiempo después, en América y Europa la industria del gas alcanzó su esplendor con las técnicas de transporte con tuberías a grandes distancias (Aguirre, 2017).

La medición y el control de variables de proceso constituyen elementos fundamentales en la operación de sistemas industriales relacionados con el transporte y distribución de fluidos. En particular, en la industria del gas natural, la correcta determinación del volumen de gas transportado requiere considerar variables como la presión y la temperatura, ya que estas influyen directamente en las condiciones físicas del fluido. Por esta razón, los sistemas de medición incorporan dispositivos de instrumentación capaces de monitorear estas variables y aplicar correcciones que permitan determinar el volumen del gas bajo condiciones de referencia estandarizadas, garantizando así precisión en los procesos de medición y facturación del recurso energético.

Dentro de los sistemas de distribución de gas natural, las estaciones de regulación y medición (ERM) cumplen una función esencial, ya que permiten reducir

y estabilizar la presión del gas proveniente de las redes de transporte, además de medir el volumen suministrado a los diferentes usuarios. Estas estaciones integran diversos elementos de instrumentación y control, tales como reguladores de presión, sensores de temperatura, transmisores de presión y dispositivos de medición de flujo. De igual forma, en la industria de hidrocarburos, los sistemas automáticos de control también se han convertido en una parte vital, en operaciones tales como: El cierre y apertura de válvulas, control de presión, control de temperatura, medición de flujo, entre otros (Álvarez, 2018).

En el ámbito académico, la comprensión de estos sistemas resulta fundamental para la formación de estudiantes en áreas relacionadas con la ingeniería y la instrumentación industrial. Por esta razón, los laboratorios universitarios buscan implementar bancos de pruebas y equipos didácticos que permitan recrear condiciones reales de operación, facilitando la interacción directa del estudiante con los instrumentos de medición y control. A través de este tipo de herramientas experimentales es posible fortalecer el aprendizaje práctico de conceptos asociados a la medición de flujo, regulación de presión y análisis del comportamiento de los fluidos frente a variaciones de sus variables termodinámicas.

En el laboratorio de instrumentación de las Unidades Tecnológicas de Santander se dispone de un banco de prácticas orientado al estudio de sistemas de medición y regulación de fluidos. Sin embargo, este equipo presenta limitaciones que dificultan la realización de prácticas relacionadas con el análisis del comportamiento del volumen de gases frente a variaciones de presión y temperatura. En este sentido, surge la necesidad de realizar adecuaciones que permitan mejorar sus capacidades experimentales y facilitar el desarrollo de actividades académicas relacionadas con el funcionamiento de una estación de regulación y medición de gas natural.

En respuesta a esta necesidad, el presente trabajo de grado propone la adecuación del banco de prácticas de medición y regulación para el monitoreo del flujo de gases en tiempo real, permitiendo variar las condiciones de presión y temperatura durante la ejecución de prácticas en el laboratorio de instrumentación de las Unidades Tecnológicas de Santander. Para ello, el proyecto se desarrolla mediante un enfoque cuantitativo de carácter correlacional, en el cual se analizan las relaciones entre las variables presión, temperatura y volumen del fluido. Metodológicamente, el trabajo comprende tres etapas principales: el diagnóstico del estado y los componentes del banco de pruebas, incluyendo la elaboración de diagramas P&ID, diseño CAD y una matriz de componentes; la implementación de un sistema que permita el ajuste y monitoreo de las variables de presión y temperatura del fluido; y finalmente, el desarrollo de una guía práctica que facilite la interacción de los estudiantes con el banco de pruebas durante las actividades del laboratorio.

De esta manera, el proyecto contribuye al fortalecimiento de las herramientas experimentales disponibles en el laboratorio de instrumentación, permitiendo a los estudiantes comprender de manera práctica el funcionamiento de los sistemas de regulación y medición de gases y la influencia de las variables de presión y temperatura en la determinación del volumen corregido del fluido.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el banco de pruebas de regulación y medición con el que cuenta el laboratorio de instrumentación de la Unidades Tecnológicas de Santander, presenta inconsistencias en su funcionamiento, llevándolo a un estado de inoperatividad. Esto debido a la falta de manipulación, teniendo como consecuencia el deterioro en alguno de los componentes que conforman el sistema.

Por otro lado, el banco cuenta con un regulador presión de ajuste fijo, por lo que no permite la regulación accesible del fluido, de igual forma no es posible variar la temperatura del mismo, siendo esta una falencia del sistema ya que no permite que las practicas realizadas por los estudiantes se ejecuten de forma didáctica, donde se pueda someter el sistema a cambios en su comportamiento.

Debido a las condiciones mencionadas en las que se encuentra el banco, los estudiantes no pueden hacer uso del mismo para la ejecución de prácticas que van de la mano con la teoría que se imparte en la materia. Asimismo, el banco es un activo del laboratorio que puede ser muy aprovechable para la materia, pero que en la actualidad no se está aprovechando de forma adecuada.

¿La mejora del banco de pruebas de medición y regulación del laboratorio de instrumentación favorecería el aprendizaje adquirido en la asignatura de instrumentación?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La adecuación del banco de pruebas de regulación y medición del laboratorio de instrumentación conlleva a que el estudiante pueda realizar nuevas prácticas asociadas con la materia, con el fin de enriquecer el aprendizaje impartido, ya que interactuará con un equipo que juega un papel importante en la industria del gas natural. La adecuación consta además de suplir la falencia de los componentes que no permiten variar sus parámetros, mediante modificaciones a la etapa de regulación e integración de una etapa de calentamiento del fluido.

Por último, la restauración del banco permite aprovechar un equipo valioso que está fuera de servicio, y que aportará un gran beneficio para la asignatura mencionada.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Adecuación al banco de prácticas de medición y regulación, para la medición de flujo de gases en tiempo real, variando condiciones de presión y temperatura, para la ejecución de prácticas en el laboratorio de instrumentación de las Unidades Tecnológicas de Santander.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diagnosticar los componentes que conforman el banco de medición y regulación mediante un levantamiento de información técnica que incluya diseño CAD, P&ID, matriz de componentes y mantenimiento de los mismos.

Implementar un sistema que permita el ajuste de las variables de presión y temperatura del fluido para la medición del flujo de gases en tiempo real, mediante la modificación de la etapa regulación y la integración de una etapa de calentamiento del fluido.

Realizar una guía práctica que permita al estudiante interactuar de forma didáctica con el banco de pruebas, al realizar ajustes en las variables de presión y temperatura.

1.4. ESTADO DEL ARTE

(Salinas, 2019) en su trabajo titulado: “Control automático para la mejora de la regulación de presión y caudal de un sistema contra incendios, en la subestación eléctrica de 10.5KV Tinyahuarco – Pasco”, optimiza el sistema implementando un control PLC, con el objeto de regular la presión y el caudal de un sistema contra incendios. Esta tesis provee un gran aporte para el presente trabajo, ya que se evidencia las adecuaciones que el autor desarrolló para mejorar el control del sistema contra incendios, además se evidencian planos del control aplicado en los dispositivos empleados.

De igual forma (Cuesta, 2018), realizó un trabajo titulado: “Guía técnica para el diseño de una red de gas natural para uso industrial, aplicando la norma técnica colombiana”, donde se ven mencionados distintos elementos que conforman una estación de regulación y medición (ERM) tales como: válvulas, bypass, correctores de flujos, sistemas de filtración y regulación, siendo esto un modelo para el desarrollo del presente proyecto ya que muestra las características y consideraciones de los elementos que conforman el sistema, basándose en la norma técnica colombiana.

Asimismo, (Blanco & Carreño, 2017), desarrollaron un trabajo de grado titulado: “Desarrollo de una metodología para la selección de alternativas aplicables a la medición de gas quemado en las Teas de los campos de producción colombianos”, el cual aporta al presente trabajo información sobre la toma de mediciones de los volúmenes de gas quemado, que se llevan a cabo por medio de las tecnologías y alternativas de medición de flujo disponibles en el mercado, además hace una recopilación bibliográfica de los diferentes sistemas y aspectos generales de medición, donde se desarrolla una comparación técnica de diferentes medidores basándose en fundamentos teóricos y normativas internacionales.

De la misma manera, (Mateus, 2016), su tesis titulada: “Metodología para el diseño de una estación Paquetizada de regulación y medición de gas”, establece la importancia del proceso de acondicionamiento del gas natural antes de ser entregado al consumidor final. Además, se muestra el diseño de las estaciones, las cuales se usan para acondicionar el gas a valores seguros de presión y para la fiscalización del volumen entregado.

Por último, (Bermúdez, 2004), llevó a cabo un trabajo titulado, “Diseño de una estación de regulación y medición de gas natural para una central de generación de ciclo combinado”, el cual brinda como aporte para el presente trabajo, una investigación sobre la ingeniería básica de una estación de acondicionamiento, regulación y medición (EARM), de combustible (gas natural), cumpliendo con normas y requerimientos internacionales.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

La instrumentación trata de las técnicas, los recursos, y métodos relacionados con la concepción de dispositivos para mejorar o aumentar la eficacia de los mecanismos de percepción y comunicación del hombre. La instrumentación comprende dos campos principales: instrumentación de medida e instrumentación de control. En general, en el diseño de los sistemas de medida la atención se centra en el tratamiento de las señales o magnitudes de entrada, mientras que en los sistemas de control se da especial importancia al tratamiento de las señales de salida. En el primer caso son de interés los captadores o sensores y los transductores, mientras que en el segundo los dispositivos más relevantes son los accionadores o actuadores (Avedaño, 2015).

2.1.2. MECÁNICA DE FLUIDOS

La mecánica de los fluidos está relacionada con el estudio de los fluidos en dos condiciones específicas: cuando se encuentran en reposo o cuando se encuentran en movimiento. Cada una de estas situaciones es materia de estudio de una rama específica: la hidrostática estudia los fluidos en reposo y la hidrodinámica que estudia los fluidos en movimiento. En ambos casos es importante conocer la interacción que hay entre el fluido y la superficie que lo contiene y los efectos asociados a esta interacción (Gallardo et al., 2020).

Una sustancia existe en tres estados de agregación: sólido, líquido y gas. (A temperaturas muy elevadas también existe como plasma.) Una sustancia en la fase

líquida o en la gaseosa se conoce como fluido. La diferencia entre un sólido y un fluido se establece con base en la capacidad de la sustancia para oponer resistencia a un esfuerzo cortante (o tangencial) aplicado que tiende a cambiar su forma. Por lo tanto, podemos definir un fluido como, una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo cortante. Cuando un fluido se encuentra en reposo, no pueden existir esfuerzos cortantes (Flores, 2016).

