

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“APLICACIÓN DE MEJORAS OPERACIONALES AL PROCESO DE
TRATAMIENTO DE AGUAS EFLUENTES DE LA PLANTA SAEN III,
COMPLEJO JUSEPÍN, ESTADO MONAGAS”**

REALIZADO POR:

YESELIN DEL VALLE CARRILLO GÓMEZ

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito

Parcial para optar al Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Barcelona, octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“APLICACIÓN DE MEJORAS OPERACIONALES AL PROCESO DE
TRATAMIENTO DE AGUAS EFLUENTES DE LA PLANTA SAEN III,
COMPLEJO JUSEPÍN, ESTADO MONAGAS”**

ASESORES

Ing. Quím. Rayda Patiño, Msc

Asesor académico

Ing. Ind. Luís Jiménez

Asesor industrial

Barcelona, octubre de 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“APLICACIÓN DE MEJORAS OPERACIONALES AL PROCESO DE
TRATAMIENTO DE AGUAS EFLUENTES DE LA PLANTA SAEN III,
COMPLEJO JUSEPÍN, ESTADO MONAGAS”**

JURADO

Ing. Quím. Rayda Patiño, MSc

ASESOR ACADÉMICO

Ing. Quím. Maritza Millán Silva, MSc

JURADO PRINCIPAL

Ing. Quím. Milena Amundarain

JURADO PRINCIPAL

Barcelona, octubre de 2009

RESOLUCIÓN

REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO

De acuerdo al ARTÍCULO 44 del Reglamento de Trabajos de Grado, los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.

DEDICATORIA

A Dios padre por ser mi protector y mi guía en cada instante, a la virgen del Valle por cuidarme y brindarme siempre fortaleza para seguir adelante, a todos mis santos por escuchar todas esas suplicas que siempre han tenido respuesta. Esta es una ofrenda a cambio de todos los favores concedidos.

A mi madre Leida Gómez, porque sus logros han sido mi ejemplo a seguir, porque siempre has sido mi fortaleza y mi compañera en los tiempos difíciles, porque yo sé que cada triunfo en mi vida, es un orgullo para ti mami. Eres lo más importante que tengo mami bella te adoro.

A mi abuela Carmen Antonia quien me ha visto crecer y quien es dueña de mi corazón por todo su amor y su ternura, este es un regalo para ti abuela porque es muestra de que hiciste muy bien tu trabajo como madre. Te quiero mucho.

A mis hermano Edgar Alexander y José Alfonso para que este triunfo sirva como ejemplo para ellos y para que siempre recuerden que todo esfuerzo tiene su recompensa.

Y muy en especial me dedico esta tesis a mí, porque aquí esta plasmado en físico el sueño por el que luchado, peleado, llorado, pero también el que disfrutado, aprendido y gozado. Me la dedico a mí porque solo yo sé lo que me costo llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi padre todo poderoso, a la virgen del Valle y a todos mis Santos benditos, por estar siempre a mi lado, escuchar todas mis suplicas y ayudarme a cumplir mis metas.

A mi preciosa madre Leida Gómez, porque sin ella no estaría donde estoy, gracias a ti mami estoy viva, gracias a ti he cumplido cada uno de mis sueños y por ti es que sigo adelante porque tú eres el más valioso ejemplo que Dios puso en mi camino. Te adoro mami bella.

A mis hermanos José Alfonso y Edgar Alexander, por estar siempre a mi lado brindándome todo su apoyo, su colaboración y sobre todo su estímulo, porque ustedes me dan fuerza para seguir adelante, ustedes son mi familia y los amo por eso.

A la Ing. Rayda Patiño y al Ing. Luís Jiménez, tutor académico y tutor industrial, por ofrecer y dedicar sus conocimientos a la realización de mi tesis, por todo su apoyo y colaboración en la culminación de esta meta gracias.

A todo el personal que labora en planta RESOR, planta Los Jabillos y planta SAEN, por toda su colaboración, su apoyo tanto moral como por sus conocimientos, siempre encontré una mano amiga en sus pasillos y lo agradezco profundamente. En especial a la Ing. Aina Chacín, a la señorita Susana Rivero, al señor Luis Tineo, al señor Ricardo Salas, al señor Jorge Ollarves, entre muchos otros. A todo el personal de tratamiento químico por su paciencia y colaboración.

