

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

VICERRECTORADO

**CENTRO DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**ANALISIS DE SELECCIÓN DE LA VALVULA DE ALIVIO PARA
EL SEPARADOR DE ALTA V-1000 EN LA PLANTA SANTA
ROSA - SANTA CRUZ**

**TRABAJO EN OPCION A DIPLOMADO EN TRANSPORTE,
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE HIDROCARBUROS,
VERSION III**

DIPLOMANTE: JAIRO HENRY TORREZ MAMANI

**Sucre - Bolivia
2024**

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.



Jairo Henry Torrez Mamani

Sucre, mayo de 2024

DEDICATORIA

La presente monografía va dedicada con todo mi amor y cariño a mi padre Juan Santos Torrez Cerezo y a mi madre Modesta Mamani Mamani y hermanos por estar siempre presente en este proceso de estudios universitarios y siempre apoyarme creyendo en mí. También agradecer por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas a mi pareja Pamela Karen Cayo Bautista por siempre apoyarme. Muchas gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias y Tecnología y a la carrera de Ingeniería Química por darme la oportunidad de contar con docentes de mucha experiencia que aportaron de manera significativa en mi formación profesional y conocer grandes amistades.

Con humildad agradezco a cada persona que ha dejado una huella positiva en este proceso de aprendizaje. Esta monografía refleja todo el esfuerzo que colocamos día a día.

¡Gracias a todos por formar parte de este significativo capítulo de mi vida!

RESUMEN

Esta monografía tiene como objetivo analizar el procedimiento de selección de válvulas para el separador de alta V-1000 de la planta Santa Rosa - Santa Cruz. La metodología de esta monografía se basa en un enfoque positivista y cuantitativo, con un enfoque de investigación explicativo. Se recopilan datos de la válvula del separador trifásico en la planta Santa Rosa, utilizando métodos empíricos como la observación directa y métodos teóricos mediante fuentes bibliográficas.

Los resultados obtenidos proporcionan pautas claras para seleccionar válvulas de alivio de presión según la API Práctica Recomendada 520. La válvula actual es una Serie 2600 Farris de tipo convencional de acero al carbono, con una presión de alivio de 1500 psig, una temperatura de 450 °F, y un área de orificio de 1.287 in² (modelo 26JA14, tamaño 3x4). Sin embargo, nuestros cálculos indican que se necesita una válvula con un área de orificio de 0.7329 in² lo que nos da como orificio requerido tipo "H" (modelo 26HA14, tamaño 2x3), adecuada para los flujos actuales que son menores que en el pasado. Se recomienda reemplazar la válvula existente por una de menor tamaño, lo que reducirá los costos de mantenimiento sin cambiar las presiones y temperaturas de alivio requeridas. Se puede concluir que es necesario reemplazar la válvula de alivio existente (tamaño 3x4) por una más pequeña (tamaño 2x3) debido a la disminución de los flujos actuales. Esta actualización cumplirá con los requisitos de presión y temperatura de alivio, y reducirá los costos de mantenimiento, ya que será de menor tamaño.

Palabras claves: Válvulas de alivio de presión, válvulas, normativa, área, orificio requerido, selección

INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1	ANTECEDENTES	1
1.1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1	FORMULACION DEL PROBLEMA	¡Error! Marcador no definido.
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Objetivo General	4
1.2.2	Objetivos específicos	4
1.3	JUSTIFICACION	4
1.3.1	Justificación Técnica	4
1.4	METODOLOGIA.....	4
1.4.1	Técnicas e instrumentos.....	6

CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1.	MARCO TEÓRICO	7
2.1.1.	MARCO CONCEPTUAL.....	7
2.1.2.	MARCO CONTEXTUAL	25
2.2.	INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	31
2.3.	ANALISIS Y DISCUSIÓN.....	39

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

3.1.	CONCLUSIONES.....	40
3.2.	RECOMENDACIONES.....	40
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	41

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Planta Separadora de Líquidos Gran Chaco	10
Figura 2 Separador Bifásico	11
Figura 3 Separador Trifásico	12
Figura 4 Separador Vertical.....	13
Figura 5 Tipos de Válvulas de Alivio de Presión	16
Figura 6 Válvula de Compuerta	19
Figura 7 Válvula de Globo	20
Figura 8 Válvula de Bola.....	21
Figura 9 Válvula Mariposa.....	22
Figura 10 Válvula de Diafragma	23
Figura 11 Válvula de Retención Bola Bridas Genebre	24
Figura 12 Válvula de Alivio de Presión Emerson	24
Figura 13 Planta Santa Rosa.....	25
Figura 14 Producción vs Pronostico de Gas Natural y Líquidos.....	26
Figura 15 Esquema	26
Figura 16 Planta Santa Rosa.....	27
Figura 17 Separador Trifásico V-1000 Planta Santa Rosa.....	29
Figura 18 Identificación de válvula de alivio de presión en el separador V-1000	30
Figura 19 Procedimiento de Pasos Para Cumplir con el Objetivo	32
Figura 20 Catalogo Farris Orificio H	37
Figura 21 Válvula de alivio Farris Serie 2600.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición de Gas Natural	8
Tabla 2 Porcentaje molar del pozo SR-W5 que alimenta a la planta Santa Rosa	28
Tabla 3 Calculo de Peso Molecular.....	34

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Área de orificio requerido para válvula de alivio Farris

Anexo 2 Propiedad de los Gases

Anexo 3 Coeficiente de flujo subcrítico

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La importancia de las válvulas de alivio en la industria petrolera nos lleva a realizar un análisis en la selección de estas mismas.

Las válvulas desempeñan un papel fundamental ya que son componentes esenciales para garantizar la seguridad, control de flujo y operatividad eficiente del sistema.

Es por eso que se tiene un registro en tema estudio y diagnóstico del uso adecuado de accesorios, bridas, válvulas, tuberías en los diferentes sistemas de producción y tratamiento de gas, agua y petróleo de la escuela Politécnica Nacional del Sr. Terán Rodríguez Leonardo Florentino. Quito abril 2010, este proyecto hace una descripción de los diferentes tipos de accesorios en el campo petrolero, además de un diagnóstico de las condiciones de trabajo, selección y análisis técnico económico de dicho proyecto. (Florentino, 2010)

Mencionar también que en base al siguiente proyecto "Análisis técnico para el estudio de aplicación de válvulas operativas en redes de gas en Bolivia" que se desarrolló en la ciudad de La Paz, UMSA por la estudiante María Estefany Sinka Tonconi en el año 2023, tendremos una noción del análisis de las válvulas de alivio. (Tonconi, 2023).

En una planta industrial se tienen diversos tipos de procesos y se manejan diferentes fluidos a diferentes presiones. Estas deben ser controladas para no sobrepasar los límites permitidos. Sin embargo, ante una falla no deseada las presiones se pueden salir de control y es ahí cuando las válvulas de alivio de presión entran a trabajar evitando que ocurra un accidente con pérdidas materiales o hasta incluso vidas humanas. Es por eso que es de mucha importancia realizar la selección correcta y adecuada de estos dispositivos de seguridad. Este trabajo de suficiencia profesional nos comenta los procedimientos realizados para hacer la selección. (Caballero, 2021).

Para hacer un análisis de la selección de válvula de alivio de presión, tendremos en cuenta el catálogo Farris ya que esta será la guía para calcular el área de orificio requerido. (Curtiss-Wright, 2024)

Este documento pretende determinar el área de orificio de descarga y mediante el catálogo de Farris hacer una selección de la válvula de alivio de presión

El dispositivo más empleado en la industria para el alivio de presión ya ha quedado dicho que son las válvulas de seguridad y los discos de ruptura. Existen otros dispositivos para tanques de almacenamiento a baja presión, protección de explosiones y para subidas bruscas de presión hidráulica en tuberías de gran longitud. Entre estos dispositivos se incluyen los venteos atmosféricos, las válvulas de respiración para presión y vacío, los venteos de emergencia (caso de incendio), la cubierta débil como techo de tanque, el sellado con líquido para recipientes a baja presión, las puertas o registros de explosión, los paneles de explosión, los husillos de ruptura, los dispositivos para aumentos bruscos de presión y los dispositivos de alivio de vacío.

La selección aquí considerada se dirige a los sistemas presurizados con riesgo de estallido por aumento de la presión, pero sin riesgo de explosión por combustión (deflagración). (Sierra, 1999)

1.1.1 Planteamiento del problema

Uno de los problemas que existen en las válvulas son las sobrepresiones algunos de estos fallos son: fugas, presión de apertura incorrecta, bloqueo o pegado, corrosión o erosión, fallo de los mecanismos de operación, mala instalación o mantenimiento, sobre o sub presurización y problemas de sellado.

Es claro que al ver una sobrepresión en el sistema que envuelve a una válvula a un posible estallido habría un daño económico y también dañar a los equipos que están alrededor de este.

Para una buena selección de una válvula de alivio de presión, se tiene que hacer un estudio previo antes de la selección, que tipo de fluido transportara, presión y temperatura, es por eso que este paso es sumamente importante en la selección, ya que algunos cálculos malos, previos a la selección nos llevara a una mala selección.

Al establecer mal las condiciones del sistema nos lleva a acciones o comportamientos que provocan riesgo contra la integridad en el ambiente laboral, esto puede surgir por diferentes motivos, como por ejemplo una formación inadecuada, malos hábitos, exceso de confianza, falta de capacitación entre otros.

Cuando se trata de problemas dentro de las operaciones, es posible resolverlos parcialmente y que luego el mismo problema se manifieste una y otra vez con diversas mutaciones, lo que nos lleva a pensar que estamos tratando con múltiples problemas. Podemos conseguir dos cosas si resolvemos el problema principal de forma completa y exhaustiva: podemos dejar de malgastar recursos tratando problemas que se derivan del mismo problema principal, y podemos crear una mejora a largo plazo en la organización. Para resolver los problemas con mayor eficacia, el equipo de operaciones debe estar bien formado y orientado para encontrar soluciones permanentes a los problemas que se les plantean.

Cualquier sistema de fluidos presurizados representa una amenaza para la propiedad y el personal, incluso si se usa correctamente. Incluso una sola falla en su contención podría resultar en lesiones o consecuencias fatales. Es por eso que el mantenimiento preventivo se considera parte de las prácticas de seguridad comunes. La parte más importante de un sistema presurizado es la válvula de alivio de presión. Es un equipo o dispositivo que siempre debe estar listo para entrar en acción.

La primera prioridad de las inspecciones de mantenimiento y las reparaciones es su seguridad y la de sus empleados, pero más allá de eso, hay otras ventajas para asegurarse de que sus válvulas funcionen correctamente. Mantener un programa de mantenimiento adecuado prolongará la vida útil de sus válvulas y evitará que tenga que reemplazarlas con tanta frecuencia. Las inspecciones de rutina y las reparaciones menores también protegerán sus sistemas de daños extensos que requieren reparaciones costosas. Trabajar en la opción de operación hasta la falla terminaría costándote caro en pérdida de productividad e interrupciones en el lugar de trabajo.