2.1.3. MEDICIÓN DE FLUJO

La medición de flujo es una función importante para la operación de sistemas hidráulicos. Se refiere a la capacidad de medir la velocidad, el flujo volumétrico y el flujo másico o en peso de cualquier líquido o gas.

El funcionamiento de algunos medidores de flujo se encuentra afectado por las propiedades y condiciones del fluido. Por ejemplo, las diferencias entre un flujo líquido o gaseoso. Otros factores que pueden ser importantes son la densidad, viscosidad, temperatura y material del conducto. Los desechos y los fluidos multifásicos requieren de medidores especiales (Castillo, 2011).

2.1.4. FLUJO VOLUMÉTRICO

Si analizamos el flujo que pasa a través de la sección transversal de una tubería o un canal, se puede establecer la cantidad de fluido que se mueve por ese punto en la unidad de tiempo, esto se conoce como flujo volumétrico o caudal. Las unidades con las que se expresa en el SI son el m^3/s o también se expresa comúnmente en unidades de litros por segundo (lps). El caudal se puede determinar conociendo la velocidad del flujo y el área de la sección transversal por donde pasa

o midiendo el volumen de líquido que pasa en un tiempo determinado (Gallardo et al., 2020).

2.1.5. FLUJO MÁSSICO

El flujo másico es un concepto fundamental en física e ingeniería que desempeña un papel crucial en diversas industrias. Se refiere al movimiento o transferencia de masa dentro de un sistema o proceso. Comprender el flujo másico es esencial para una amplia gama de aplicaciones, como la dinámica de fluidos, la termodinámica y la manipulación de materiales. El flujo másico se define como la masa de una sustancia que pasa a través de una unidad de área por unidad de tiempo. Se puede representar mediante la fórmula M/t , donde M es la masa y t es el tiempo. La unidad de flujo másico suele ser el kilogramo por segundo (kg/s) o la libra por hora (lb/h). El caudal másico se puede calcular para líquidos, gases o sólidos, según la aplicación específica (Sincerity, 2023).

2.1.6. COMPORTAMIENTO DE LOS GASES

Al analizar el comportamiento de un gas se halla que los cambios de presión pueden producir variaciones considerables en su volumen y en su temperatura. Al estudiar experimentalmente el comportamiento de una determinada masa de gas, los físicos encontraron que tal comportamiento podría expresarse mediante relaciones matemáticas sencillas entre su presión (p), su volumen (V), y su temperatura (T). Una vez conocidos los valores de estas cantidades (masa, presión, volumen y temperatura), la situación en la cual se encuentra un gas, queda determinada; o, en otras palabras, queda definido su fase. Al producir una variación en una de esas magnitudes, se observa que, en general, las demás también se

modifican, y estos nuevos valores caracterizan otra fase del gas. Así que el gas sufre una transformación al pasar de una fase a otra (Complejo Educacional, 2014).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. GAS NATURAL

El gas natural es una fuente de energía fósil que, como el carbón o el petróleo, está constituida por una mezcla de hidrocarburos, unas moléculas formadas por átomos de carbono e hidrógeno. Complejos estudios de geología y física permiten encontrar y explotar los yacimientos de gas que centenares de miles de años de acción bacteriana han generado bajo tierra. El gas natural recibe este nombre porque se extrae directamente de la naturaleza y llega a su punto de consumo sin haber experimentado prácticamente ninguna transformación química. Es la energía fósil menos contaminante y su rendimiento energético es superior al de cualquier otra fuente combustible. Este hecho, añadido a la expansión de su comercio y la extensión de las redes y sistemas de distribución, hace que su utilización esté aumentando en todo el mundo (Dirección General de Industria, 2011).

2.2.2. ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN

Se denomina Estación de Regulación y Medición (ERM) al conjunto de elementos (válvula de corte de entrada, filtro, regulador de presión, tuberías, intercambiadores de calor, bomba hidráulica, medidores de caudal, controladores, válvulas de seguridad, manómetros, controladores etc.) destinado a efectuar la regulación, control y medición del gas suministrado a redes de gas secundarias.

El gas natural suministrado a la última red de consumo deberá cumplir con ciertas condiciones. presión y temperatura en un rango establecido, deberá pasar por un filtro para quitar las impurezas. Por último, se deberá tener en cuenta la cantidad de consumo de gas y su poder calorífico. Asimismo, la ERM tendrá a cargo la regulación de la presión y el caudal de suministro a los consumidores sean ellos industriales o domésticos, buscando mantener una presión constante y también poder medir la cantidad de gas suministrada a la instalación (Sousa et al., 2015).

2.2.3. CORRECCIÓN DE FLUJO

El factor de corrección para el gas natural y el GLP, es un coeficiente que se utiliza para ajustar las lecturas de los medidores de gas, principalmente en los sistemas de distribución y consumo, teniendo en cuenta las condiciones reales de presión y temperatura, respecto a las condiciones estándar. Los gases como el gas natural y el GLP, se comportan de acuerdo con las leyes de los gases ideales, lo que significa que su volumen varía dependiendo de la presión y la temperatura. Dado que los medidores de gas suelen medir el volumen en condiciones reales, es necesario aplicar un factor de corrección para obtener el volumen equivalente en condiciones estándar (generalmente 15,56°C y 14,69Psia).

Es importante aclarar que El gas natural es un fluido compresible. Un mismo volumen de gas puede contener más o menos energía dependiendo de la presión y la temperatura. Si el gas está muy frío o a alta presión, ocupa menos espacio (volumen), pero contiene la misma cantidad de energía que el mismo volumen a condiciones estándar. Es por ello que el factor de corrección asegura que los usuarios paguen por la cantidad de energía realmente consumida (masa de gas) y

no por el volumen que ocupa en el medidor, el cual varía con el clima y la presión atmosférica.

La resolución del (Ministerio de Minas y Energía, 2015), en el artículo 13, establece que, en caso de facturar el consumo de gas en volumen, éste debe expresarse en metros cúbicos a temperatura de 15,56°C (60°F) y a una presión atmosférica de 1,01008 bar (14,65Psia).

La corrección de volumen a estas condiciones estándar se determinará con la siguiente expresión:

$$V_c = V_m * K_P * K_T * F_{pv}^2$$

Donde:

V_c	Volumen corregido.
V_m	Volumen medido.
K_P	Factor de corrección por presión.
K_T	Factor de corrección por temperatura.
F_{pv}^2	Factor de corrección por compresibilidad.

Para proceder al cálculo de los diferentes factores aplicables a la fórmula de Volumen Corregido V_c , se procederá de la siguiente manera:

Factor de corrección por presión K_p :

$$K_P = \frac{P_m + P_a}{P_e}$$

Donde:

- P_m Presión manométrica en el medidor.
- P_a Presión atmosférica.
- P_e Presión estándar, 1,01008 Bar (14,65psia).

a) Presión manométrica en el medidor P_m :

La presión manométrica estará conforme lo dispuesto en la Resolución 9-0902 de 2013 expedida por el Ministerio de Minas y Energía “Reglamento de Instalaciones Internas de Gas combustible”, la cual adoptó las Normas Técnicas Colombianas NTC 2505 y 3838 o aquellas que la modifiquen adicionen o sustituyan.

b) Presión Atmosférica P_a :

La presión atmosférica (barométrica) se determinará a partir de la mejor información disponible, con la siguiente prioridad:

- Barómetro electrónico (promedio mensual).
- Información suministrada por las estaciones del IDEAM (promedio mensual).
- Se calcula con base en la presión atmosférica y la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del lugar mediante la siguiente ecuación:

$$P_a = P_o * e^{\frac{-g*x}{R*K}} \text{ [Pa]}$$

Donde:

[Pa]	Unidades de pascales
P_o	Presión atmosférica a nivel del mar, 101325 Pa
g	Gravedad en la Tierra, 9,81 m/s ²
R	Constante específica para aire seco, 287,058 J/kg·K
x	Altura sobre el nivel del mar en metros [m] a la que se encuentra el domicilio del usuario. Se deben considerar los diferentes pisos térmicos para cada variación de 200 metros sobre el nivel del mar, en donde se tomará el menor valor entre el rango que se encuentre.
K	Temperatura ambiente promedio mensual en kelvin, donde $K = 273,15 + T_m$ del municipio donde se encuentra el domicilio del Usuario y conforme a su ciclo de facturación.

La temperatura promedio del ciclo de facturación T_m se calculará mediante la siguiente expresión:

$$T_m = \frac{\sum_{i=-1}^0 (ND_{n+i} \times t_{n+i})}{DF} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Donde:

T_m	Temperatura promedio del ciclo de facturación del mes con mayor número de días del ciclo de facturación y corresponde a cada uno de los meses de enero a diciembre. Se expresa en grados centígrados.
-------	---

ND_{n+i}	Número de días del ciclo de facturación en el mes $n+i$.
t_{n+i}	Temperatura del mes $n+i$ del municipio donde se encuentra el domicilio del usuario. Para esto el comercializador podrá utilizar el informe “Promedios Climáticos” reportado por el IDEAM y utilizará la medición que se asimile más a la localización del domicilio del usuario, no obstante, se deberán utilizar las temperaturas que puedan ser tomadas por equipos de medición de temperatura ambiente pertenecientes al distribuidor o comercializador.
DF	Número total de días del ciclo de facturación.
n	Mes calendario de la toma de la lectura.

Los equipos de medición de temperatura del distribuidor deberán cumplir mínimo con las siguientes especificaciones:

- Rango de medición de temperatura ambiental: -10 – 50 °C
- Resolución para temperatura del aire: 0,1 °C
- Intervalo de medición de temperatura por lo menos cada 5 minutos.
- Debe contar con un puerto USB para descargar los datos o cualquier medio apropiado para tal fin.

Factor de corrección por temperatura K_T :

$$K_T = \frac{T_e + 273,15}{T_m + 273,15}$$

Donde:

- T_e Temperatura estándar, 15,56°C.
- T_m Temperatura promedio del ciclo de facturación del mes con mayor número de días del ciclo de facturación y corresponde a cada uno de los meses de enero a diciembre. Se expresa en grados centígrados.

Factor de corrección por compresibilidad F_{pv}^2 :

$$F_{pv}^2 = \frac{Z_e}{\overline{Z_m}}$$

Donde:

- Z_e Factor de compresibilidad a condiciones estándar.
- Z_m Factor de compresibilidad a condiciones medidas.