Al Ing. Antonio Ganem porque su apoyo, dedicación y colaboración fueron fundamentales para la realización de mi tesis, gracias Antonio por compartir conmigo algunos de tus conocimientos y siempre estar presto a brindar ayuda a los demás. Igualmente agradezco a la Ing. Carmen Villalobos y al Ing. Cesar García, por su muy valiosa colaboración.

A mis ángeles de la guarda, mis padrinos Jesús Mijares y Josefina de Mijares, por estar siempre pendiente de mí y de cada uno de los pasos que doy, por ayudarme

en mi formación tanto personal como profesional. Gracias por su apoyo constante, los quiero mucho.

A la familia Hernández Figueroa por abrirme las puertas de su hogar y de su corazón. A la señora Ana porque la considero una madre, pues estuvo a mi lado y sigue estando cada vez que las necesito, usted me enseñó que el tiempo de Dios es perfecto. A mi hermana Karla, por hacer mis días felices, tú eres alegría y paz no lo olvides amiga y a Karina gracias por tu fortaleza y empeño, eres un ejemplo para cualquiera. Las adoro a las tres.

A la familia Jiménez Peñalosa, por regalarme compañía en los momentos de soledad, gracias a ustedes el camino fue más fácil y muy en especial gracias Arquimedes.

A mis amigos por ser compañeros de lucha con ellos empecé y con ellos voy a terminar, porque después de tanto tiempo compartido nos convertimos en hermanos. A Neisy, Oscar, Tania, Franchesca, Addharelys y Carlos no existen palabras para describir lo importante que es para mí su amistad los quiero mucho. A mis amigos que cariñosamente llamo los tesisistas, porque fueron la mejor compañía en esta etapa de mi vida, Laurimar, Dayana, Hector y Oliver gracias por todo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma me ayudaron al cumplimiento de esta meta GRACIAS.

RESUMEN

La planta SAEN III, se encarga del tratamiento de aguas efluentes utilizadas para la recuperación secundaria del petróleo. Desde principios del año 2009, esta ha venido presentando problemas de inestabilidad en el flujo de alimentación proveniente del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín, además de observarse bajo rendimiento en la remoción de crudo y de sólidos suspendidos en los equipos que la conforman, por lo que esta investigación busca la aplicación de mejoras operacionales a la planta, con el propósito de que ésta se encuentre en las condiciones para manejar con eficiencia el agua dentro del sistema, tanto en las condiciones actuales de operación es decir para 30 MBPD como para la ampliación a 60 MBPD. Con este fin se realizó una comparación entre la filosofía de diseño y las condiciones de operación actuales de la planta, para visualizar si se están cumpliendo con los parámetros establecidos dentro del documento. Posteriormente se llevó a cabo un estudio hidráulico con el simulador Pipephase versión 9.1, donde se examinó detalladamente cada tramo de tubería, así como el comportamiento de las bombas y las válvulas que forman el sistema, observándose que se cuenta con una hidráulica que satisface las necesidades de la planta para las condiciones de 30 y 60 MBPD. Para completar la evaluación a la planta SAEN III también se determinó la eficiencia de los equipos, para lo cual fue necesario realizar análisis físico-químicos (sólidos suspendidos totales y crudo al agua) en diferentes puntos de muestreo, obteniéndose resultados de eficiencias negativos en muchos casos, esto se atribuye al hecho de que el estudio se realizó bajo condiciones de inestabilidad de flujo en la planta, motivo por el cual los equipos permanecieron fuera de servicio por aproximadamente 3 meses y luego para su puesta en marcha no se les realizó el mantenimiento adecuado, aunado a esto, el ciclo de retrolavado en el sistema de filtración es deficiente. En vista de la situación observada, las propuestas de mejora a la planta SAEN III, se enfocaron en la estabilización del flujo de alimentación, por lo que se planteó la instalación