1.2.1 Formulación del problema

¿Cuál es la mejor opción de válvula de alivio considerando las variables de operación, seguridad, disponibilidad y compatibilidad con el sistema para el separador en la Planta Santa Rosa?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Analizar el procedimiento de selección de válvula de alivio calculando el área de descarga efectiva para el separador de alta V-1000 de la planta Santa Rosa - Santa Cruz.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar las características del Separador de Alta V-1000 de la Planta Santa Rosa.
- Establecer las bases y directrices fundamentales para el proceso de selección de válvula de alivio de presión del separador V-1000.
- Realizar el cálculo del área de descarga efectiva necesaria para determinar el tipo de válvula a seleccionar mediante catalogo Farris
- Realizar un análisis para respaldar la selección de la válvula de alivio.

1.3 JUSTIFICACION

1.3.1 Justificación Técnica

La justificación técnica de realizar un análisis en la selección de válvula de alivio para el Separador de alta V-1000 de la planta Santa Rosa radica en la necesidad de evitar posibles conflictos operativos al asegurar la correcta funcionalidad de estos componentes vitales. El análisis se fundamenta en establecer un procedimiento claro y sistemático para la comparativa de diversas válvulas, considerando datos específicos del sistema como presiones, temperaturas, caudales y propiedades de los fluidos. A través de un plan de trabajo y cronograma, se llevará a cabo un reconocimiento del área de estudio y la recopilación precisa de datos de proceso, permitiendo así la selección precisa de las válvulas de alivio.

1.4 METODOLOGIA

El desarrollo de esta monografía se realizará bajo el paradigma positivista, ya que haremos un análisis del procedimiento de selección y poder sacar conclusiones de que tipos de válvulas nos conviene elegir para un determinado proceso.

Este paradigma se centra en verificar y comprobar, estudios y/o análisis que se realizaron.

El paradigma cuantitativo-positivista, racionalista, empírico-analítico, científico-tecnológico se aplicó a todas las ciencias, entre estas las ciencias sociales, convirtiéndose en el fundamento de la investigación mediante el uso del método científico el cual según los positivista asegura el alcance de la verdad como vía de razonamiento, operando desde la lógica deductiva, pero también la inductiva, Berardí (2015, pág. 53) expresa que el paradigma cuantitativo se basa en “los modelos matemáticos quienes proporcionan insumos para la organización, asociación y análisis de los datos estudiados”, la realidad es objetiva, la relación sujeto-objeto es de independencia, donde el sujeto investigador aborda el objeto con neutralidad, busca las causas de los fenómenos sociales mediante la cuantificación y medición de variables, cuyo rigor científico viene dado por la validez y confiabilidad de los instrumentos que se aplican.

El paradigma cuantitativo, positivista sigue una secuencia lineal, sistemática , se plantea un problema, revisión de la literatura, teorías formales, formulación de hipótesis, se define una metódica con sus respectivo diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, instrumentos que deben cumplir con un proceso técnico de validez y confiabilidad, se analizan los resultados mediante el uso de estadística descriptiva, inferencial entre otros aspectos, basados en el método hipotético-deductivo e inductivo. (Franco, 2020).

Un enfoque positivista, cuantitativo, empirico-analitico, racionalista, este enfoque se caracteriza por los siguientes aspectos: La realidad (natural y social) tiene existencia propia, independientemente de los actores sociales. Realidad que es gobernada por leyes naturales y sociales, las cuales son descubiertas a través de la investigación científica, con el propósito de describir, explicar, predecir y controlar los fenómenos, eventos, problemas o situaciones en estudio, mediante la aplicación del método hipotético-deductivo, buscando la generalización de los resultados. (Franco, 2020).

Los estudios descriptivos, como el término indica, pretenden la determinación de características y atributos del fenómeno en estudio, y se utilizan para resolver problemas mejor precisados. Por su relativa “sencillez” metodológica, es precisamente este tipo de estudio el que más abunda entre las propuestas investigativas de los residentes. (Martínez, 2023).

El tipo de investigación será descriptiva ya que el diseño de investigación, creación de preguntas y análisis de datos se llevarán a cabo en este análisis.

Ya que se realizará un estudio de selección de válvula de alivio, entonces para esto necesitamos recopilar datos como (presión, temperatura, flujo, peso molecular, etc.) y utilizarlo para un análisis en la selección.

La investigación descriptiva se refiere al diseño de la investigación, creación de preguntas y análisis de datos que se llevarán a cabo sobre el tema. Se conoce como método de investigación observacional porque ninguna de las variables que forman parte del estudio está influenciada. (questionpro, 2014).

También nos basaremos en bibliografía, páginas web, investigación, documentos publicados en páginas web y en fuentes.

1.4.1 Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos de investigación son los procedimientos o formas de obtener los datos del tema en estudio. Se apoya en las herramientas para recopilar, organizar, analizar, examinar y presentar la información encontrada.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que existen técnicas específicas para cada tipo de estudio. Por lo tanto, la elección de la técnica de investigación que se aplicará va a depender del problema a resolver y de los objetivos planteados. (tesisymasters.com.co, 2019).

Este proyecto utilizara una recopilación bibliográfica mediante libros, sitios web, papers, proyectos relacionados, fichas técnicas y consultas a ingenieros relacionados con el área.

Este último será muy importante a la hora de desarrollar la monografía, ya que, mediante la ayuda de expertos en el área, se logrará una conclusión exitosa de la monografía.

Por qué razón utilizaremos estas técnicas e instrumentos, ya que nos permite dar con los datos de la planta mediante consultas a ingenieros que trabajan o realizan servicios petroleros a esta planta, a través de esta técnica especialmente lograremos organizar toda la etapa de investigación.

CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL)

2.1.1. MARCO CONCEPTUAL

En toda planta de procesamiento de hidrocarburos vamos a encontrar diferentes tipos de procesos y diferentes fluidos, como ser: crudo, gas y agua, que se usan para que el sistema pueda funcionar.

Todos los recipientes, tuberías y/o equipos presurizados deben llevar algún tipo de dispositivo de seguridad de alivio de presión que impida que exceda de la presión de diseño. Estos dispositivos se pueden seleccionar y especificar de acuerdo a cada tipo de proceso.

A continuación, mencionaremos algunos conceptos que tenemos que tener en claro:

2.1.1.1. Gas natural

Se conoce como gas natural a una corriente gaseosa compuesta por una mezcla de hidrocarburos, principalmente metano (CH_4). Casi por lo general incluye etano, propano y otros hidrocarburos más pesados, al igual que algunos gases inertes y posibles compuestos de azufre. Además, generalmente contiene impurezas como vapor de agua, gas carbónico, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y helio. (Escalera, 2004)

Características del Gas Natural

El gas natural puede encontrarse asociado con el crudo a ser extraído de un pozo, o estar libre (no-asociado) cuando se encuentra solo en un yacimiento. El gas natural se define de acuerdo con su composición y sus propiedades fisicoquímicas que son diferentes en cada yacimiento y su procesamiento busca enmarcarlo dentro de unos límites de contenido de componentes bajo una norma de calidad establecida. Los tipos más comunes de gas natural que ocurren en el mundo son los siguientes:

- Gas ácido: Gas que contiene más de 6 mg/m^3 de H_2S .
- Gas dulce: Gas que contiene menos del 6 mg/m^3 de H_2S .
- Gas húmedo: Gas con contenido de humedad mayor a 14 cm^3 de agua por m^3 de gas.
- Gas seco: Gas con contenido menor a 14 cm^3 de agua por m^3 de gas.

- Gas rico: Gas que contiene una cantidad significativa de compuestos más pesados que el etano, alrededor de 95 cm³ de C₃⁺ por m³ de gas.
- Gas pobre: Gas que contiene pocas cantidades de propano y más pesados. (Escalera, 2004).

Composición del Gas Natural

Generalmente el gas natural se compone de la siguiente manera, pero puede cambiar.

Tabla 1

Composición de Gas Natural

Componente (Sustancia)	Mezcla (% Vol.)	Carrasco (% Vol.)
Metano	88.36	84.25
Etano	7.17	6.89
Propano	1.57	2.74
Butanos	0.19	1.13
Mas pesados	0.63	0.68
Dioxido de Carbono	1.14	3.99

Fuente: Artículo (Escalera, 2004)

2.1.1.2. Petróleo

El petróleo es una sustancia aceitosa de color oscuro de origen natural, que se ha formado principalmente de carbono e hidrogeno.

El origen del petróleo se basa fundamentalmente en dos teorías: inorgánica y orgánica. El origen inorgánico resulta de la llamada hipótesis cósmica de Sokolov (1892) que deduce la formación de los hidrocarburos de petróleo a partir de carbono e hidrogeno a las épocas de formación de la tierra y de otros planetas del sistema solar, Los hidrocarburos formados anteriormente durante la consolidación de la tierra se absorbieron por el magma y, más tarde al enfriarse esta, por las grietas y fracturas penetraron en las rocas sedimentarias de la corteza terrestre. (Suma, 2019)

La idea del origen orgánico propuesta por primera vez por Lomonósov (1763), estima que la fuente de la formación de petróleo lo constituyen los restos orgánicos de organismos vegetales y animales, principalmente inferiores que han habitado tanto en el seno del agua (plancton), como en el fondo de los depósitos del agua. Evidentemente,

un gran papel en la acumulación de la materia orgánica de los sedimentos junto al fondo lo desempeñaron las bacterias. (Suma, 2019)

El lugar donde se ha formado el petróleo se denomina roca madre, pero no es el sitio de donde se extrae actualmente el petróleo. La explotación hidrocarburífera es de los yacimientos, definida una estructura de la corteza terrestre que posee porosidad, permeabilidad y capas sellantes a su alrededor, permitiendo el almacenamiento de hidrocarburos que han emigrado desde la roca madre. (Suma, 2019)

2.1.1.3. Gasolina Natural

Mezcla estabilizada de hidrocarburos extraídos del gas natural por diversos métodos. Se obtiene un producto apropiado para ser mezclado con naftas de refinación. (ANH, www.anh.gob.bo, 2024).

Almacenamiento

Instalación que cuenta con uno o varios depósitos con la finalidad de acopiar los combustibles líquidos y gaseosos. (ANH, www.anh.gob.bo, 2024).

El almacenamiento del crudo obtenido de los campos petroleros tiene una importancia decisiva en el desarrollo económico de la industria petrolera, es una etapa clave junto con la de transporte para mantener la funcionalidad eficiente de todo el sistema de abastecimiento de crudo hacia los terminales para su exportación y hacia las refinerías para el proceso de obtención de derivados, dicha importancia es también considerada para la conservación y provisión constante de derivados que se consumen en todo el territorio de nuestro país. Ésta se aprecia de manera especial en las estaciones de almacenamiento ubicadas en los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz.