Para el cálculo de estos factores se utilizarán las recomendaciones del reporte AGA No. 8 de 1994. El factor F_{pv}^2 se considerará igual a 1 para presiones inferiores a 7 bares en el medidor del usuario.

2.2.4. CORRECTOR DE VOLUMEN

Los correctores de volumen se utilizan para calcular los volúmenes estándar mediante varios métodos de corrección. Un corrector de volumen recibe el volumen de gas medido de un medidor y lo convierte al estado estándar. Es necesario porque

los medidores de flujo del gas (incluidos los medidores de turbina, ultrasónicos, de pistón rotativo o de fuelle) sólo pueden registrar el volumen de funcionamiento del flujo de gas. Este volumen de operación es el volumen que puede determinarse en el punto de medición en las condiciones de temperatura y presión existentes. Sin embargo, para la facturación exacta del consumo de gas, la ley exige la comparabilidad con el estado estándar. Por esta razón, el legislador también prescribe el corrector de volumen si el gas, por encima de una cierta presión, fluye en la tubería de gas.

El dispositivo de medición utiliza sus sensores para determinar tres o cuatro valores: presión del gas, temperatura del gas y volumen de funcionamiento. A partir de estos valores, determina el volumen estándar utilizando uno de los distintos métodos de cálculo. Puede guardar los valores calculados a distintos intervalos y transmitirlos a través de distintas interfaces (por cable, óptica, inalámbrica). El corrector de volumen determina el caudal volumétrico en condiciones de gas estándar. Éstas son las condiciones que suelen prevalecer en el punto de medición en términos de temperatura y presión. La cantidad determinada tras el cálculo (volumen estándar) se indica en metros cúbicos estándar. Esta cantidad puede multiplicarse por el poder calorífico específico del gas. También puede utilizarse para determinar la energía en kWh/MJ, lo que es especialmente importante para la medición de la energía del hidrógeno en aplicaciones relevantes para la facturación (RMG, 2020).

2.2.5. TRANSDUCTOR

Los transductores son sistemas o dispositivos que realizan la conversión de una magnitud física cualquiera a una magnitud eléctrica, generalmente intensidad,

voltaje o impedancia, de forma que esta última constituya una réplica, tan perfecta como sea posible, de aquella. En este componente se puede diferenciar entre el sensor, que es el elemento sensible primario que responde a las variaciones de la magnitud que se mide, y el transductor que es el que lleva a cabo la conversión energética de la magnitud de entrada para dar como salida una señal eléctrica. Así, por ejemplo, un transductor de presión se puede construir con una membrana a la que se une una galga extensiométrica (resistencia cuyo valor depende de su deformación). En este caso, el diafragma es el sensor, mientras que la galga es el transductor (Granda & Mediavilla, 2015).

2.2.6. RTD PT100

Un PT100 es un sensor de temperatura de tipo RTD (detector de temperatura por resistencia). Consiste en un alambre de platino que a 0°C tiene 100 Ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde. Normalmente las PT100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal) (Arian, 2017).

2.2.7. ODÓMETRO

Aparato que se utiliza para medir la distancia recorrida entre dos puntos, o el camino recorrido entre dos puntos. Los odómetros llevan mucho tiempo de existir en su forma mecánica y recientemente, los dispositivos digitales han empezado a

reemplazarlos. Los odómetros digitales, emplean un sistema similar para registrar la distancia, una rueda metálica dentada se encuentra instalada a la salida de la transmisión y un sensor magnético recibe un impulso cada vez que pasa uno de los dientes metálicos de la rueda, con esto es posible determinar la distancia, una vez que se ha calibrado el dispositivo (Torres, 2008).

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. NTC 3838

Norma que establece las presiones de operación permisibles en los sistemas que se utilicen para transporte, distribución y suministro de gases combustibles, en aplicaciones de uso residencial, comercial e industrial bajo condiciones normales de servicio, de acuerdo con las características particulares de construcción y funcionamiento de tales sistemas, con el fin de salvaguardar la seguridad en el uso y manejo de estos combustibles (NTC 3838, 2014).

2.3.2. NTC 3728

Su finalidad es instaurar los requisitos que deben cumplir las líneas de transporte y las redes de distribución de gases combustibles, en cuanto al diseño, materiales, construcción, verificación y pruebas, condiciones de operación y exigencias relativas al mantenimiento y control de la corrosión. Las especificaciones de esta norma son adecuadas para las condiciones de operación y prestación del servicio regularmente encontradas en la industria del gas. Toda actividad desarrollada bajo el campo de aplicación de esta norma debe satisfacer o exceder las especificaciones en materia de seguridad aquí contempladas (NTC 3728, 2011).

2.3.3. NTC 6167

Esta norma establece los requisitos, directrices y procedimientos de carácter técnico necesarios para el adecuado desarrollo de los procesos de medición de transferencia de custodia de gas natural en gasoductos.

En cuanto al sistema de medición de volumen, cada punto de transferencia de custodia debe incluir una estación para transferencia de custodia en la que esté instalado un sistema de medición, mediante el cual se pueda contabilizar la cantidad de gas expresada en volumen a las condiciones base especificadas en la reglamentación vigente para transporte de gas natural, la que la modifique o reemplace, y determinar la respectiva energía entregada y recibida por el Sistema de Transporte dentro de los límites de error máximo permisible dados en la presente norma (NTC 6167, 2016).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de grado se desarrolla bajo una investigación descriptiva, porque analiza el comportamiento del flujo de gas bajo diferentes condiciones de presión y temperatura, buscando así, la adecuación del banco de prácticas para mejorar la medición y regulación del flujo de gases en el laboratorio de instrumentación.

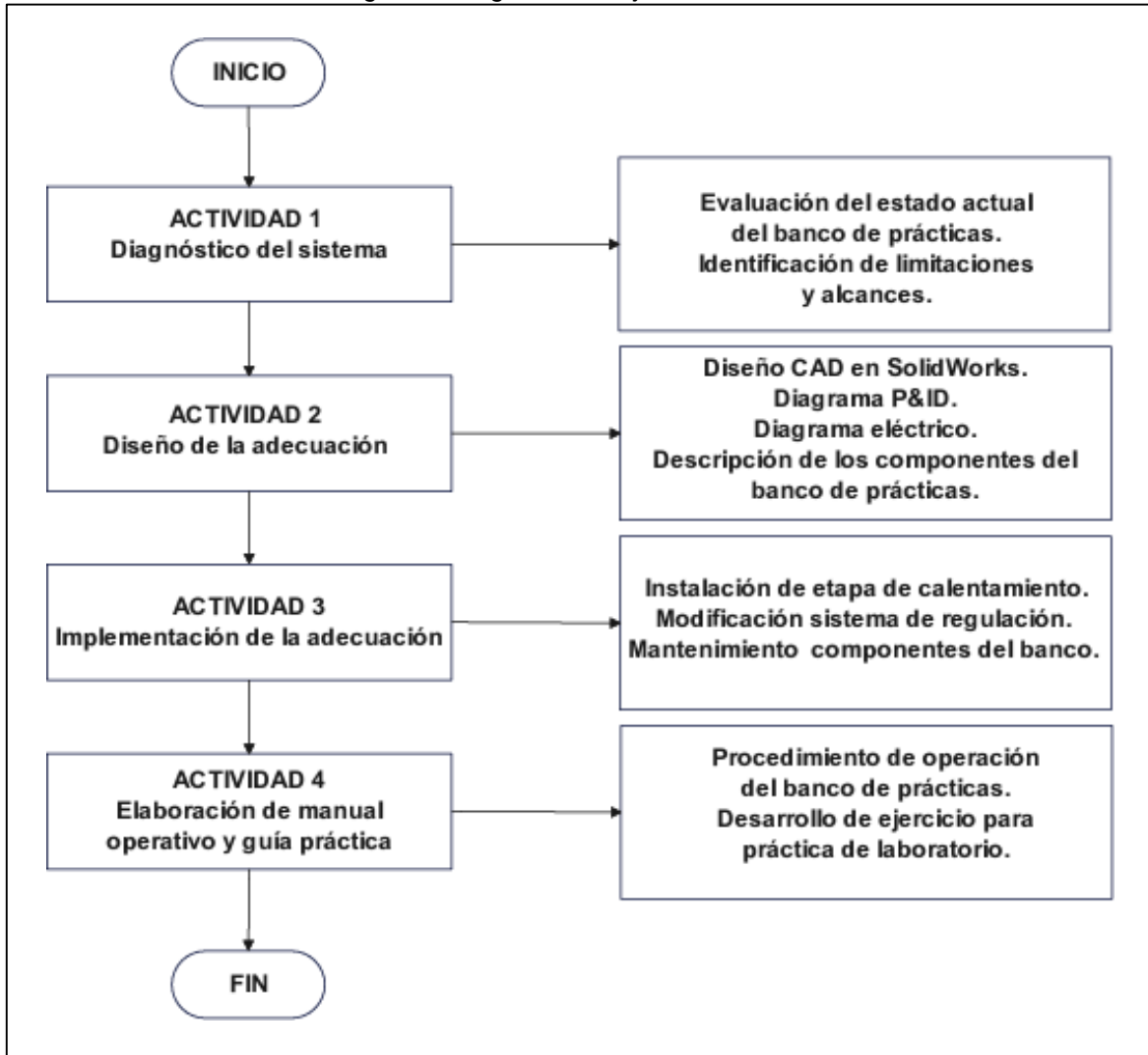
En un mismo sentido, el enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que se basa en la medición, registro y análisis de variables físicas como el flujo, la presión y la temperatura del gas, mediante instrumentos de medición y sistemas de adquisición de datos.

Por otro lado, se maneja un método experimental y analítico. El primero porque se manipulan variables de proceso (presión y temperatura) para observar su efecto sobre el flujo de gas. Y el segundo, ya que se procesan e interpretan los datos obtenidos para establecer relaciones entre las variables medidas.

Para el desarrollo del proyecto se emplean las técnicas de experimentación directa sobre el banco de prácticas, Medición instrumental, utilizando los sensores, transductores y medidores en el banco, teniendo así un registro de datos en tiempo real, para el procesamiento de datos mediante herramientas computacionales.

Asimismo, el desarrollo del trabajo se ejecutaron las actividades que se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 1. Diagrama de flujo de actividades



3.1. ACTIVIDAD 1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

Consiste en hacer un análisis del estado en que se encuentra la estación, realizando una revisión de cada uno de los componentes, identificando partes, dimensiones, características y operatividad de cada uno de estos, para luego determinar el alcance y las limitaciones de la mejora propuesta.