de un sistema de almacenamiento de agua, con el objetivo de proporcionar autonomía a la planta. Este sistema consiste en el diseño e implantación de dos tanques de almacenamiento con capacidad de 5000 barriles cada uno. Además de esto es necesario la automatización de las válvulas de compuertas ubicadas a la salida de la línea Ø16'' por donde circula el agua proveniente del sistema de deshidratación, para integrarlas al sistema control de la planta SAEN III, y que de esta forma sea posible controlar el nivel de los tanques de almacenamiento mediante la apertura o cierre de las mismas. Por lo que se sugiere sustituirlas por dos válvulas de control o motorizar las existentes y de esta forma facilitar la operación y la regulación del flujo que ingresa a la planta SAEN III.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
CONTENIDO	x
INTRODUCCIÓN	14
1.1.- Planteamiento del problema	14
1.2.- Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
MARCO TEORICO	18
2.1.- Antecedentes	18
2.2.-Inyección de agua.....	19
2.2.1.-Caracterización del agua para inyección	20
2.2.2.-Tratamiento del agua para inyección.....	22
2.2.2.1.- Tratamiento químico para el agua de inyección.....	23
A.- Surfactante.....	24
B.- Secuestrador de oxígeno.....	24
C.-Polielectrolito.....	24
D.- Coagulante.....	24
E.- Biocida	25
F.- Inhibidor de corrosión	25
A.- Centrifugación	26
B.- Hidrociclones	26
C.- Flotadores por gas inducido (IGF).....	27
D.- Filtración	28

2.3.-Balance de masa	31
2.4.- Eficiencia.....	33
2.5.- Simulación hidráulica.....	33
2.5.1.- Simulador Pipephase versión 9.1	34
2.6.- Fluido	34
2.6.1.- Velocidad media de flujo	35
2.6.2.- Velocidad de erosión.....	35
2.6.3.- Caída de Presión en tuberías	36
2.7.- Tanques de almacenamiento	38
2.7.1.- Tipos de tanques de almacenamiento.....	39
2.7.2.- Códigos aplicables a la construcción de tanques de almacenamiento	
.....	39
2.8.- Válvulas.....	41
2.8.1.- Válvulas de control.....	41
2.8.2.- Partes de la válvula de control.....	41
2.8.2.1.- Actuador	41
2.8.2.2.- Cuerpo de la válvula.....	42
DESARROLLO DEL PROYECTO	43
3.1.- Procedimiento experimental.....	43
3.1.1.- Revisión bibliográfica	43
3.1.2.- Recolección de datos experimentales.....	43
3.1.3.- Metodología aplicada durante el muestreo.....	44
3.1.4.- Metodología usada para el estudio hidráulico	45
3.2.- Equipos, materiales y sustancias	45
3.2.1.- Equipos.....	45
3.2.2.- Materiales	46
3.2.3.- Sustancias	46
3.3.- Técnicas utilizadas	46
3.3.1.- Determinación de la turbidez del agua.....	46

3.3.2.- Determinación de crudo total en agua.....	47
3.3.3.- Determinación de sólidos suspendidos totales	48
3.4.- Datos experimentales	49
Fecha.....	49
Fecha.....	50
3.5.- Muestra de cálculo	50
3.5.1.-Determinación de la caída de presión	51
3.5.2.-Determinación de la eficiencia.....	54
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y	
RECOMENDACIONES.....	55
4.1.- Comparar la filosofía de diseño de la planta SAEN III con respecto a las	
condiciones operacionales actuales.....	55
4.1.1.- Características de alimentación.....	55
4.1.2.- Hidrociclones (S-102 A/B).....	57
4.1.3.- Unidad de Flotación de Gas Inducido (IGF).....	59
4.1.4.- Filtros de cáscara de nuez (V-301 A/B).....	60
4.1.5.- Filtros Multimedia (V-101 A/B/C)	62
4.1.6.- Sistema de aguas de retrolavado	63
4.1.7.- Sistema de inyección de productos químicos.....	65
4.2.- Estudio hidráulico del proceso de planta SAEN III mediante simulación	
con Pipephase® versión 9.1	67
4.2.1.- Estudio hidráulico del proceso trabajando con 30 MBPD de agua	67
4.2.2.- Estudio hidráulico del proceso trabajando con 60 MBPD de agua	73
S-102B.....	77
4.3.- Eficiencias de los equipos de la planta SAEN III	81
4.4.- Alternativas para el mantenimiento de las condiciones adecuadas de	
alimentación a la planta SAEN III en diversos escenarios de operación.....	87
4.4.1.- Diseño e implantación de un sistema de almacenamiento de agua	87

4.4.2.- Automatización de las válvulas de compuerta, ubicadas en la línea del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín	91
4.5.- Conclusiones	95
4.6.- Recomendaciones	96
BIBLIOGRAFÍA	98
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	100