Con un sistema de almacenamiento, mantenido en forma correcta se logra disminuir en gran proporción las pérdidas y contaminación del ambiente, ya que, debido a las características químicas propias del crudo, éstas son muy difíciles de eliminar. Además, el almacenamiento se considera importante, también por las siguientes razones:

Efectúa la función de un pulmón, entre la etapa de producción y la de transporte, para así absorber las variaciones de consumo a las que están expuestas.

Permite la sedimentación de agua y barros del crudo explotado, antes de despacharlo

hacia su destino por un oleoducto. (IGNACIO, 2020).

Tratamiento de gas

Remoción de impurezas, condensado, ácido sulfhídrico y cualesquier otros líquidos provenientes del gas natural crudo, contenidos en el campo de gas. (ANH, www.anh.gob.bo, 2024).

Generalmente las impurezas que podemos encontrar en diferentes porcentajes, dependiendo el tipo de pozo son vapor de agua, gas carbónico, nitrógeno, sulfuro de hidrogeno, helio, etc.

2.1.1.4. Separador

Es un recipiente metálico cerrado que separa un fluido en dos fases: liquido-gas si es bifásico o en tres fases: agua-petróleo-gas si es trifásico, por colisión, gravedad y retención. El fluido posee un tiempo de residencia comprendido entre 5-15 min en función de las características del crudo y caudal a tratar. Generalmente las partículas del líquido que se asientan son aquellas cuyo diámetro es mayor a 100 micrones. (Suma, 2019)

Equipo instalado entre el pozo y la playa de tanques para separar el petróleo crudo del gas natural y del agua. (ANH, www.anh.gob.bo, 2024).

Figura 1

Planta Separadora de Líquidos Gran Chaco



Fuente: sitio web (skyscrapercity, 2014)

Tipos de Separadores

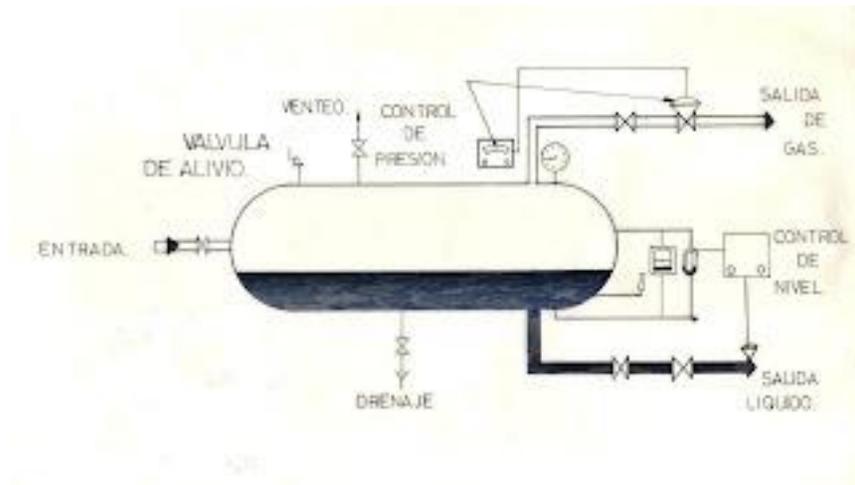
Los separadores se clasifican: de acuerdo al número de fases que separan, en: Bifásicos y Trifásicos, y de acuerdo a su forma en: verticales y horizontales:

✚ Bifásicos

Son aquellas que separan el gas de la corriente de líquido (petróleo, emulsión y agua) en un tiempo de retención de 5 a 7 min, en a la siguiente figura 7 se presenta el esquema general de los separadores bifásicos. La segregación gravitacional es la más importante que ocurre durante la separación, lo que significa que el fluido más pesado se decanta en el fondo y el fluido más liviano se eleva hacia la superficie. Asimismo, dentro del recipiente, el grado de separación entre el gas y el líquido dependerá de la presión operativa del separador, el tiempo de residencia de la mezcla del fluido y el tipo de flujo del fluido. El flujo turbulento permite que escapen más burbujas que el flujo laminar. (Suma, 2019)

Figura 2

Separador Bifásico



Fuente: Extraído de (Electrocom, 2024)

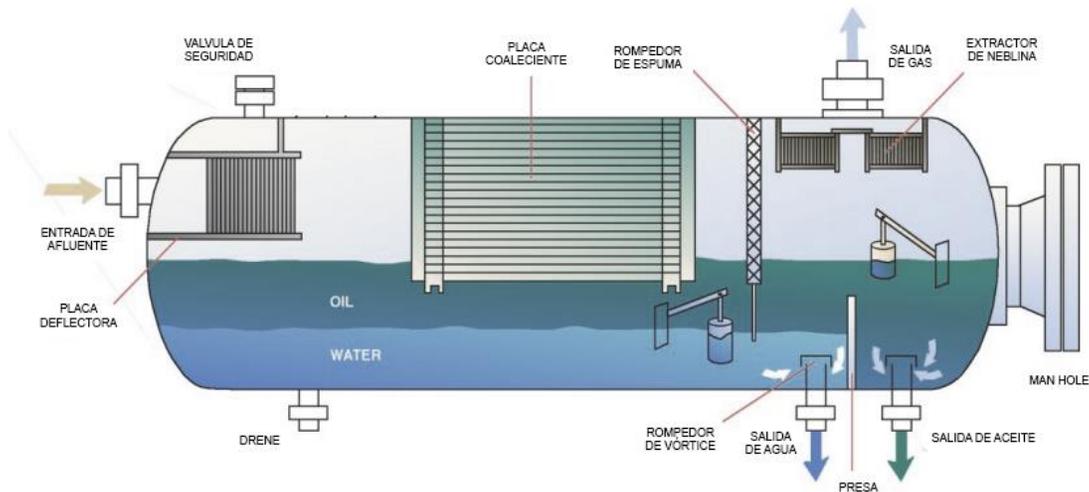
✚ Trifásicos

Este equipo separa la fase líquida de la gaseosa, además de separar la corriente líquida en petróleo y agua libre, por lo que el recipiente debe proporcionar un tiempo de residencia mayor que el anterior comprendido entre 10 y 15 min.

Se diferencia del separador bifásico en sus accesorios y características entre las que se encuentran: capacidad de líquido adecuado para la separación, controlador de nivel de la interface agua-petróleo y salidas independientes para el petróleo y el agua como se muestra en la siguiente figura 8. (Suma, 2019)

Figura 3

Separador Trifásico



Fuente: Extraído de (ADTM, 2024)

Por su forma se clasifican en:

❖ Horizontal

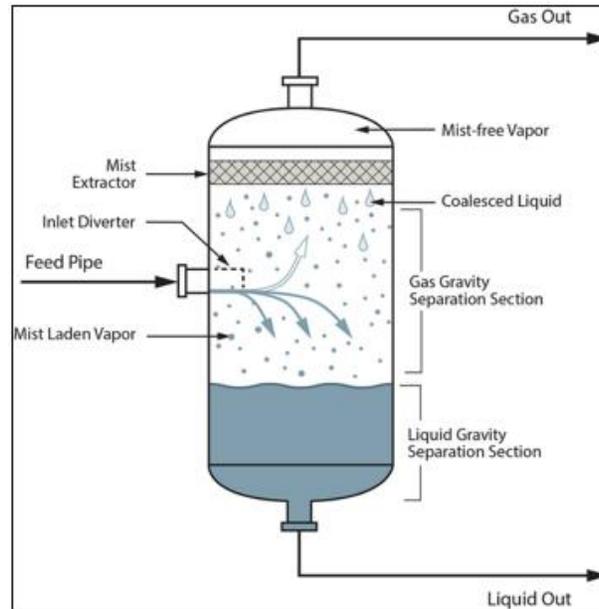
Es un recipiente cilíndrico cerrado de forma horizontal. En este fluido entra en dirección paralela al eje horizontal y choca contra una placa, este cambio en la dirección del fluido realiza la primera separación de líquido y gas. En este tipo de separadores el volumen para la zona líquida está comprendido entre el 50% y 75% de su volumen total. (Suma, 2019)

❖ Vertical

Es un recipiente cilíndrico cuya posición relativa es vertical y el fluido ingresa perpendicularmente. Su diseño es diferente horizontal, diferenciándose en poseer una menor superficie para la ascensión de las partículas gaseosas del líquido. (Suma, 2019)

Figura 4

Separador Vertical



Fuente: Extraído por (JMCAMPBELL, 2024)

Componentes

Un separador está constituido principalmente de los siguientes componentes:

✓ **Eliminador de niebla**

Su objetivo es retener las partículas de líquido que contiene la corriente de gas. Estas partículas varían de tamaño, aproximadamente desde 10 hasta 100 micrones. (Suma, 2019)

✓ **Deflectores**

Su función es realizar un cambio repentino de dirección y velocidad de flujo a la entrada del separador. Estos dispositivos tienen diferentes diseños desde un plato esférico, un ángulo de hierro hasta un cono, para realizar un cambio repentino en la dirección del fluido. (Suma, 2019)

✓ **Baffles**

Son placas verticales perforadas espaciadas a lo largo de la interface gas-líquido y perpendiculares al flujo. Su función es estabilizar el régimen de flujo de turbulento a laminar, y así, mejorar la separación de las moléculas de gas que se encuentran en la corriente de líquido. (Suma, 2019)

✓ **Sand jet**

Este accesorio es indispensable en fluidos con alto contenido de sólidos, ya que permite extraer los sólidos asentados. Su funcionamiento se basa en la inyección de fluido a través de una tobera. Este dispositivo se coloca donde acumula la arena, funcionando con fluido a presión mediante toberas de inyección, que hagan posible la remoción de arena. (Suma, 2019)

Eficiencia

Los principales factores que afectan al proceso de separación del fluido en sus fases en estos equipos son:

- **Presión**

Al disminuir la presión de separación, la corriente de gas arrastra líquido.