3.2. ACTIVIDAD 2. DISEÑO DE LA ADECUACIÓN

Se realiza un diseño CAD en *Solidworks* de la estación, donde se evidencia cada uno de los componentes y las mejoras realizadas. También se diseña el diagrama *P&ID* y eléctrico. Además, se desarrolla un listado de los componentes, donde se destacan las características y la función que cumple cada uno en la operatividad de la estación.

3.3. ACTIVIDAD 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ADECUACIÓN

Para esta actividad inicialmente se realiza un mantenimiento preventivo a cada uno de los componentes, logrando con esto remover óxido y suciedad que presentan las tuberías del sistema. Asimismo, se fabrica e instala la etapa de calentamiento del fluido, y también la modificación a la etapa de regulación de presión del fluido.

3.4. ACTIVIDAD 4. ELABORACIÓN DE MANUAL OPERATIVO Y GUIA PRÁCTICA

Se construye un manual de la estación, como banco de prácticas, en el cual se establece la manera en que se debe operar el mismo, así como las recomendaciones y precauciones a tener en cuenta. Además, se diseña una práctica para que el estudiante realice toma de datos y ejercicios matemáticos.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

El desarrollo del presente trabajo consiste en explicar cómo se elabora. Es importante aclarar que este se ejecuta con base al diseño de la investigación planteado anteriormente. A continuación, se exponen cada una de las actividades necesarias para la ejecución del proyecto:

4.1. ACTIVIDAD 1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

Como etapa inicial se realiza una inspección visual del banco de prácticas, (estación de regulación y medición), analizando qué componentes conforman el banco y validando el estado de los componentes que lo conforman (*Ver Figura 2*).

Figura 2. Banco de prácticas, estado inicial



El banco dispone de un filtro de partículas, el cual cuenta con un elemento filtrante de 5 micras en buen estado, con presencia de corrosión en las bases, de igual forma, este cuenta con un manómetro diferencial donde se puede diagnosticar el nivel de saturación del filtro (*Ver Figura 3 Figura 4*).

Figura 3. Filtro de partículas y manómetro diferencial



Figura 4. Elemento filtrante



Seguidamente, el sistema cuenta con un regulador de presión, con *Setpoint* fijo, establecido en 30Psig, el cual tiene una buena operatividad, lo cual indica que los diafragmas se encuentran en buen estado (*Ver Figura 5*).

Figura 5. Regulador de presión



Posterior al regulador se encuentra una válvula de seguridad para sobrepresiones, dicho elemento se encontró configurado a un 10% por encima de la presión del regulador, también presenta un estado de operatividad bueno, con la salvedad de que no cuenta con la tubería de venteo (*Ver Figura 6*).

Figura 6. Válvula de seguridad



Luego de la válvula de seguridad FSM25, marca *Relief Valve* se localiza el medidor de flujo tipo rotativo G40, marca *Tancy* este se aprecia en buen estado general, asimismo se nota que requiere una inspección interna para validar el desgaste de los lóbulos y el aceite, con el fin de mejorar su operatividad. Además, se evidencia que el medidor ha tenido poco uso, ya que el odómetro registra una lectura muy pequeña (*Ver Figura 7*).

Figura 7. Medidor de flujo FSM25



Por otro lado, el banco cuenta con un corrector de flujo IVC-FA, marca *Shanghay Fiorentini*, el cual se encontró apagado, y con las baterías de respaldo en mal estado, se requiere revisión del mismo e instalación de baterías, para validar su funcionamiento y estado de los sensores que lo conforman (*Ver Figura 8Figura 9*).

Figura 8. Corrector de flujo IVC-FA



Figura 9. Corrector de flujo (interno)



En un mismo sentido, el banco de prácticas cuenta con una válvula de globo, marca *Neway*, ubicada en la tubería de *bypass*, esta se encontró con los empaques en mal estado, los cuales deben ser remplazados, ya que existen fugas en dicho componente. Asimismo, es necesario el desmonte de la válvula para limpieza interna (Ver Figura 10).

Figura 10. Válvula de Globo.



Del mismo modo, el banco cuenta con válvulas de corte tipo mariposa, manómetros analógicos de aguja, los cuales se encuentran en buena condición, además de las tuberías que conectan y unen a todos los componentes, estas últimas requieren limpieza interna para eliminar partículas de suciedad, que puedan afectar los componentes críticos (*Ver Figura 11*).

Figura 11. Válvulas mariposa y manómetros



Por último, el banco de prácticas requiere de un mantenimiento general de cada uno de sus componentes, y una revisión más profunda del corrector de flujo. Por otro lado, es necesario realizar una modificación a la etapa de regulación de presión, que permita la variación de la misma, además el banco no cuenta con una etapa de calentamiento del fluido. En conclusión, una vez hecho el diagnóstico, se determina que sí es viable la restauración y mejoramiento del banco.

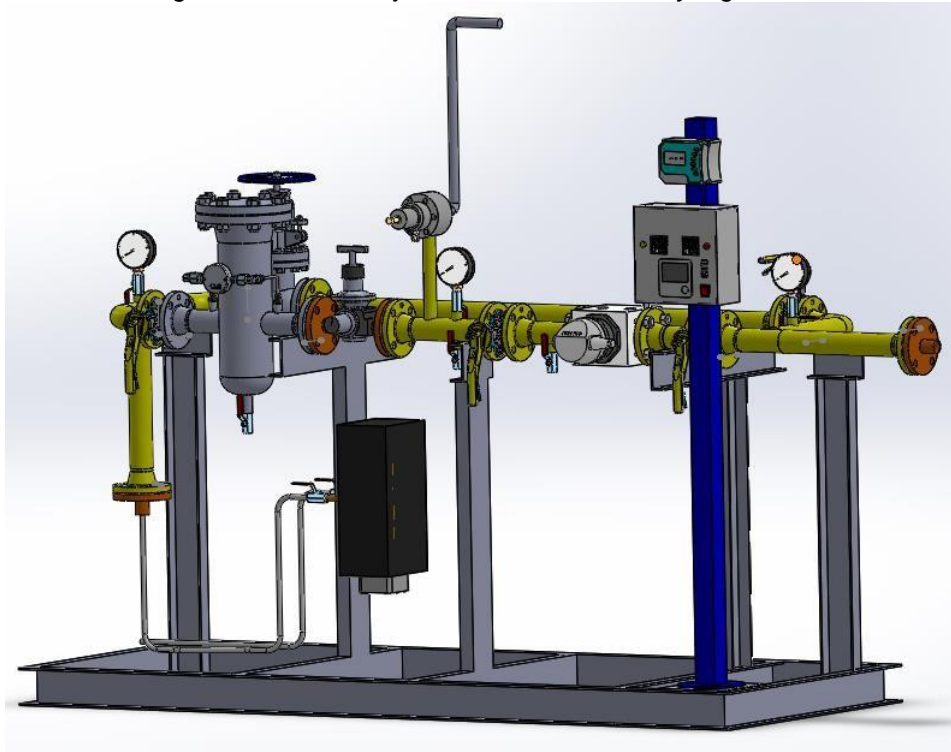
4.2. ACTIVIDAD 2. DISEÑO DE LA ADECUACIÓN

Para dar solución al diseño, se utiliza el *software* CAD *Solidworks*, donde se diseña a detalle la estación de regulación y medición. La metodología aplicada es diseñar cada uno de los componentes y las mejoras realizada, para luego realizar un ensamblaje. Seguido, en este apartado también elabora el diagrama P&ID, donde se describe la estación de forma esquemática. A su vez se diseña el diagrama eléctrico de la misma, y también se elabora un listado, donde se detallan los componentes que conforman el banco, brindado la descripción, las características y la función que cumple cada uno de estos.

4.2.1. DISEÑO CAD

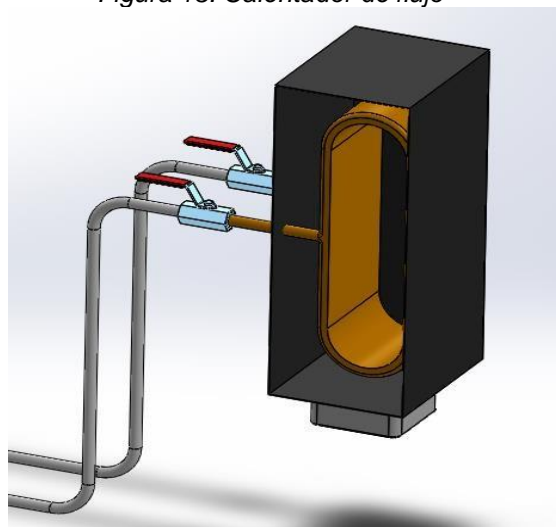
Inicialmente se muestra el diseño CAD de la estación completa, con las adecuaciones realizadas las cuales son la etapa de calentamiento y de regulación de presión (*Ver Figura 12*).

Figura 12. Ensamblaje estación de medición y regulación



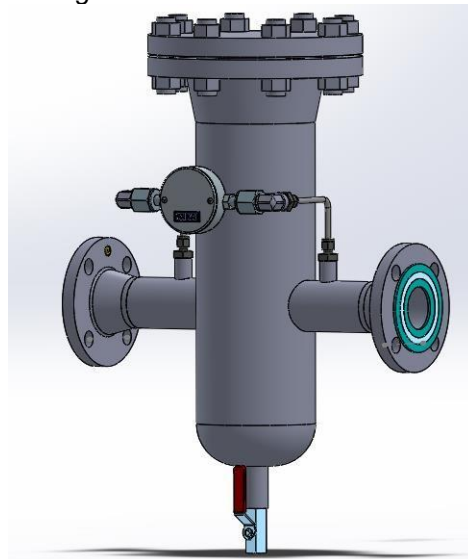
Siguiendo el sentido en que llega el fluido a la estación, se diseña el calentador de flujo, el cual es una de las adecuaciones que se le realizó al banco (Ver Figura 14).

Figura 13. Calentador de flujo



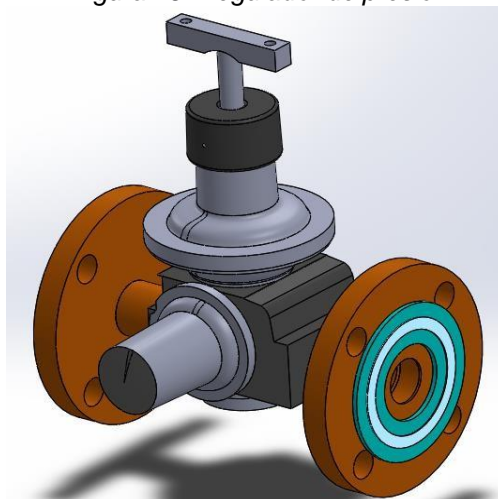
Seguido de la etapa de calentamiento, el flujo se direcciona hacia el filtro de partículas (*Ver Figura 14*).

Figura 14. Filtro de Partículas



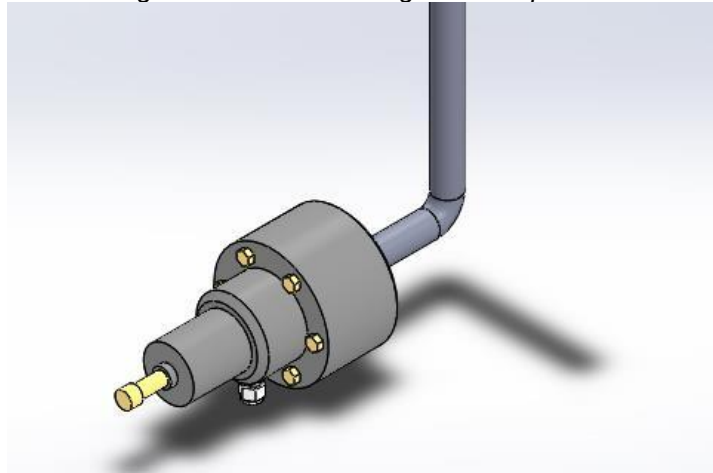
Una vez diseñada la etapa de filtrado, se dirige hacer el regulador de presión, siendo esta otra adecuación del banco modificado su sistema de regulación (*Ver Figura 15*).

Figura 15. Regulador de presión



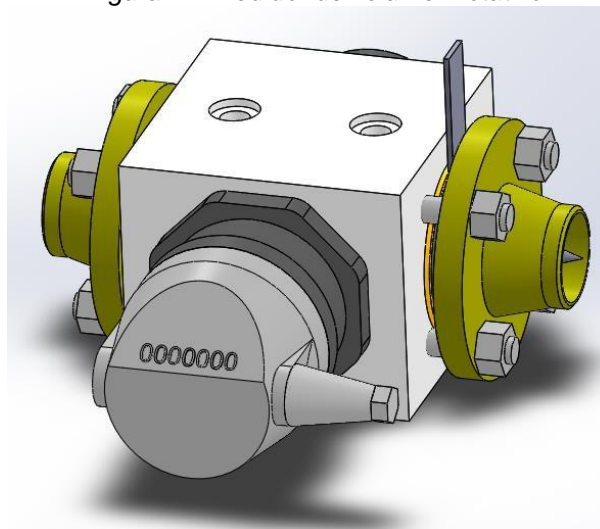
Luego de la etapa de regulación de presión, se dibuja la válvula de seguridad de presión, junto con su tubería de venteo a la atmosfera (*Ver Figura 17*).

Figura 16. Válvula de seguridad de presión



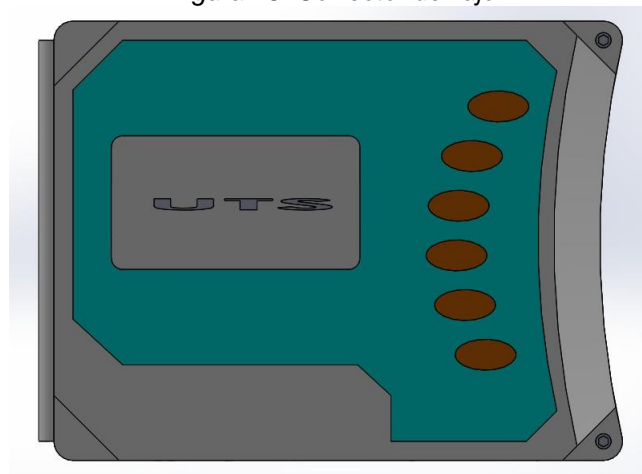
Una vez el fluido es monitoreado por la válvula de seguridad, se diseña el medidor de volumen rotativo, junto con su odómetro y filtro tipo cono. (*Ver Figura 17*).

Figura 17. Medidor de volumen rotativo



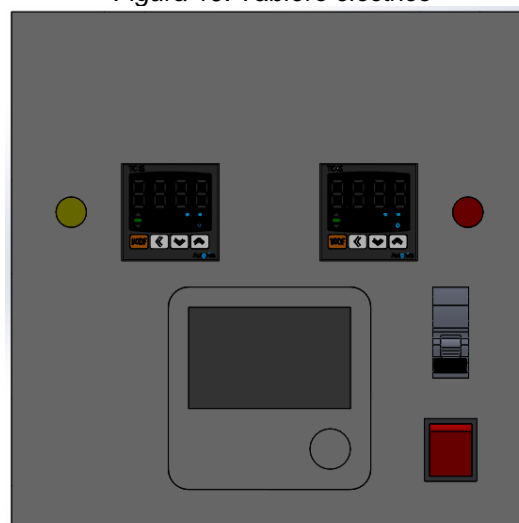
Cabe resaltar que el medidor de volumen cuenta con conexiones, para la instalación del transductor de presión y el sensor de temperatura que, registran dichas magnitudes para el corrector de flujo (Ver Figura 18).

Figura 18. Corrector de flujo



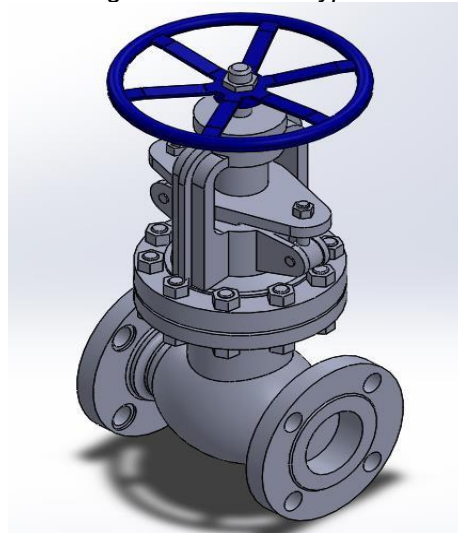
Es importante también destacar el tablero eléctrico que se implementó para el control de la temperatura del fluido (Ver Figura 19).

Figura 19. Tablero eléctrico



De igual forma, se diseña la válvula tipo bola ubicada en la tubería de *bypass* (Ver Figura 20).

Figura 20. Válvula *bypass*



Por último, se esboza la base o patín que soporta toda la estación (Ver Figura 21).

Figura 21. Patín de la estación

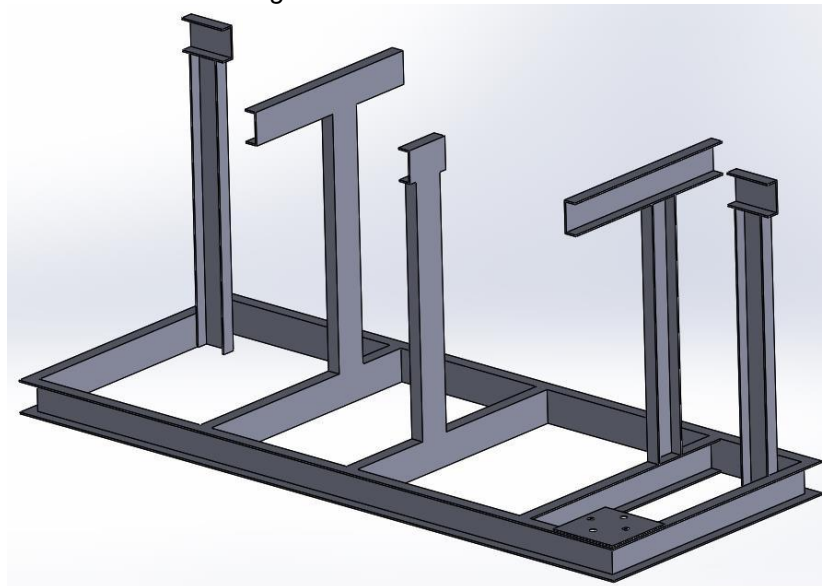
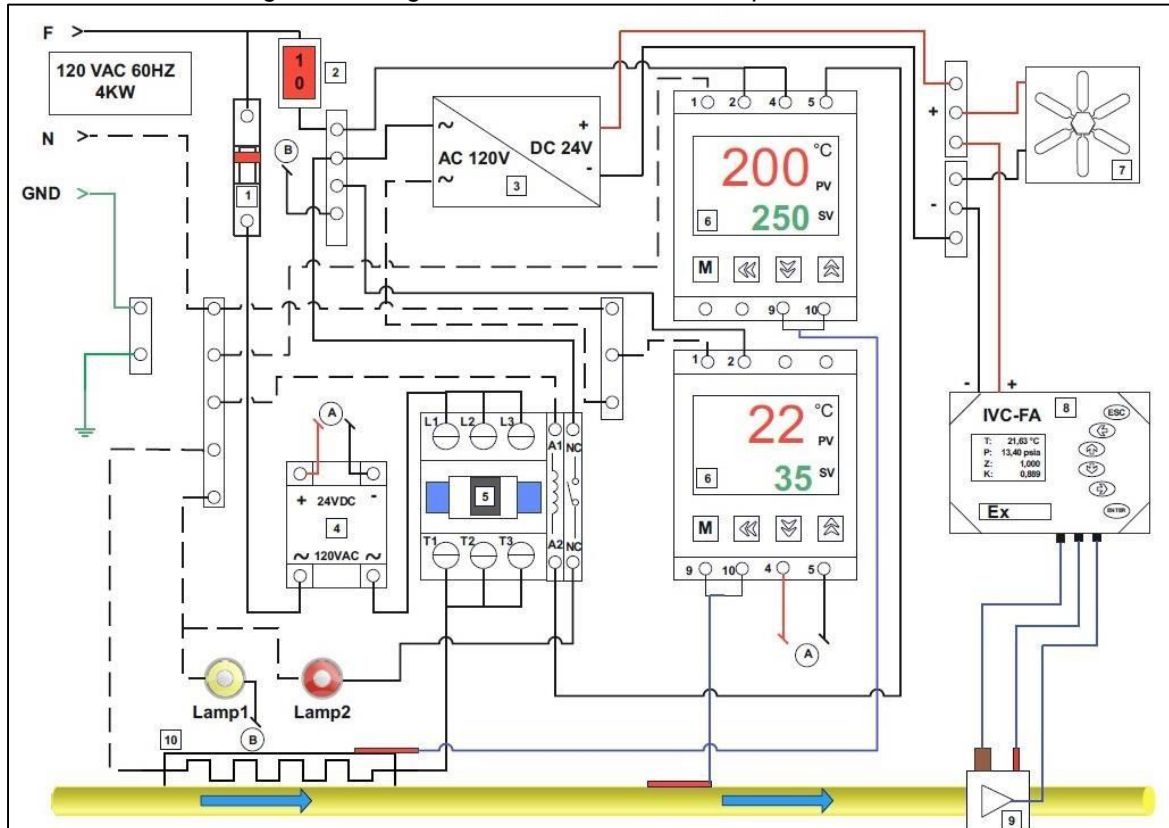