- **Temperatura**

A medida que disminuye la temperatura de separación, se incrementa la recuperación de líquidos en el separador, afectando a la capacidad de líquido del separador. Además, si la temperatura es baja se forman los hidratos y disminuye la eficiencia de los demulsificantes. (Suma, 2019)

- **Composición**

Si se presenta cambios bruscos en la composición de la mezcla afecta a parámetros como la densidad del gas, y por consiguiente su velocidad crítica. (Suma, 2019)

- **Densidad del líquido o gas**

Las densidades del líquido y el gas, afectan la capacidad de manejo de gas de los separadores. La capacidad de manejo de gas de un separador, es directamente

proporcional a la diferencia de densidades e inversamente proporcional a la densidad del gas. (Suma, 2019)

- **Viscosidad del gas**

De la ley de Stokes se concluye que a medida que aumente la viscosidad del gas, disminuye la velocidad de asentamiento y en consecuencia disminuye la capacidad y eficiencia del separador. (Suma, 2019)

- **Tamaño de las partículas**

El tamaño de las partículas suspendidas en el flujo de gas, es un factor importante en la determinación de la velocidad de asentamiento y en la separación por gravedad. Las partículas más pequeñas son separadas mediante extractores de niebla y métodos electrostáticos. (Suma, 2019)

- **Velocidad crítica del gas**

Generalmente cuando se aumenta la velocidad del gas a través del separador, sobre un valor establecido en su diseño, aunque se incremente el volumen del gas manejado no se separan totalmente las partículas del líquido mayores de 100 micrones en la sección de separación secundaria. Con esto se ocasiona que se inunde el extractor de niebla y, como consecuencia, que haya arrastres repentinos de baches de líquido en el flujo de gas que sale del separador. (Suma, 2019)

- **Tiempo de residencia**

Se define como el tiempo promedio que una molécula de líquido es retenida en el recipiente. Por lo tanto, el tiempo de retención es el volumen de almacenamiento de líquido dividido por las tasas de flujo de líquido. El tiempo de residencia depende principalmente del caudal, temperatura y las condiciones fisicoquímicas del hidrocarburo que ingresa al separador. (Suma, 2019)

2.1.1.5. Válvulas

Las válvulas regulan y dirigen el flujo de fluidos (como materiales gaseosos y licuados) abriendo y cerrando rutas o bloqueando parcialmente los pasajes. Técnicamente, las válvulas son accesorios, pero comúnmente se tratan como componentes

individuales. Cada vez que una válvula está abierta, el fluido fluye de mayor a menor presión. (Dombor, 2021).

Las válvulas utilizadas en la industria vienen en una variedad de formas y tamaños. Los diferentes tipos de válvulas son válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, de mariposa y de retención, así como válvulas de presión y de diafragma. Estas válvulas cumplen una variedad de propósitos. (Dombor, 2021).

Debido a su uso generalizado en proyectos de construcción comercial y proyectos de automatización, se espera que la demanda de válvulas de gas industrial aumente en los próximos años. Debido a los avances tecnológicos, el aumento de la industrialización y la expansión de las instalaciones existentes han despertado la demanda y han impulsado el crecimiento de la industria. (Dombor, 2021).

Figura 5

Tipos de Válvulas de Alivio de Presión



Fuente: Página Web (Dombor, 2021)

Selección de válvulas

Se hará la selección de válvula de alivio de presión para el separador V-1000, utilizando el API Practica recomendada 520 (Dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinерías). Como también utilizaremos el catalogo Farris para hacer la selección de la válvula de alivio, ya que es esta misma la que está

instalada en la planta real. Por eso es que se utilizara este tipo de válvula de la marca Farris.

Área efectiva de descarga

Un área nominal o calculada utilizada con un coeficiente de descarga efectivo para calcular la capacidad de alivio mínima requerida para una válvula de alivio de presión según las ecuaciones de tamaño preliminares contenidas en esta práctica. La norma API 526 proporciona áreas de descarga efectivas para una variedad de tamaños en términos de designaciones de letras, de "D" a "T".

Los tipos de válvulas de alivio de presión son:

- Válvula de alivio de presión de fuelle equilibrado con pistón equilibrado auxiliar
- Válvula de alivio de presión convencional con conexiones roscadas
- Válvula accionada por piloto de acción pop (tipo de flujo)
- Válvula operada por piloto de acción pop (sin tipo de flujo)
- Válvula moduladora operada por piloto (tipo de flujo)
- Válvula de alivio operada por piloto con válvula piloto modulante sin flujo
- Válvula operada por piloto de baja presión (tipo diafragma)

Para el desarrollo utilizaremos las siguientes ecuaciones para flujo subcrítico:

$$A = \frac{W}{735 * F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{Z T}{M P_1 (P_1 - P_2)}} \quad (1)$$

Donde:

A = Área de descarga efectiva requerida del dispositivo, in²

W = Flujo requerido a través del dispositivo, lb/hr

F₂ = Coeficiente de flujo subcrítico

K_d = Coeficiente efectivo de descarga, para el dimensionamiento preliminar utiliza los siguientes valores: 0.975; para cuando se instale una válvula de alivio de presión con o sin disco de ruptura en combinación; 0.62, cuando se instale una válvula de alivio de presión y el tamaño es para un disco de ruptura.

Kc = Combinación factor de corrección para instalaciones con disco de ruptura aguas arriba de la válvula de alivio de presión

Z = Factor de compresibilidad

T = Temperatura de circulación del gas o vapor de entrada (°F)

M = Peso molecular (Lb_m-/Lb_{mol})

P₁ = Presión de alivio aguas arriba, psia

P₂ = Contrapresión, psia

V = Flujo requerido a través del dispositivo (SCFM) a 14.7 psia y 60 °F

G = Gravedad específica del gas

Peso Molecular del gas

$$PM_i = \sum_{n=1}^i Y_i * PM_i \quad (2)$$

Donde:

Y_i = Composición porcentual de componente I (%)

PM_i = Peso molecular i (lb/lbmol)

Tipos de válvulas

Existen muchos tipos diferentes válvulas en el mundo, pero las válvulas más mencionadas en la industria hidrocarburifera son:

✓ Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta sirven para detener o reanudar completamente un fluido, abren y cierran el circuito mediante un disco que cierra gradualmente en vertical hasta amoldarse al asiento. Son bidireccionales y de paso integral por lo que ofrecen una mínima pérdida de carga.

Las válvulas de compuerta se fabrican en fundición o forja y en distintos materiales: Bronce (sobre todo para trabajar con agua de mar), acero carbono, acero inoxidable (sector petroquímico), hierro, acero forjado o latón.

Las válvulas de compuerta tienen un diseño ergonómico, de fácil acceso. Los discos puede ser una cuña sólida o flexible. Los discos flexibles se desarrollaron para superar la adherencia al enfriamiento en el servicio a alta temperatura y minimizar el par operativo. (GRM, 2024)

Algunos de los usos recomendados son para accionamientos poco frecuentes, para detener o reanudar completamente el paso, para servicios de resistencia mínima a la circulación.

Algunas de sus aplicaciones son de uso generalizado, aunque destacan en servicios con aceites y petróleo, gas, aire, fluidos pastosos o espesos, gases y líquidos sin condensación, líquidos altamente corrosivos. (GRM, 2024)

Figura 6

Válvula de Compuerta



Fuente: Extraído de (NTGD VALVE, 2024)

✓ **Válvulas de globo**

Las válvulas de globo permiten regular o estrangular el fluido a medida que un pistón asciende o desciende a través del paso del fluido, que sube y baja en el interior del cuerpo de la válvula, ofrecen un cierre hermético cuando el asiento es flexible. La presión máxima de estas viene indicada por ellas mismas y el funcionamiento de estas consiste en la estrangulación de la línea de tubería en función de la diferencia de presión existente entre entrada y salida. Estos tipos de válvula también se emplean en las líneas en que es necesario que se experimenten caídas grandes de presión por necesidades de proceso.

Las válvulas de globo se fabrican en fundición o forja y en distintos materiales: Bronce (sobre todo para trabajar con agua de mar), acero carbono, acero inoxidable (sector petroquímico), hierro, acero forjado, monel o latón. Además del estándar, existen diseños en ángulo “Y” y de tres vías. (GRM, 2024)

Los usos recomendados son, para estrangulación o regulación, para uso frecuente, para corte efectivo de gases o aire, para sistemas donde cierta resistencia a la circulación es aceptable. Algunas aplicaciones que se la dan para uso general, gas, líquidos, vapor, fluidos corrosivos y pastosos. (GRM, 2024)

Figura 7

Válvula de Globo



Fuente: Extraído de (GRM, 2024)

✓ **Válvula de Bola**

La válvula de bola industrial regula el flujo de líquido, gas y vapor al girar una bola con un orificio interno. Los IBV se pueden operar de forma manual o automática a través de fuentes de energía eléctrica, neumática e hidráulica para una mayor comodidad.

La válvula se compone de cuatro partes principales: cuerpo, bola, vástago y asiento. Por lo general, hecho de latón o de una aleación dura como el acero inoxidable, el cuerpo actúa como el control principal para el funcionamiento de la válvula.

Existen diferentes válvulas de bola, como diseños bridados, roscados y de soldadura por encastre. Pueden ser de uno o varios puertos, según el número de asientos de válvulas y puertos. (XINTAI VALVE GROUP, 2024)

Figura 8

Válvula de Bola



Fuente: Extraído de (S.A.S., 2024)

✓ **Válvulas Mariposa**

Una válvula de mariposa es una válvula de seccionamiento con una construcción relativamente simple. En posición cerrada el disco bloquea el paso de la válvula, mientras que cuando está en posición abierta, el disco se gira para permitir el flujo. Un cuarto de vuelta o 90° de giro hace que la válvula pase de totalmente abierta a posición completamente cerrada, y al revés, permitiendo así una rápida apertura y cierre de la válvula.

Las válvulas de mariposa se pueden utilizar para una amplia gama de aplicaciones dentro del abastecimiento de agua, desalación, tratamiento de aguas residuales, protección contra incendios y suministro de gas, en las industrias química y petrolera, en sistemas de manipulación de combustible, generación de energía, etc. Algunas de las ventajas de este tipo de válvula frente a otras tipologías son: la construcción simple que no ocupa demasiado espacio, el peso ligero y el menor costo en comparación con otros diseños de válvulas.

Las válvulas pueden ser accionadas por palanca, reductor manual u otro tipo de actuadores de acuerdo con cualquier necesidad específica. (AVK, 2024)

Figura 9

Válvula Mariposa



Fuente: Extraído de (AVK, 2024)

✓ **Válvulas de Diafragma**

Las válvulas de diafragma utilizan un diafragma elastomérico que interactúa con un asiento para regular o detener completamente el flujo de fluido. La flexibilidad del diafragma le permite moverse hacia arriba o hacia abajo, ajustando la tasa de flujo de fluido en consecuencia, y asegura un sello hermético cuando se cierra contra su asiento. Las válvulas de diafragma son válvulas de movimiento lineal, ideales para controlar el movimiento de fluidos con alta precisión.

Las válvulas de diafragma, también llamadas válvulas de membrana, pueden manejar varios tipos de medios, incluidos líquidos, gases y semisólidos como lodos, incluso con partículas sólidas. Esto es especialmente útil para industrias que trabajan con materiales espesos o duros. Su diseño simple reduce la posibilidad de acumulación de sedimentos y biofilm, importante para industrias limpias como la alimentaria y farmacéutica. También son excelentes para gestionar aguas residuales, demostrando su valor en el cuidado ambiental, como el tratamiento de agua y aguas residuales. (TAMESON, 2024)

Figura 10

Válvula de Diafragma



Fuente: Extraído de (TUVACOL, 2024)

✓ **Válvulas de Retención**

Las válvulas de retención pertenecen a la gama de válvulas de control direccional que controlan arranques, paradas, direcciones, aceleración y desaceleración de cilindros y motores hidráulicos. Las válvulas de control son utilizadas en variadas aplicaciones y hay disponible en una amplia variedad de modelos.