Figura 23. Diagrama eléctrico del banco de prácticas ó ERM




DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

1. Mini Breaker 1P 32 Amp
2. Switch de balancín de 2 polos
3. Fuente conmutada 24VDC 2 Amp
4. Módulo de relé de estado sólido SSR-40A
5. Contactor trifásico 3P 40 Amp
6. Controlador de temperatura digital
7. Ventilador extractor
8. Corrector de volumen de gas electrónico
9. Medidor de gas tipo lóbulos
10. Calentador eléctrico 110 VAC

4.2.4. LISTADO DE COMPONENTES

Nombre	Característica	Función
<p>Calentador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje 110VAC - 60Hz - Potencia Max: 3450W - Corriente Max: 31A - Intercambiador cobre ½" 	<p>Encargado de generar calor mediante resistencias eléctricas, para cambiar la temperatura del fluido.</p>
<p>Tablero eléctrico de control del calentador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Vin: 110VAC - Vout 1: 110V - Vout 2: 24DC - Potencia out: 4000W - Termómetro – Higrómetro integrado 	<p>Su función es controlar la temperatura del calentador, y la del fluido a la entrada del medidor.</p>
<p>Filtro de Partículas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 2" ANSI 150 - Altura 20cm - Ø_{ext}: 12cm - Ø_{int}: 7cm - Indicador diferencial de presión - Elemento filtrante 5 micras - Drenaje para condensados 	<p>Retiene cualquier impureza que pueda traer el fluido, además de servir de trampa de agua</p>

<p>Regulador de presión</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Pietro Fiorentini HP100 - Pin Max: 290Psig - Pout Min: 10Psig - Pout Max: 60Psig - Pshut down: 63Psig - Ptrabajo: 10Psig – 60Psig 	<p>Destinado para regular o cambiar la presión del fluido en varios rangos</p>
<p>Válvula de seguridad</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Relief Valve FSM25 - Capacidad de flujo en venteo: 180m³/h - Presión apertura: 65Psig - Temperatura de trabajo: - 20°C – 60°C 	<p>En caso de emergencia, libera el fluido a la atmosfera, al superar la presión máxima que soporta la ERM</p>
<p>Medidor de flujo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Tancy G40 – 2" 150 - Qmin: 0,5 m³/h - Qmax: 65 m³/h - Unidad por pulsos: 0,1 m³ - Año: 2015 	<p>Tiene el objeto de medir el flujo en m³/h, y entregar dicha información al corrector de volumen</p>
<p>Válvula de globo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Neway BS1873 - 2" ANSI 150 - Acero al carbón 	<p>Cumple la función de abrir y cerrar de forma gradual y controlada la tubería de bypass</p>

<p>Corrector de volumen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Shanghai Fiorentini IVC – FA - Grado de protección IP65 - Batería: 3,6VDC – 19A/h - Fuente externa 24VDC +/- 3VDC - Sensor Temp: PT1000 – 4hilos - Transductor de presión: 0 - 100Psig (1/4" NPT) - Entrada de pulsos alta y baja frecuencia - Puerto de comunicación: Modbus RTU RS232 - Corrección bajo AGA 8 detallado 	<p>Corrige el volumen del fluido, teniendo en cuenta los cambios de presión y temperatura</p>
---	--	---

4.3. ACTIVIDAD 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ADECUACIÓN

4.3.1. MANTENIMIENTO

Esta etapa consiste inicialmente en la ejecución del mantenimiento preventivo al banco de prácticas. En dicho mantenimiento se desmontaron cada uno de los componentes para realizar limpieza interna, allí se localizó presencia de suciedad y corrosión mayormente en la parte interna de la tubería principal debido al tiempo de inactividad y almacenamiento en zona húmeda. De igual forma, se encontraron fugas en los empaques de las bridas, las cuales fueron corregidas reemplazando dichos empaques y alineando la tubería (*Ver*

Figura 24, Figura 25 y Figura 26).

Figura 24. Desmonte de componentes para mantenimiento



Figura 25. Corrosión en el sistema



Toda esta suciedad fue removida para garantizar el buen funcionamiento de los componentes, para ello se empleó desengrasantes, lija y pintura.

Figura 26. Limpieza de filtro



Además, se realiza el ajuste de la presión de apertura de la válvula de seguridad, a un 10% por encima de la presión máxima entregada por el regulador (Ver Figura 27 y Figura 28).

Figura 27. Ajuste 1 válvula de seguridad



Figura 28. Ajuste 2 a válvula de seguridad



Asimismo, se realiza el cambio de aceite al medidor de flujo, ya que este se encontraba en mal estado. El aceite aplicado es Shell Morlina S2BL10, especial para este tipo de medidores (Ver Figura 29). De igual forma se realiza limpieza del filtro tipo cono ubicado aguas arriba del medidor.

Figura 29. Lubricación del medidor de flujo



También se ejecuta el mantenimiento del corrector de volumen, el cual consiste en limpieza con limpiador de contacto, cambio de baterías de litio de 3,6VDC no recargables, actualización de parámetros, calibración del cero y el spam al transductor de presión y sensor de temperatura. Seguido, se realiza validación del correcto funcionamiento del algoritmo que aplica el dispositivo. Por último, se habilita puerto de comunicación serial RS232, para conexión local a través del software *F_SCAN* (Ver Figura 30 y Figura 31).

Figura 30. Mantenimiento 1 a corrector de volumen

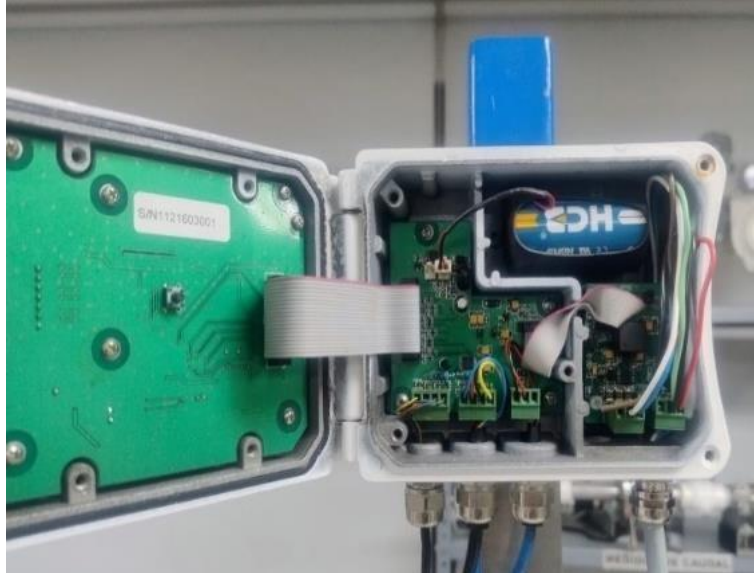


Figura 31. Mantenimiento 2 a corrector de volumen



4.3.2. ADECUACIONES

En primera instancia se fabrica un calentador para el fluido, el cual está fabricado con tubería en cobre de ½”, por donde pasa el fluido (en este caso aire), tres resistencias tipo espiral (dos de 1000W y una de 1400W). Todo esto agrupado en una caja de acero galvanizado, aislado con lana de piedra para evitar el excesivo calentamiento de la misma y a su vez la optimizar la transferencia de calor hacia el fluido (Ver Figura 32 y Figura 33).

Figura 32. Calentador internamente (tubería y resistencias)



Figura 33. Calentador con aislamiento (lana de piedra)



En cuanto a la salida y entrada del fluido al calentador se emplea tubería en acero inoxidable de 1/2", con válvulas de corte, además la tubería de salida se aísla primeramente con rubatex y luego con cinta foil de aluminio (Ver *Figura 34* y *Figura 35*).

Figura 34. Tubería de entrada y salida del calentador



Figura 35. Calentador con aislamiento e instalado



De igual forma se implementa un control eléctrico para estas resistencias, este consiste en dos controladores de temperatura digitales. El primero controlador de temperatura digital CTD1 (*Ver Figura 36*), ubica su sensor en la entrada del medidor de flujo, y es mediante este que el usuario establece la temperatura deseada teniendo en cuenta el rango que soportan los componentes de la estación (20°C a 55°C), dicho controlador funciona bajo un control PID, con la finalidad de garantizar una estabilidad de la temperatura del fluido deseada. El segundo CTD2, (*Ver Figura 36*) es el controlador de seguridad, el cual posee un sensor que está ubicado dentro del calentador, y controla que la temperatura no supere los 250°C, siendo esta la temperatura máxima que puede soportar el calentador, en este caso en controlador funciona bajo un control ON/OFF. Además, este tablero de control cuenta con un breaker de seguridad DT, pilotos de encendido y apagado de las resistencias, relevos, fuente de 24VDC, un ventilador interno para disipar el calor interno del gabinete y un termómetro higrómetro (*Ver Figura 36, Figura 37 y Figura 38*).

Figura 36. Tablero de control calentador



Figura 37. Tablero de control de temperatura (vista interna)

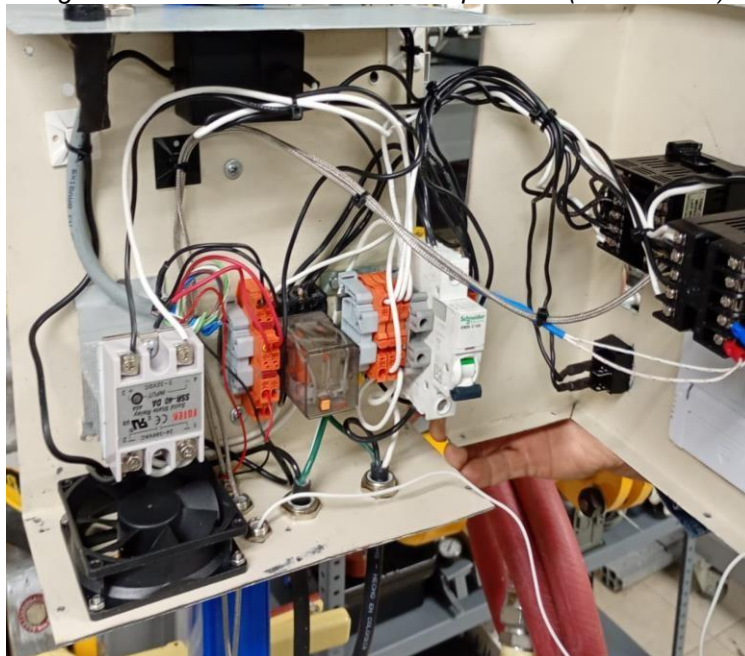


Figura 38. Tablero de control de temperatura (vista externa)



Por otro lado, se mejoró el funcionamiento del regulador de presión, logrando cambiar el *setpoint* fijo que trae de fábrica de 30Psig, a un rango variable de 10Psig a 60Psig). Dicha mejora se alcanzó cambiando el resorte por uno con menos elasticidad (menor cantidad y mayor diámetro de espiras), (Ver *Figura 39 y Figura 40*).

Figura 39. Resorte del regulador



Figura 40. Vástago del regulador



En un mismo sentido, se fabrica una tapa que sirve de tope para el vástago, además de un maneral para el ajuste de la presión (*Ver Figura 41, Figura 42 y Figura 43*).

Figura 41. Tapa del regulador



Figura 42. Maneral del regulador



Figura 43. Regulador de presión



4.4. ACTIVIDAD 4. GUÍA PRÁCTICA

El desarrollo de esta actividad consiste en un cuaderno guía del banco de prácticas o estación de regulación y medición, el cual da inicio con una descripción breve del proceso y el funcionamiento de la estación, con ello se busca que el estudiante se contextualice en el tema. Seguido, se ilustra un listado de los componentes con sus características y función. Además, se detalla el uso y el manejo del corrector de volumen *IVC-FA*, siendo este el único componente electrónico con el que cuenta la estación. Por último, se encuentra una práctica de laboratorio, donde se brinda un instructivo para la puesta en marcha de la estación, para que luego se tomen datos en tiempo real, y poder realizar el cálculo del factor

de corrección, mediante fórmulas que permitan compararlo con el factor arrojado por el corrector de volumen (*Ver ANEXO A. GUÍA PRÁCTICA*).

5. RESULTADOS

5.1. BANCO DE PRÁCTICAS

El banco de prácticas de la estación de medición y regulación de gas natural, logra recuperarse, quedando operativo para su socialización del proceso y para la ejecución de prácticas de laboratorio. Se logra cumplir con el mantenimiento preventivo y puesta a punto de cada uno de los componentes, además de realizar las adecuaciones que consistieron en fabricar e instalar calentador y lograr que el regulador de presión sea variable, haciendo esto que la estación de regulación y medición (ERM) sea más interactiva para la ejecución de prácticas de laboratorio.

5.1.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

La ejecución de las pruebas de funcionamiento consistió en establecer presiones desde 5Psig a 40Psig, mediante el regulador de presión. Luego se tomaron las lecturas de presión y temperatura de medición detectadas por el termómetro y el transductor de presión. En la *Tabla 1* se observa también el flujo sin corregir y corregido. Posteriormente los factores de corrección de compresibilidad (Z) y el total (K). Cabe resaltar que el flujo corregido es calculado al multiplicar el volumen sin corregir por el factor K.

Tabla 1. Pruebas de funcionamiento

Tiempo Prueba [min]	Presión Regulada [Psig]	Temp de Medición [°C]	Presión de Medición [Psia]	Flujo sin Corregir [m ³ /h]	Flujo Corregido [m ³ /h]	Factor Compresibilidad [Z]	Factor Corrección Total [K]
5	10	21,09	20,31	5,5	7,5	0,999	1,347
5	10	21,08	20,45	5,7	7,8	0,999	1,368
5	15	21,11	26,35	6,2	10,8	0,999	1,749
5	15	21,14	26,67	6	10,6	0,999	1,767
4,2	20	21,19	31,68	6,4	13,5	0,999	2,106
4,2	20	21,14	31,58	6,7	13,8	0,999	2,060
4	25	21,06	36,2	6,5	15,5	0,999	2,405
4	25	21,13	36,6	6,9	15,9	0,999	2,304
3,8	30	21,3	41,6	7,2	17,3	0,999	2,403
3,8	30	21,22	41,8	7,5	17,9	0,999	2,387
3,6	35	21,26	46,7	8	19,3	0,999	2,413
3,6	40	21,06	51,5	8,3	21,1	0,999	2,542

Al analizar la *Tabla 1*, en la columna del flujo sin corregir, se observa un incremento moderado a medida que aumenta la presión. Sin embargo, este aumento no refleja completamente la cantidad real de gas que circula, debido a que el volumen medido depende de las condiciones de operación.

Continuando con la idea, el flujo corregido presenta un incremento mucho más significativo, lo que demuestra la aplicación del factor de corrección total (K). Este comportamiento confirma que, a mayores presiones, el gas se encuentra más comprimido, por lo que un mismo volumen medido representa una mayor cantidad de masa, lo cual es ajustado mediante la corrección. Además de nota que el factor de compresibilidad (Z) permanece prácticamente constante en todos los ensayos, con un valor cercano a la unidad. Esto debido a que las presiones utilizadas en las pruebas estuvieron por debajo de los 100Psig.

Finalmente, se confirma que el flujo corregido es directamente proporcional al flujo sin corregir multiplicado por el factor K, lo cual valida el procedimiento de cálculo implementado en el sistema y el correcto funcionamiento del corrector de volumen.

6. CONCLUSIONES

La adecuación del banco de prácticas permitió evidenciar que la medición del volumen de gas mediante medidores volumétricos se ve afectada por las variaciones de presión y temperatura, debido al comportamiento compresible del gas, lo que puede generar interpretaciones erróneas si no se consideran dichas variables. Esto confirma la necesidad de aplicar correcciones para obtener valores representativos de la cantidad de gas en condiciones estándar que se esté consumiendo.

La integración del calentador y la modificación al regulador de presión permitieron mejorar la visualización y comprensión del proceso de medición y corrección de volumen, llevándolo a un entorno real y logrando que el estudiante interactúe con un proceso importante de la industria del gas natural, bajo diferentes condiciones operativas, facilitando la comprensión de conceptos fundamentales de instrumentación y medición que son esenciales en aplicaciones industriales.

La elaboración del manual de prácticas contribuyó a estructurar el uso adecuado del banco, permitiendo estandarizar los procedimientos de operación, medición y análisis. Esto garantiza que futuras prácticas se desarrollen de manera organizada y con un enfoque técnico adecuado, fortaleciendo el proceso de enseñanza en el laboratorio.

El banco de prácticas desarrollado constituye una herramienta que no solo permite la medición del flujo de gas, sino también la comprensión del proceso de corrección volumétrica, evidenciando la importancia de considerar las condiciones operativas en sistemas reales de medición en la industria.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda instalar una fuente de alimentación de aire de mayor capacidad, que suministre un mayor caudal, para mejorar la operatividad del banco, buscando trabajar con presiones cercanas a la presión máxima permitida. Además, con esto también se busca mejorar la transferencia de calor del calentador al fluido.

Por otro lado, se sugiere instalar a la salida de la ERM un centro de medición residencial, con el fin de simular consumos residenciales, logrando con ello hacer aún más interactivo el banco para la ejecución de prácticas de laboratorio.

Por último, desarrollar un plan de mantenimiento preventivo de cada uno de los componentes del banco, donde se establezca un cronograma y un instructivo para la ejecución del mismo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, A. (2017). Consideraciones en la medición del gas natural.

Álvarez, J. (2018). Diseño conceptual de un sistema de control para medir y acondicionar un flujo de gas de suministro a una planta termoeléctrica, de entre 700Psig y 290Psig a 50Psig.

Arian. (2017). Control & Instrumentación.

Avedaño, L. E. (2015). Fundamentos de Instrumentación.

Bermúdez, J. (2004). Diseño de una estación de regulación y medición de gas natural para una central de generación de ciclo combinado.

Blanco, A., & Carreño, J. (2017). Desarrollo de una metodología para la selección de alternativas aplicables a la medición de gas quemado en las Teas de los campos de producción colombianos.

Castillo, C. (2011). Medidores de Flujo en Tuberías a Presión.
Complejo Educativo. (2014). Gases Ideales.

Cuesta, Y. (2018). Guía técnica para el diseño de una red de gas natural para uso industrial, aplicando la norma técnica colombiana.

Dirección General de Industria, E. y M. (2011). El Gas Natural, el recorrido de la energía.

Flores, H. (2016). Mecánica de los Fluidos.

Gallardo, R., Jaramillo, H., & Gómez, J. (2020). Conceptos Básicos de Mecánica de Fluidos.

Granda, M., & Mediavilla, E. (2015). Instrumentación Electrónica: Transductores y acondicionadores de señal.

Mateus, C. (2016). Metodología para el diseño de una estación paquetizada de regulación y medición de gas.

- Ministerio de Minas y Energía. (2015). Comisión de regulación de energía y gas.
- NTC 3728. (2011). Gasoductos. Líneas de transporte y redes de distribución de gas.
- NTC 3838. (2014). Gasoductos. Presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles.
- NTC 6167. (2016). Medición de transferencia de custodia de gas natural en gasoductos.
- RMG. (2020). Corrector de Volumen. La Tecnología de Medición Del Gas. <https://www.rmg.com/es/la-tecnologia-de-medicion-de-gas/corrector-de-volumen>
- Salinas, H. (2019). Control automático para la mejora de la regulación de presión y caudal de un sistema contra incendios, en la subestación eléctrica de 10.5 kV, Tinyahuarco - Pasco.
- Sincerity. (2023). ¿Qué es el flujo másico? <https://www.bjssae.com/es>.
- Sousa, M., Rodríguez, T., & Moraga, C. (2015). Operación óptima en Ecosimpro de estaciones de regulación y medida de la red de gas natural.
- Torres, V. (2008). Diseño y construcción de un odómetro digital.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO A. GUÍA PRÁCTICA



Ingeniería Electromecánica

GUÍA PRÁCTICA DE LA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN DE GAS NATURAL DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN.

Autores

Jonathan José Caldera Suárez

CC 1140414987

Diego Armando Angarita Roperro

CC 13176435

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga, junio 2026

CONTENIDO

	Pg.
1. Estación de regulación y medición de gas	1
2. Factor de corrección	1
3. Listado de componentes	2
4. Puesta en marcha de la ERM	4
5. Práctica de laboratorio.....	7

ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN DE GAS NATURAL

Se denomina Estación de Regulación y Medición (ERM) al conjunto de elementos destinados a efectuar la regulación, control y medición del gas natural.