Las válvulas de retención permiten el pasaje del fluido en una dirección y lo impiden en la dirección contraria. Se usan para impedir el caudal inverso. Mientras el sentido del fluido es el correcto, la válvula de retención se mantiene abierta, cuando el fluido pierde velocidad o presión la válvula de retención tiende a cerrarse, evitando así el retroceso del fluido. La diferencia de presiones entre la entrada y la salida hace que la válvula esté abierta o cerrada. A menudo se incorporan en forma paralela a válvulas de secuencia, válvulas reductoras de presión o válvulas de control de velocidad para que las mismas trabajen en una sola dirección y las válvulas de retención permitan el libre pasaje en la dirección inversa. (DISTRITEC, 2024)

Figura 11

Válvula de Retención Bola Bridas Genebre



Fuente: Extraído de (FITVALV, 2024)

✓ Válvula de alivio

Los sistemas de tuberías que hay en las plantas de producción, en las de la industria química, farmacéutica, etc., cuestan mucho dinero, además, tienen que transportar líquidos, gases o vapores muy peligrosos. Por eso, la válvula de alivio de presión es imprescindible, pues funciona a modo de sistema de seguridad. Si la presión sube demasiado, la válvula se abre y la presión baja.

Por lo tanto, es un componente crucial a la hora de garantizar tanto la seguridad como la integridad de los procesos industriales, evitando daños catastróficos. (GARGIL, 2024)

Figura 12

Válvula de Alivio de Presión Emerson



Fuente: Extraído de (EMERSON, 2024)

2.1.1.6. Marco Normativo

Las normativas en las cuales se guiará en la monografía son las siguientes:

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API): Establece las características que deben tener desde el punto de vista de fabricación, dimensiones y materiales de construcción.

Inspección y prueba de válvulas (S98): Procedimiento que se debe seguir para realizar la inspección de las válvulas y su prueba en algunas ocasiones. Las válvulas se prueban antes de colocarse en la planta para garantizar para que la válvula está en buenas condiciones y en algunos casos se realizan su prueba después del funcionamiento de un periodo de tiempo, para garantizar el funcionamiento.

En algunos casos las válvulas son llevados a unos bancos de pruebas para garantizar la hermeticidad del cierre.

PRESSURE/TEMPERATURE RATINGS ASME B16.34 para válvulas.

2.1.2. MARCO CONTEXTUAL

2.1.2.1. Ubicación Geográfica

La Planta de Gas Santa Rosa, está ubicada en el departamento de Santa Cruz, provincia Sara, municipio de Santa Rosa de Sara, el mismo fue descubierto por YPFB con la perforación del pozo SRW-X6 entre los años 1981 y 1982. (ANH, 2024).

Figura 13

Planta Santa Rosa



Fuente: (Google Maps)

- **Características Operativas**

El tipo de planta es Dew Point (Ajuste punto de rocío) con recuperación de Gasolina natural, los campos que alimentan la planta Santa Rosa son: Palometas Junín, Junín este, Santa Rosa y Santa Rosa oeste. La producción promedio que se estimó hace más de 5 años atrás es de Gas Natural: 1,35 MMm3/día y de líquidos 99 BPD. (ANH, 2024).

Figura 14

Producción vs Pronóstico de Gas Natural y Líquidos



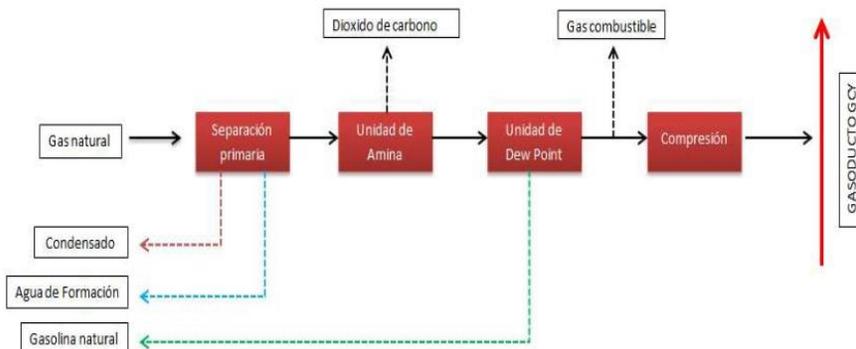
Fuente: Extraído de Ficha técnica ANH (ANH, 2024)

- **Procesamiento del Gas Natural de la Planta Santa Rosa**

En el esquema siguiente se puede ver cómo está organizado la Planta Santa Rosa: desde la entrada de flujo de gas pasando por una separación primaria, posterior pasando a una unidad de Amina para luego expulsar CO₂ pasando por un proceso Dew Point para poder extraer gasolina natural. Posterior pasa a un sistema de compresión para su transporte.

Figura 15

Esquema



Fuente: Extraído de Ficha técnica de ANH (ANH, 2024)

Figura 16

Planta Santa Rosa



Fuente: Obtenido de la ficha técnica (ANH, 2024)

- **Sistemas que conforman la Planta Santa Rosa**

Esta planta cuenta con una capacidad máxima de procesamiento de gas natural de 60,0 (MMpcd). La planta está conformada por los siguientes sistemas

- ✓ Sistema de recolección
- ✓ Sistema de separación
- ✓ Sistema de endulzamiento
- ✓ Sistema de deshidratación
- ✓ Sistema de refrigeración mecánica
- ✓ Sistema de compresión
- ✓ Almacenamiento de hidrocarburos
- ✓ Sistemas auxiliares (Sistema contra incendios, Sala de control, Seguridad, salud y medio ambiente).

La planta de Santa Rosa no cuenta con tanques de almacenamiento, toda la producción de condensado y gasolina es trasferida a la planta Humberto Suarez Roca donde se cuenta con dos tanques: uno separador y uno lavador. (ANH, 2024).

- **Diagnóstico del separador V-1000**

En primera instancia debemos analizar uno de los equipos que opera en la Planta (Separador Trifásico), este equipo que separa los fluidos del pozo en gas y dos tipos de líquidos: petróleo y agua. Un separador de tres fases puede ser horizontal, vertical o esférico, en nuestro caso es un separador horizontal. Este tipo de separador se denomina separador de agua libre porque su uso principal es retirar el agua libre que podría causar problemas como corrosión y formación de hidratos o emulsiones compactas que son difíciles de descomponer. A un separador de agua libre se le denomina separador trifásico, porque puede separar gas, petróleo o agua libre. Los líquidos que fluyen del separador de agua libre luego se tratan adicionalmente en recipientes llamados tratadores. El separador de agua libre se abrevia FWKO, por sus siglas en inglés. El separador V-1000 opera bajo temperatura de 80 °F a 100 °F y una presión de 750 psi a 1500 psi

A este separador trifásico ingresa una mezcla de agua, gas y petróleo, la composición porcentual de uno de los pozos SRW-X5 que alimenta a la planta Santa Rosa:

Tabla 2

Porcentaje molar del pozo SR-W5 que alimenta a la planta Santa Rosa

COMPONENTE	PORCENTAJE MOLAR
N ₂	1.072
CO ₂	7.748
H ₂ S	0.000
Metano	88.186
Etano	1.047
Propano	0.827
i-Butano	0.324
n-Butano	0.492
i-Pentano	0.067

n-Pentano	0.090
n-Hexano	0.062
Heptano +	0.085
Total	100

Fuente: Extraído de (ANH, 2024)

Figura 17

Separador Trifásico V-1000 Planta Santa Rosa



Fuente: Obtenido de Planta Santa Rosa

Posterior tenemos que recabar información de la válvula de alivio ya instalada, especificaciones, presión de ingreso, presión de salida, y todas las características.

Primeramente, podemos apreciar en la figura 18 que conectan dos válvulas, al separador V-1000, uno a la entrada y otro a la salida por colas. Pero nosotros nos centraremos en la válvula de alivio que esta al comienzo del separador.

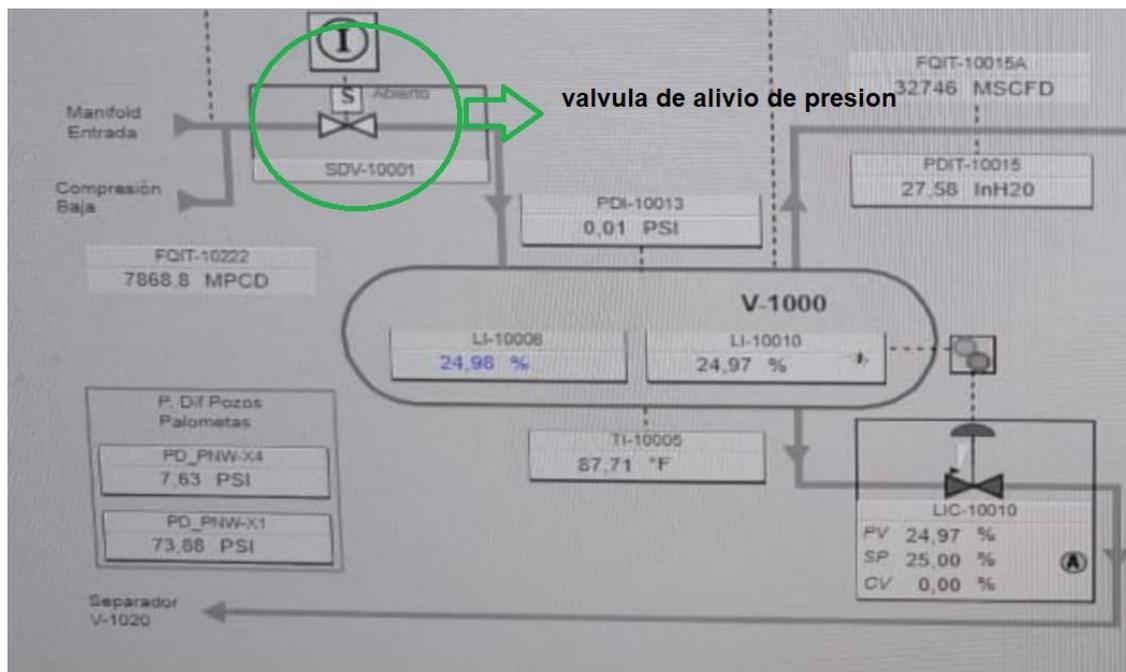
Entonces podemos identificar que la válvula que está ubicada a la entrada del separador trifásico V-1000 es una válvula de alivio Serie 2600 de la marca Farris de tipo convencional de acero al carbono con una presión y temperatura de trabajo de 450 °F y una presión de diseño del equipo máxima de 1500 psig, con un área de orificio de 1.287 in² con el tipo de numero 26JA14 de tamaño de 3x4 de acero al carbono (Serie 2600),

este tipo de válvula se utiliza para permitir o impedir el flujo que pasa a través de la válvula, así como aliviar la presión bajo un acto de sobrepresión.