El gas natural suministrado a la última red de consumo deberá cumplir con ciertas condiciones de presión y temperatura en un rango establecido, deberá pasar por un filtro para quitar las impurezas, y además tener en cuenta la cantidad de consumo de gas y su poder calorífico. Por lo cual, la ERM tendrá a cargo la regulación de la presión y la medición del volumen de gas suministrado a los consumidores, sean ellos industriales o residenciales.

FACTOR DE CORRECCIÓN

El factor de corrección para el gas natural, es un coeficiente que se utiliza para ajustar las lecturas de los medidores de gas, teniendo en cuenta las condiciones reales de presión y temperatura, respecto a las condiciones estándar. Los gases como el gas natural, se comportan de acuerdo con las leyes de los gases ideales, lo que significa que su volumen varía dependiendo de la presión y la temperatura. Dado que los medidores de gas suelen medir el volumen en condiciones reales, es necesario aplicar un factor de corrección para obtener el volumen equivalente en condiciones estándar (generalmente 15,56°C y 14,69Psia).

Los gases son fluidos compresibles. Un mismo volumen de gas puede contener más o menos energía dependiendo de la presión y la temperatura. Si el gas está muy frío o a alta presión, ocupa menos espacio (volumen), pero contiene la misma cantidad de energía que el mismo volumen a condiciones estándar. Es por ello que el factor de corrección asegura que los usuarios paguen por la cantidad de energía realmente consumida (masa de gas) y no por el volumen que ocupa en el medidor, el cual varía con el clima y la presión atmosférica.

LISTADO DE COMPONENTES DE LA ERM

Nombre	Característica	Función
<p>Calentador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje 110VAC - 60Hz - Potencia Max: 3450W - Corriente Max: 31A - Intercambiador cobre 1/2" 	<p>Encargado de generar calor mediante resistencias eléctricas, para cambiar la temperatura del fluido.</p>
<p>Tablero eléctrico de control del calentador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Vin: 110VAC - Vout 1: 110V - Vout 2: 24DC - Potencia out: 4000W - Termómetro – Higrómetro integrado 	<p>Su función es controlar la temperatura del calentador, y la del fluido a la entrada del medidor.</p>
<p>Filtro de partículas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 2" ANSI 150 - Altura 20cm - \varnothing_{ext}: 12cm - \varnothing_{int}: 7cm - Indicador diferencial de presión - Elemento filtrante 5 micras - Drenaje para condensados 	<p>Retiene cualquier impureza que pueda traer el fluido, además de servir de trampa de agua</p>
<p>Regulador de presión</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Pietro Fiorentini HP100 - Pin Max: 290Psig - Pout Min: 10Psig - Pout Max: 60Psig - Pshut down: 63Psig - Ptrabajo: 10Psig – 60Psig 	<p>Destinado para regular o cambiar la presión del fluido en varios rangos</p>

<p>Válvula de seguridad</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Relief Valve FSM25 - Capacidad de flujo en venteo: 180m³/h - Presión apertura: 65Psig - Temperatura de trabajo: -20°C – 60°C 	<p>En caso de emergencia, libera el fluido a la atmósfera, al superar la presión máxima que soporta la ERM</p>
<p>Medidor de flujo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Tancy G40 – 2" 150 - Qmin: 0,5 m³/h - Qmax: 65 m³/h - Unidad por pulsos: 0,1 m³ - Año: 2015 	<p>Tiene el objeto de medir el flujo en m³/h, y entregar dicha información al corrector de volumen</p>
<p>Válvula de globo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Neway BS1873 - 2" ANSI 150 - Acero al carbón 	<p>Cumple la función de abrir y cerrar de forma gradual y controlada la tubería de bypass</p>
<p>Corrector de volumen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ref: Shanghai Fiorentini IVC – FA - Grado de protección IP65 - Batería: 3,6VDC – 19A/h - Fuente externa 24VDC +/- 3VDC - Sensor Temp: PT1000 – 4hilos - Transductor de presión: 0 - 100Psig (1/4" NPT) - Entrada de pulsos alta y baja frecuencia - Puerto de comunicación: Modbus RTU RS232 - Corrección bajo AGA 8 detallado 	<p>Corrige el volumen del fluido, teniendo en cuenta los cambios de presión y temperatura</p>

PUESTA EN MARCHA DE LA ERM

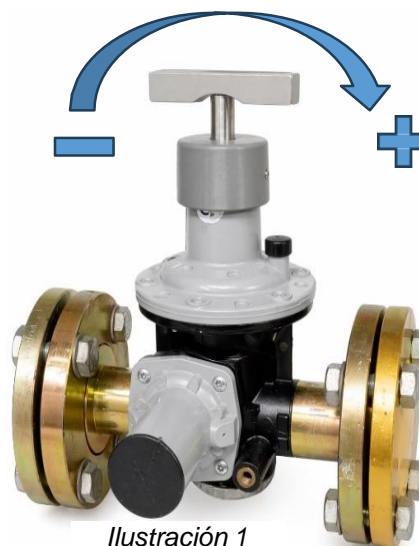
Para poner en marcha la ERM, deberá inicialmente encender y cargar el compresor, tenga presente tener cerrada la válvula de suministro de aire, para que el compresor pueda cargar por completo el tanque de almacenamiento. Cabe aclarar que, para la ejecución de prácticas, se utilizará aire y no gas natural, por lo cual, el corrector de volumen tiene configurada la cromatografía o composición del aire seco.

Una vez cargado el compresor, se deberá corroborar que todas las válvulas de tipo mariposa estén abiertas, a excepción de la que está ubicada en la tubería de *bypass*, esta, junto con la válvula de globo deberán permanecer cerradas. Asimismo, el regulador de presión deberá estar en la presión mínima, (10psig), por lo cual el vástago del regulador estará completamente afuera.

Ya con estas condiciones, se puede proceder a abrir la válvula de suministro de aire a la estación.

Control de Presión

Para aumentar la presión del fluido, gire en sentido de las agujas del reloj el maneral del regulador de presión, y a su vez visualice el cambio de presión, bien sea en el manómetro de aguja, o en el corrector de volumen. Para disminuir, gire en sentido antihorario, como se indica en la *ilustración 1*. Tenga presente que el regulador soporta una presión máxima a la entrada de hasta 290Psig.



Control de Temperatura



Ilustración 2

En cuanto al encendido y apagado del control de las resistencias para el control de temperatura (*ver ilustración 2*), debe poner en ON el interruptor (INT), y configurar la temperatura deseada para el fluido con el control de temperatura digital 1 (CTD1), la cual puede establecer hasta 55°C como máximo. Tenga presente que

para obtener dicha temperatura las resistencias deberán estar a una temperatura mucho más alta, esta temperatura se configura en el CTD2, la cual se puede configurar hasta máximo 250°C, esto con el fin de proteger el calentador. Una vez tenga configuradas las temperaturas, deberá activar el disyuntor termomagnético (DT), lo cual hará que encienda el calentador y el Piloto 1 (P1). Cuando la temperatura del calentador llegue a la temperatura establecida no mayor al valor máximo mencionado, el piloto 2 (P2) encenderá, indicando que las resistencias se han desenergizado. Se aclara que el termómetro solo es para medir la temperatura y humedad del ambiente.

Corrector de Volumen

El corrector de volumen (ver *ilustración 3*) posee una pantalla digital donde se muestran las variables de temperatura en grados Celsius (°C), la presión absoluta (Psia), el volumen medido por el medidor rotativo (Vm), el volumen corregido (Vc), el factor de corrección total (K) y el factor de corrección por compresibilidad (Z).



Ilustración 3

PRÁCTICA DE LABORATORIO

La presente práctica tiene como objeto el cálculo del factor de corrección (FC) por presión y por temperatura de forma manual, para luego ser comparado con el factor calculado con el corrector de volumen. Cabe aclarar que al trabajar con presiones por debajo de 100Psi, el factor compresibilidad (Z), será igual a 1.

Presión	Temperatura	FC por presión	FC por temperatura	FC total (K) calculado	FC total (K) en el corrector
10Psi	22°C				
15Psi	25°C				
20Psi	28°C				
30Psi	30°C				
40Psi	33°C				
50Psi	36°C				

Tenga presente que el regulador de presión tiene una **presión máxima a la salida de 60Psi**. Además, **55°C es la temperatura máxima** que soportan los componentes de la ERM. Para la práctica, las temperaturas y presiones pueden ser distintas a las establecidas en la tabla, pero teniendo muy presente las anteriores observaciones.

Para calcular el factor de corrección utilice los siguientes modelos matemáticos: La corrección de volumen a condiciones estándar se determinará con la siguiente expresión:

$$V_c = V_m * K_P * K_T * F_{pv}^2$$

V_c	Volumen corregido.
V_m	Volumen medido.
K_P	Factor de corrección por presión.
K_T	Factor de corrección por temperatura.
F_{pv}^2	Factor de corrección por compresibilidad.

Para proceder al cálculo de los diferentes factores aplicables a la fórmula de Volumen corregido V_c , se procederá de la siguiente manera:

Factor de corrección por presión K_p :

$$K_p = \frac{P_m + P_a}{P_e}$$

P_m	Presión manométrica en el medidor.
P_a	Presión atmosférica.
P_e	Presión estándar, 1,01008 Bar (14,65spia).

Presión Atmosférica P_a :

$$P_a = P_o * e^{\frac{-g*x}{R*K}} \text{ [Pa]}$$

[Pa]	Unidades de pascales
P_o	Presión atmosférica a nivel del mar, 101325 Pa
g	Gravedad en la Tierra, 9,81 m/s ²
R	Constante específica para aire seco, 287,058 J/kg·K
x	Altura sobre el nivel del mar en metros [m] a la que se encuentra el domicilio del usuario.
K	Temperatura del fluido en kelvin, donde $K = 273,15 + T_m$
T_m	Temperatura medida del fluido

Factor de corrección por temperatura K_T :

$$K_T = \frac{T_e + 273,15}{T_m + 273,15}$$

T_e	Temperatura estándar, 15,56°C.
T_m	Temperatura medida del fluido

Factor de corrección por compresibilidad F_{pv}^2 :

$$F_{pv}^2 = \frac{Z_e}{Z_m}$$

Z_e Factor de compresibilidad a condiciones estándar.

Z_m Factor de compresibilidad a condiciones medidas.

Para el cálculo de estos factores se utilizarán las recomendaciones del reporte AGA No. 8 de 1994. El factor F_{pv}^2 se considerará igual a 1 para presiones inferiores a 7 bares en el medidor del usuario.