El principio básico de funcionamiento de esta válvula es agotar la sobre presurización con el fin de proteger los activos aguas abajo o controlar la presión aguas arriba de gas o líquido. Podemos señalar que bajo las condiciones de trabajo de esta válvula necesita ser reemplazada por la válvula que se va a seleccionar, cualquier sistema de fluidos presurizados representa una amenaza para la propiedad y el personal, incluso si se usa correctamente. Incluso una sola falla en su contención podría resultar en lesiones o consecuencias fatales. Es por eso que el mantenimiento preventivo se considera parte de las prácticas de seguridad comunes. La parte más importante de un sistema presurizado es la válvula de alivio de presión. Es un equipo o dispositivo que siempre debe estar listo para entrar en acción, es por esta razón que se quiere seleccionar otra válvula de alivio de presión.

Figura 18

Identificación de válvula de alivio de presión en el separador V-1000



Fuente: Extraído de Planta Santa Rosa

- **Diagnostico Actual de Equipos**

Algunas de las características importantes que debemos mencionar para una vida útil y mantención de las válvulas de alivio son las siguientes:

- ❖ Importancia de la instalación y proceso de inspección en el mantenimiento de válvulas de alivio de presión (PRV).
- ❖ Implementación de un programa de mantenimiento de válvulas de alivio.
- ❖ Importancia de pruebas confiables de válvulas de alivio. (Dombor, 2021)

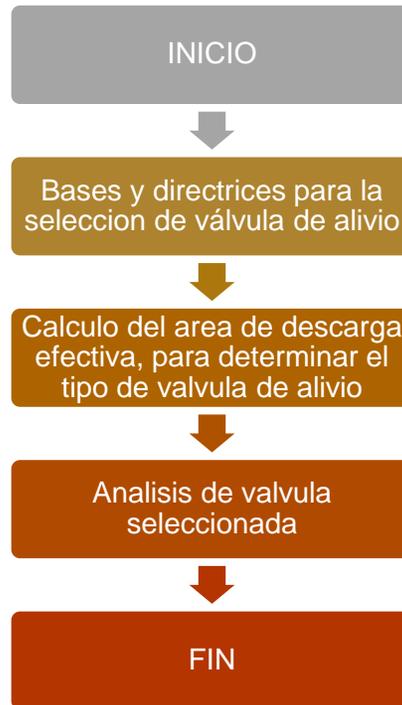
Considerando estos aspectos es por eso que la propuesta de la monografía es volver a calcular el área de orificio requerido y ver si esta es la adecuada para el proceso de alivio de presión para el separador V-1000. Determinando un Área de Orificio requerido, cuando necesitaremos realizar este cálculo, cuando nuestro flujo sea crítico o sub crítico. Especificaciones de las válvulas de alivio de presión requeridas de acuerdo a normas vigentes.

2.2. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

De esta manera, se establece un procedimiento claro y detallado para asegurar el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos, que incluye la revisión de normativas y documentación técnica (API Práctica Recomendada 520 y el catálogo de Ingeniería Farris), la determinación de condiciones operativas (presión, temperatura y características del fluido), el dimensionamiento y selección de válvulas (cálculo del área de orificio y selección del tamaño adecuado).

Figura 19

Procedimiento de Pasos Para Cumplir con el Objetivo



Fuente: Elaboración propia

➤ **Bases y directrices para la selección de válvula de alivio**

Para la selección y dimensión de una válvula de alivio nos basamos en el API practica recomendada 520, séptima edición, parte 1: (Dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías), como también nos basamos en el catálogo de Ingeniería Farris (válvulas de alivio de presión Serie 2600).

Los pasos a seguir para la selección de una válvula de alivio de presión son las siguientes:

1. Primero debemos establecer las condiciones para las cuales se puede requerir protección contra la sobrepresión, se debe tener un cuidado razonable al establecer las diversas contingencias que podrían resultar en una presión excesiva.

Debemos de contar con los requisitos de alivio de presión que son:

2. Flujo de vapor de hidrocarburo requerido, W en unidades Lb/hr
3. Peso molecular de la mezcla de hidrocarburos, M
4. Temperatura de alivio, en unidades de $^{\circ}F$
5. Presión de diseño del equipo, psig
6. Presión diferencial, contrapresión, psig

Algunos datos adicionales para el dimensionamiento:

7. Dato de la acumulación permitida, en este caso es constante 10%
8. Debemos de calcular la presión de alivio (P_1), psia
9. Calcular la compresibilidad de la mezcla, z
10. Contrapresión crítica de anexo 2, psia
11. Contrapresión acumulada permitida, psia (0.10)
12. Contrapresión total, psig (presión diferencial + contrapresión acumulada permitida)
13. Calcular la relación $C_p/C_v = k$, del anexo 2
14. Calcular la relación (contrapresión total +14.7) /presión de alivio P_1
15. Coeficiente de flujo subcrítico, F_2 sacado de anexo 3
16. Corrección de capacidad para disco de ruptura, $K_c = 1.0$
17. Calculamos el tamaño de la válvula de alivio mediante la ecuación (1)
18. Con el valor calculado de área de orificio efectiva nos vamos al inmediato superior y entramos en catalogo y seleccionamos el tamaño de orificio requerido, con el denominativo de la letra.

➤ **Cálculo del área de descarga efectiva, para determinar el tipo de válvula de alivio**

1. Las razones por las cuales necesitamos de una válvula de alivio para el separador V-1000, es porque este separador trabaja con presiones altas, presiones de trabajo de 750 psi a 1500 psi por eso es que se denomina separador de alta, bajo esta condición la válvula ya instalada ya presenta desperfecto en su funcionamiento, es por eso que necesitamos hacer el dimensionamiento de una nueva válvula de alivio de presión.

2. El flujo másico requerido para el sistema es de 88,600 lb/hr, este dato esta recopilado de la planta Santa Rosa.
3. Calculando el peso molecular de la mezcla que ingresa al sistema, tenemos:

Tabla 3

Calculo de Peso Molecular

Componente	Porcentaje Molar (%)	Fracción Molar (Yi)	Peso Molecular (PMi)	PM _i *Y _i
N ₂	1.072	0.01072	28.0134	0.3003
CO ₂	7.748	0.07748	44.01	3.4098
H ₂ S	0.000	0.000	34.082	0.0000
Metano (C ₁)	88.186	0.88186	16.04	14.145
Etano (C ₂)	1.047	0.01047	30.07	0.3148
Propano (C ₃)	0.827	0.00827	44.09	0.3646
i-Butano (i-C ₄)	0.324	0.00324	58.12	0.1883
n-Butano (n-C ₄)	0.492	0.00492	58.12	0.2859
i-Pentano (i-C ₅)	0.067	0.00067	70.13	0.0469
n-Pentano (n-C ₅)	0.090	0.00090	72.15	0.0649
n-Hexano (n-C ₆)	0.062	0.00062	86.18	0.0534
Heptano plus (C ₇ ⁺)	0.085	0.00085	100.20	0.0852
Total	100	1		Σ=19.2591

El peso molecular de la mezcla es de M=19.2591 lb/lb mol

4. La temperatura de alivio requerida es de 450 °F = 909.67 R
5. La presión de diseño del equipo 1500 psig (esta es la máxima presión de ajuste, si en caso ocurre una sobrepresión)
6. La contrapresión que necesitaremos será de 55 psig.
7. Acumulación permitida de 10%
8. Calculamos la presión de alivio

$$P_1 = 1500 * 1.1 + 14.7 = 1664.7 \text{ psia}$$

9. Calculamos la compresibilidad Z

Para calcular la gravedad especifica de la mezcla, utilizamos la ecuación:

$$GE = \frac{PM_{gas}}{PM_{aire}} = \frac{19.2591}{28.97} = 0.66479$$

Para la presión pseudocritica utilizaremos la ecuación:

$$P_{sc}(psia) = 677 + 15 * GE - 37.5 * GE^2$$

$$P_{sc}(psia) = 677 + 15 * 0.66479 - 37.5 * 0.66479^2 = 670.398 psia$$

Para la temperatura pseudocritica utilizaremos la ecuación:

$$T_{sc}(R) = 168 + 325 * GE - 12.5 * GE^2$$

$$T_{sc}(R) = 168 + 325 * 0.66479 - 12.5 * 0.66479^2 = 378.532 R$$

Calculamos la presión y temperatura pseudo reducida:

$$P_{sr} = \frac{P}{P_{sc}} = \frac{1514.7}{670.398} = 2.2594$$

$$T_{sr} = \frac{T}{T_{sc}} = \frac{450 + 459.67}{378.532} = 2.4031$$

Rango de aplicación:

$$0.2 \leq P_{sr} \leq 15.0$$

$$1.2 \leq T_{sr} \leq 3.0$$

Como se encuentra en este rango utilizaremos la ecuación de Papay:

$$Z = 1 - \frac{3.52 * P_{sr}}{10^{(0.9813 * T_{sr})}} + \frac{0.274 * P_{sr}^2}{10^{(0.8157 * T_{sr})}}$$

$$Z = 1 - \frac{3.52 * 2.2594}{10^{(0.9813 * 2.4031)}} + \frac{0.274 * 2.2594^2}{10^{(0.8157 * 2.4031)}}$$

$$Z = 0.98046$$

10. Calculamos la contrapresión critica

$$\sum_{n=i}^n \frac{\text{Relacion de presion}}{n} = \frac{0.55 + 0.53 + 0.54 + 0.57 + 0.57 + 0.59 + 0.59 + 0.59 + 0.59 + 0.59 + 0.60}{11} = 0.57$$

$$1664.7 * 0.57 = 948.879 \text{ psia} = 934.179 \text{ psig}$$

11. Calculamos la contrapresión acumulada permitida

$$0.10 * 1500 = 150 \text{ psi}$$

12. Calculamos la contrapresión total:

Contrapresion total = presion diferencial – contrapresion acumulada permitida

$$\text{Contrapresion total} = 55 + 150 = 205 \text{ psig}$$

13. Calcular la relación $C_p/C_v=k$; del anexo 2

$$\sum_{n=i}^n \frac{k_i}{n} = \frac{1.29 + 1.32 + 1.31 + 1.19 + 1.13 + 1.11 + 1.19 + 1.08 + 1.08 + 1.06 + 1.05}{11} = 1.16$$

14. Calcular la relación:

$$\frac{(\text{contrapresion total} + 14.7)}{\text{presion de alivio } P_1} = \frac{205 + 14.7}{350} = 0.627$$

15. Calcular el coeficiente de flujo subcrítico, F_2 Extraído del anexo 2

Entramos en el anexo 2, con los datos de $r = 0.627$ y $k = 1.16$, y nos daría según la gráfica un coeficiente de flujo subcrítico $F_2=0.74$

16. El coeficiente de capacidad para disco de ruptura según bibliografía es de $K_c=1.0$

17. Calculamos con la ecuación (1) el área de descarga efectiva:

$$A = \frac{W}{735 * F_2 * K_d * K_c} \sqrt{\frac{Z T}{M P_1 (P_1 - P_2)}} \quad (1)$$

$$A = \frac{88,600}{735 * 0.74 * 0.975 * 1.0} \sqrt{\frac{0.98 * 909.67}{19.259 * 1664.7(1664.7 - 219.7)}}$$

$$A = 0.7329 \text{ in}^2$$

18. Una vez calculada el área de descarga efectiva nos vamos a catálogo de válvulas de alivio Farris y entramos con $A = 0.7329 \text{ in}^2$

Figura 20

Catalogo Farris Orificio H

H Orifice

U.S. Customary Units, API Area: 0.785 sq. in., Actual Area: 0.873 sq. in.															
Type Number		Valve Size	ASME Flange Class		Maximum Set Pressure, psig					Back Pressure Limit psig @ 100°F		Material		Inlet Temp. Range	
Conventional	BalanSeal	Inlet Outlet	Inlet RF or RJ	Outlet RF	-450°F -76°F	-75°F -21°F	-20°F +100°F	450°F	800°F	1000°F	Conventional Type	Balan-Seal Type	Body & Bonnet		Spring
26HA10	26HB10	1 1/2 x 3	150#	150#			285	185	80		285	230	Carbon Steel	Chrome Alloy	-20°F to 800°F
26HA11	26HB11	1 1/2 x 3	300#	150#			285	285	285		285	230			
26HA12	26HB12	2 x 3	300#	150#			740	820	410		285	230			
26HA13	26HB13	2 x 3	600#	150#			1480	1235	825		285	230			
26HA14	26HB14	2 x 3	900#	150#			2220	1855	1235		285	230			
26HA15	26HB15	2 x 3	1500#	300#			2750	2750	2055		740	415			
26HA32	26HB32	2 x 3	300#	150#					510	215	285	230	Chrome Moly Steel	High Temp. Alloy	801°F to 1000°F
26HA33	26HB33	2 x 3	600#	150#					1015	430	285	230			
26HA34	26HB34	2 x 3	900#	150#					1525	650	285	230			
26HA35	26HB35	2 x 3	1500#	300#					2540	1080	740	415			
26HA10/S3	26HB10/S3	1 1/2 x 3	150#	150#		275					275	230	316 St. St.	Chrome Alloy Nickel Plated	-21°F to -75°F
26HA11/S3	26HB11/S3	1 1/2 x 3	300#	150#		275					275	230			
26HA12/S3	26HB12/S3	2 x 3	300#	150#		720					275	230			
26HA13/S3	26HB13/S3	2 x 3	600#	150#		1440					275	230			
26HA14/S3	26HB14/S3	2 x 3	900#	150#		2160					275	230			
26HA15/S3	26HB15/S3	2 x 3	1500#	300#		2750					720	415			
26HA10/S4	26HB10/S4	1 1/2 x 3	150#	150#		275					275	230	316 St. St.	316 St. St.	-76°F to -450°F
26HA11/S4	26HB11/S4	1 1/2 x 3	300#	150#		275					275	230			
26HA12/S4	26HB12/S4	2 x 3	300#	150#		720					275	230			
26HA13/S4	26HB13/S4	2 x 3	600#	150#		1440					275	230			
26HA14/S4	26HB14/S4	2 x 3	900#	150#		1485					275	230			
26HA15/S4	26HB15/S4	2 x 3	1500#	300#		1600					720	415			

➤ Análisis el tipo de válvula seleccionada

Entonces analizando el tipo de válvula seleccionada para nuestro separador de alta V-1000 de la planta Santa Rosa, será una válvula de la marca Farris con un área de descarga efectiva API área 0.785 in^2 , bajo el denominativo de letra de orificio "H", bajo las condiciones de temperatura y presión de alivio, datos que nos trazamos para hacer del dimensionamiento; Temperatura de alivio requerida, $450 \text{ }^\circ\text{F}$ y una presión de diseño del equipo máxima de 1500 psig, nos da como resultado que necesitamos una válvula de tipo convencional con el tipo de numero 26HA14 con un tamaño de 2x3 tanto como a la entrada como a la salida con un material construido de acero al carbono, esta válvula seleccionada nos ayudara a dar una mayor seguridad al momento de operar el

separador, como también ayudara a los trabajadores estar seguros al momento de hacer los mantenimientos de rutina y preventivos.

Figura 21

Válvula de alivio Farris Serie 2600



Fuente: Extraído de (Farris, 2024)

Ahora bien, hagamos una comparación de la válvula ya instalada con esta válvula calculada. La válvula ya instalada y operando tiene las siguientes características, es una válvula de tipo convencional con una temperatura de alivio requerida, 450 °F y una presión de diseño del equipo máxima de 1500 psig, con un área de orificio de 1.287 in² con el tipo de numero 26JA14 de tamaño de 3x4 de acero al carbono (Serie 2600).

Como podemos apreciar la diferencia está en el tamaño de la válvula, tanto como entrada como de salida, esta diferencia se debe a la cantidad de hidrocarburos que antes procesaba el separador, es por eso la diferencia, ahora bien, el análisis nos dice que nosotros necesitamos reemplazar esta válvula instalada por la válvula que se calculó, porque, la diferencia de tamaño nos adhiere un gasto mayor en cuanto al mantenimiento de la válvula, ahora bien, en la actualidad podemos decir que nos conviene reemplazar la válvula de alivio por una de tamaño 2x3.

Esta diferencia de tamaño recae en la cantidad de flujo másico que necesitamos transportar, antes se necesitaba transportar hartas cantidades de hidrocarburos, que se tenían que tratar en el separador V-1000, ahora por la baja producción de hidrocarburos y las bajas cantidades que separa el separador V-1000, esto recae en las dimensiones de la válvula de alivio, necesitando una de menor tamaño.

2.3. ANALISIS Y DISCUSIÓN

En el marco del análisis y la discusión sobre la selección de válvula bajo ciertos lineamientos y directrices es necesario resaltar y cumplir con las normativas de dimensionamiento y selección de válvulas, en el API practica recomendada 520, séptima edición, parte 1: Dimensionamiento y selección (Dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías), como también nos basamos en el catálogo de Ingeniería Farris (válvulas de alivio de presión Serie 2600).

Es necesario seguir con el estudio y análisis de selección de válvulas ya que el estudio de las válvulas es demasiado amplio, hay una infinidad de normativas para el dimensionamiento, como también hay una diversa variedad de válvulas para diferentes procesos. Es por eso que se ha querido abarcar en esta monografía y centrarse en la selección bajo los pasos que nos indica API practica recomendada 520.

Y por eso haciendo un análisis en el tipo de válvula recomendada, de tamaño 2x3 convencional, esta válvula nos ayudara a bajar los costos de mantenimiento, de construcción, ya que la válvula que actualmente está ocupando el separador V-1000 es de tamaño 3x4, ya que necesitamos reemplazar esta válvula de alivio por una más pequeña en tamaño y no así en capacidad de brindar un alivio de presión en el sistema.

Esta válvula que recomendamos tendría las mismas características de alivio, trabajaría bajo los mismos parámetros de temperatura como de presión 450 °F y 1500 psig, solo haríamos un cambio en el tamaño, pasando de una de 3x4 a una de 2x3

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

3.1. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de las características del separador trifásico de alta V-1000 de la planta Santa Rosa, llegando a la conclusión de que influyen de gran manera los sistemas de control de presiones en la eficiencia del separador, las variables a controlar en un sistema de separación son, el caudal de entrada, nivel de interface en el área de separación, nivel de crudo en el vertedero, presión interna en el separador, y si estas variables no las controlamos, tendremos un rendimiento bajo en el separador, es por eso que se tiene que hacer el dimensionamiento y selección correcta de las válvulas.

Se estableció las directrices de selección de válvulas, mediante bibliografía y normativas API practica recomendada 520, séptima edición, parte 1: Dimensionamiento y selección (Dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías), como también nos basamos en el catálogo de Ingeniería Farris (válvulas de alivio de presión Serie 2600). Determinamos los pasos a seguir para la selección de la válvula de alivio de presión en el separador.

Y se llegó a la conclusión de un área de orificio requerido calculado de 0.7329 in², con este dato entramos en catalogo Farris y nos vamos al inmediato superior que seria 0.785 in² con un orificio tipo H, y con dato de presión y temperatura de diseño, determinamos una válvula convencional de numero 26HA14 con un tamaño de 2x3 tanto como a la entrada como a la salida con un material construido de acero al carbono.

Una vez hecha la selección de la válvula se hizo una comparativa con la válvula ya instalada y llegamos a la conclusión de que se tiene que reemplazar la válvula ya instalada por esta válvula seleccionada, ya que el costo de mantenimiento de una válvula grande con una de menor tamaño es bajo. Y también que los flujos másicos transportados para el tratamiento y separación son menores a comparación de antes cuando se tenía una producción estable y mayor, es por eso la diferencia de tamaños de válvulas.

3.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar el amplio campo de las válvulas en la industria petrolera y de procesos, ya que hay una variedad de válvulas como de normativas que se tiene que hacer el estricto cumplimiento de las mismas, para llevar una correcta aplicación.

De la misma manera explorar el campo de las simulaciones en dimensionamiento de válvulas, para así poder hacer el correcto dimensionamiento de válvulas, también así acortar el tiempo de análisis para el dimensionamiento y selección. En este caso la empresa Farris cuenta con simuladores propios de la empresa que hacen el dimensionamiento rápido de qué tipo de válvula requieres.

También se recomienda realizar reuniones de trabajo para la selección de válvulas en la industria de los procesos, si bien uno no toma la decisión de que válvula seleccionar, mediante las reuniones se socializará y debatirá que válvula es la óptima y para su posterior compra e implementación en la industria.

En un sistema de control es importante tener dos modos de operación, modo automático, para que el proceso funcione de manera continua, y modo manual cuando sea necesario realizar mantenimiento al separador, o cuando por motivos de seguridad se necesita operar al separador independientemente del sistema de control.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. (s.f.). Obtenido de <https://vycindustrial.com/valvulas/seguridad/>
2. AERRE. (2023). *www.aerre.com.ar*. Obtenido de www.aerre.com.ar: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Faerretools.azurewebsites.net%2FAsistente%2FPdfDownload%3FModeloDeLinea%3D28&psig=AOvVaw2O-R3n2se5SEiWTfgoePQa&ust=1712993619937000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAUQn5wMahcKEwjY17jTILyFAxUAAAAAHQA>
3. ANH. (16 de Abril de 2024). Obtenido de https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Inicio/Banner/Banner_Id-51-180314-0427-2.pdf
4. ANH. (16 de Abril de 2024). *www.anh.gob.bo*. Obtenido de www.anh.gob.bo: <https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=18>
5. Caballero, C. J. (2021). *repositorio.unac.edu.pe*. Obtenido de repositorio.unac.edu.pe: <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7236/T.S.%20GARCIA%20CABALLERO%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Departamento de Planificación y Evaluación Institucional. Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. (2021). *Directrices Específicas y Operativas de Formulación*

- del POA. Cronograma de Formulación. Objetivos de Gestión Institucionales, Específicos, Catálogo Básico de Indicadores.* Obtenido de <https://usfx.bo/>
7. Dirección de Planificación. Ministerio de Economía y Finanzas Bolivia. (2020). *Formulación del POA.* Obtenido de https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0CAIQw7AJahcKEwjoiZWz7-7_AhUAAAAAHQAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Frepositorio.economiayfinanzas.gob.bo%2Fdocumentos%2FDGPLA%2FTutorial%2520de%2520Formulaci%25C3%25B3n%2520del%2520POA_Transcrip
 8. Dombor. (15 de Septiembre de 2021). *es.dombor.com*. Obtenido de [es.dombor.com](https://es.dombor.com/valves-in-oil-and-gas-industry-the-ultimate-guide/): <https://es.dombor.com/valves-in-oil-and-gas-industry-the-ultimate-guide/>
 9. Escalera, S. J. (Diciembre de 2004). *scielo.org.bo*. Obtenido de [scielo.org.bo](http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v2n4/v2n4_a08.pdf): http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v2n4/v2n4_a08.pdf
 10. Facultad de Ciencias y Tecnología. (marzo de 2006). *Revista Informativa de la Facultad de Tecnología. 1, 120.* Sucre, Bolivia: Imprenta Editorial Tupac Katari.
 11. Facultad de Ciencias y Tecnología. (03 de 2023). *Documentación Administrativa Facultad de Ciencias y Tecnología.* Sucre, Bolivia.
 12. Facultad de Ciencias y Tecnología. (30 de 04 de 2023). *SITIO OFICIAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS TECNOLOGIA.* Obtenido de <https://tecnologia.usfx.bo>
 13. Florentino, T. R. (2010). *bibdigital*. Obtenido de [bibdigital](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2054/1/CD-2869.pdf): <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2054/1/CD-2869.pdf>
 14. Franco, M. F. (30 de 06 de 2020). *atlantic.edu.ec*. Obtenido de [atlantic.edu.ec](https://drive.google.com/file/d/1vI7S1dPpkES8zUwyfenm0Jn6PmzAsKMO/view): <https://drive.google.com/file/d/1vI7S1dPpkES8zUwyfenm0Jn6PmzAsKMO/view>
 15. *Google Maps.* (s.f.). Obtenido de <https://www.google.com/maps/search/Planta+Santa+Rosa+--+Santa+Cruz+/@-16.9868142,-63.7715287,400m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
 16. IGNACIO, I. C. (2020). *repositorio.umsa.bo*. Obtenido de [repositorio.umsa.bo](https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/32725/PG-7593.pdf?sequence=1&isAllowed=y): <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/32725/PG-7593.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 17. INDUSTRIES, A. (10 de Abril de 2024). *apc-industries*. Obtenido de [apc-industries](https://www.apc-industries.com/instalacion-tanques-almacenamiento.html): <https://www.apc-industries.com/instalacion-tanques-almacenamiento.html>

18. lavozdetarija. (10 de Abril de 2024). *lavozdetarija.com*. Obtenido de lavozdetarija.com: <https://lavozdetarija.com/2023/03/31/ypfb-programa-bs-7-millones-para-el-mantenimiento-de-26-tanques-de-almacenamiento-de-gas/>
19. López, J. (15 de Marzo de 2024). *inspenet.com*. Obtenido de inspenet.com: <https://inspenet.com/articulo/inspeccion-mantenimiento-valvulas-de-alivio/>
20. Martínez, L. A. (Febrero de 2023). *http://scielo.sld.cu*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu>: <http://scielo.sld.cu/pdf/ms/v21n1/1727-897X-ms-21-01-269.pdf>
21. Ministerio de Economía y Finanzas. (2023). *Clasificadores Presupuestarios Gestión 2023*. Obtenido de https://repositorio.economiayfinanzas.gob.bo/documentos/VPCF/DGPGP/2023/Clasificadores_Presupuestarios_Gestion_2023.pdf
22. Ortega, C. (2023). *Método analítico: Qué es, para qué sirve y cómo realizarlo*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/metodo-analitico/>
23. Ortiz Limón, M. (2023). *INFORME DE RENDICION DE CUENTAS DE LA GESTION 2022 DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA*. Sucre.
24. questionpro. (2014). *questionpro*. Obtenido de questionpro: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-descriptiva/>
25. Ramírez Martínez, I. F. (2013). *APUNTES DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. Un Enfoque Crítico*. Sucre: Servicios Gráficos PRISMA - 6465261. Obtenido de https://usfx.bo/Documentos/RepositorioLibros/APUNTES_DE_METODOLOGIA_DE_LA_INV.pdf

ANEXOS

Anexo 1

Área de orificio requerido para válvula de alivio Farris

H Orifice

U.S. Customary Units, API Area: 0.785 sq. in., Actual Area: 0.873 sq. in.														
Type Number		Valve Size	ASME Flange Class		Maximum Set Pressure, psig					Back Pressure Limit psig @ 100°F		Material		Inlet Temp. Range
Conventional	BalanSeal	Inlet Outlet	Inlet RF or RJ	Outlet RF	-450°F -76°F	-75°F -21°F	-20°F +100°F	450°F	800°F	1000°F	Conventional Type	Balan-Seal Type	Body & Bonnet	
26HA10	26HB10	1 1/2 x 3	150#	150#			285	185	80		285	230		
26HA11	26HB11	1 1/2 x 3	300#	150#			285	285	285		285	230		
26HA12	26HB12	2 x 3	300#	150#			740	620	410		285	230	Carbon Steel	Chrome Alloy
26HA13	26HB13	2 x 3	600#	150#			1480	1235	825		285	230		
26HA14	26HB14	2 x 3	900#	150#			2220	1855	1235		285	230		
26HA15	26HB15	2 x 3	1500#	300#			2750	2750	2055		285	230		
											740	415		
26HA32	26HB32	2 x 3	300#	150#					510	215	285	230	Chrome Moly Steel	High Temp. Alloy
26HA33	26HB33	2 x 3	600#	150#					1015	430	285	230		
26HA34	26HB34	2 x 3	900#	150#					1525	650	285	230		
26HA35	26HB35	2 x 3	1500#	300#					2540	1080	285	230		
											740	415		
26HA10/S3	26HB10/S3	1 1/2 x 3	150#	150#		275					275	230	316 St. St.	Chrome Alloy Nickel Plated
26HA11/S3	26HB11/S3	1 1/2 x 3	300#	150#		275					275	230		
26HA12/S3	26HB12/S3	2 x 3	300#	150#		720					275	230		
26HA13/S3	26HB13/S3	2 x 3	600#	150#		1440					275	230		
26HA14/S3	26HB14/S3	2 x 3	900#	150#		2160					275	230		
26HA15/S3	26HB15/S3	2 x 3	1500#	300#		2750					720	415		
26HA10/S4	26HB10/S4	1 1/2 x 3	150#	150#		275					275	230	316 St. St.	316 St. St.
26HA11/S4	26HB11/S4	1 1/2 x 3	300#	150#		275					275	230		
26HA12/S4	26HB12/S4	2 x 3	300#	150#		720					275	230		
26HA13/S4	26HB13/S4	2 x 3	600#	150#		1440					275	230		
26HA14/S4	26HB14/S4	2 x 3	900#	150#		1485					275	230		
26HA15/S4	26HB15/S4	2 x 3	1500#	300#		1600					720	415		

Anexo 2

Propiedad de los Gases

Table 7—Properties of Gases

Gas	Molecular Weight	Specific Heat Ratio ($k = C_p/C_v$) at 60°F and One Atmosphere	Critical Flow Pressure Ratio at 60°F and One Atmosphere	Specific Gravity at 60°F and One Atmosphere	Critical Constants		Condensation Temperature One Atmosphere (°F)	Flammability Limits (volume percent in air mixture)	References
					Pressure (psia)	Temperature (°F)			
Methane	16.04	1.31	0.54	0.554	673	-116	-259	5.0-15.0	1
Ethane	30.07	1.19	0.57	1.058	718	90	-128	2.9-13.8	1
Ethylene	28.03	1.24	0.57 ^a	0.969	742	50	-155	2.7-34.8	1
Propane	44.09	1.13	0.58	1.522	617	206	-44	2.1-9.5	1
Propylene	42.08	1.15	0.58 ^a	1.453	667	197	-54	2.8-10.8	2, 3
Isobutane	58.12	1.18	0.59 ^a	2.007	529	273	11	1.8-8.4	1
<i>n</i> -Butane	58.12	1.19	0.59	2.007	551	304	31	1.9-8.4	1
1-Butene	56.10	1.11	0.59 ^a	1.937	543	276	21	1.4-9.3	2, 3
Isopentane	72.15	1.08	0.59 ^a	2.491	483	369	82	1.4-8.3	1
<i>n</i> -Pentane	72.15	1.08	0.59 ^a	2.491	490	386	97	1.4-7.8	1
1-Pentene	70.13	1.08	0.59 ^a	2.421	586	377	86	1.4-8.7	1
<i>n</i> -Hexane	86.18	1.06	0.59 ^a	2.973	437	454	156	1.2-7.7	1
Benzene	78.11	1.12	0.58	2.697	714	552	176	1.3-7.9	2, 3
<i>n</i> -Heptane	100.20	1.05	0.60 ^a	3.459	397	513	209	1.0-7.0	1
Toluene	92.13	1.09	0.59	3.181	590	604	231	1.2-7.1	2, 3
<i>n</i> -Octane	114.22	1.05	0.60 ^a	3.944	362	564	258	0.96-	1
<i>n</i> -Nonane	128.23	1.04	0.60 ^a	4.428	552	610	303	0.87-2.9	1
<i>n</i> -Decane	142.28	1.03	0.60 ^a	4.912	304	632	345	0.78-2.6	1
Air	29.96	1.40	0.53	1.000	547	-221	-313	—	2, 3
Ammonia	17.03	1.30	0.53	0.588	1636	270	-28	15.5-27.0	2, 3
Carbon Dioxide	44.01	1.29	0.55	1.519	1071	88	-109	—	2, 3
Hydrogen	2.02	1.41	0.52	0.0696	188	-400	-423	4.0-74.2	2, 3
Hydrogen sulfide	34.08	1.32	0.53	1.176	1306	213	-77	4.3-45.5	2, 3
Sulfur dioxide	64.04	1.27	0.55	2.212	1143	316	14	—	2, 3
Steam	18.01	1.33	0.54	0.622	3206	706	212	—	2, 3

^aEstimated.

References:

1. *Physical Constants of Hydrocarbons C₁ to C₁₀*, ASTM Special Technical Publication No. 109A, Philadelphia, Pennsylvania, 1963.
2. *International Critical Tables*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, New York.
3. *Engineering Data Book*, Gas Processors Suppliers Association, Tulsa, Oklahoma, 1977.

Anexo 3

Coeficiente de flujo subcrítico