INTRODUCCIÓN

1.1.- Planteamiento del problema

La inyección de agua a los yacimientos productores de petróleo es una técnica de recuperación secundaria orientada a mantener la energía que permite fluir el crudo desde el yacimiento hasta la superficie. Manteniendo la presión durante la explotación, se hace posible la recuperación de millones de barriles que de otra manera permanecerían en el yacimiento después de alcanzar la presión de abandono. En el Distrito Norte, específicamente en los Campos Jusepín y el Furrrial, se utiliza la inyección en arreglos, que consiste en inyectar el agua dentro de la zona de petróleo, a través de un número apreciable de pozos inyectores que forman un arreglo geométrico con los pozos productores.

Cuando se aplica la inyección de agua a un yacimiento, tarde o temprano el frente de agua va a irrumpir y se va a mezclar con el agua asociada al crudo, provocando esto, que el flujo de agua invada las tuberías de producción y las instalaciones de procesamiento en la superficie, por lo que es necesario extraer el agua con un proceso de deshidratación. Debido a la necesidad de manejar el agua proveniente del proceso de deshidratación, surge la planta de tratamiento Sistemas de Aguas Efluentes Nortes (SAEN), ubicada en el Complejo Jusepín al Noroeste de Maturín, estado Monagas, con una capacidad de 120 MBPD. A principios del 2005 se presentan contingencias en el manejo de las aguas de producción, debido a la imposibilidad de prestar el tratamiento adecuado en las instalaciones existentes, lo que obligó a PDVSA a la búsqueda de una solución definitiva y permanente a la problemática.

Como alternativa de solución, se estudió la mudanza total de la planta de tratamiento de aguas de producción Motatan II desde la División Occidente hacia las adyacencias de planta SAEN en el Complejo Jusepín. Esta planta se utilizaba para disposición final de agua en pozos depletados. Poco después de implementado el proyecto, se observó un incremento en el corte de agua, por lo que se decidió suspender la inyección. En vista de la disposición de las instalaciones, se optó por ceder esta planta a la División Oriente. Dicho proyecto se denominó Planta de Tratamiento e Inyección de Aguas Efluentes SAEN III, diseñada para manejar 30 MBAD (fase inicial) y con planes de ampliación a 60 MBPD (fase final) con la finalidad de ofrecer flexibilidad operacional para incrementar el manejo de agua desde 120 MBPD hasta 180 MBPD.

Debido a las características de diseño de SAEN III, se determinó que el agua apropiada para ser procesada es la proveniente del sistema de deshidratación Jusepín, pues esta agua puede presentar remanentes de crudo al entrar al proceso y SAEN III cuenta con un sistema de desalojo de crudo, formado por dos hidrociclones líquido - líquido y dos unidades de flotación de gas inducido. Luego de esta etapa, el proceso se basa principalmente en la filtración del agua, pasando por los filtros de cáscara de nuez y luego por los filtros de lecho. Para que el agua cumpla con los parámetros de calidad establecidos según la filosofía de operación, (turbidez: 0,5 NTU, sólidos suspendidos totales: 0,5 ppm y concentración de hierro total de 0,5 ppm), debe acondicionarse en los filtros pulidores, debido a que estos equipos se encuentran en procura, SAEN III no transfiere el agua tratada a la planta de Recuperación Secundaria Oriente (RESOR), siendo ésta su concepción original, sino que es enviada nuevamente a la fosa L-1000, fuente de alimentación de SAEN.

Desde la puesta en marcha de la planta SAEN III, se ha venido presentando una serie de inconvenientes en el funcionamiento de la misma. Además de esto, desde principios de 2009 se observa una inestabilidad en el flujo de alimentación

proveniente del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín, situación que ha traído como consecuencia el paro continuo de la planta, lo que conlleva a que no se esté cumpliendo con los objetivos de calidad para los cuales ésta fue diseñada. Debido a lo antes expuesto, es necesario la aplicación de una serie de mejoras a las condiciones operaciones de la planta, pues mientras ésta no cuente con la estabilidad requerida, no se podrá aplicar la ingeniería estudiada para su ampliación, a pesar de que se cuenta con el recurso humano y tecnológico para llevar a cabo dicho proyecto.

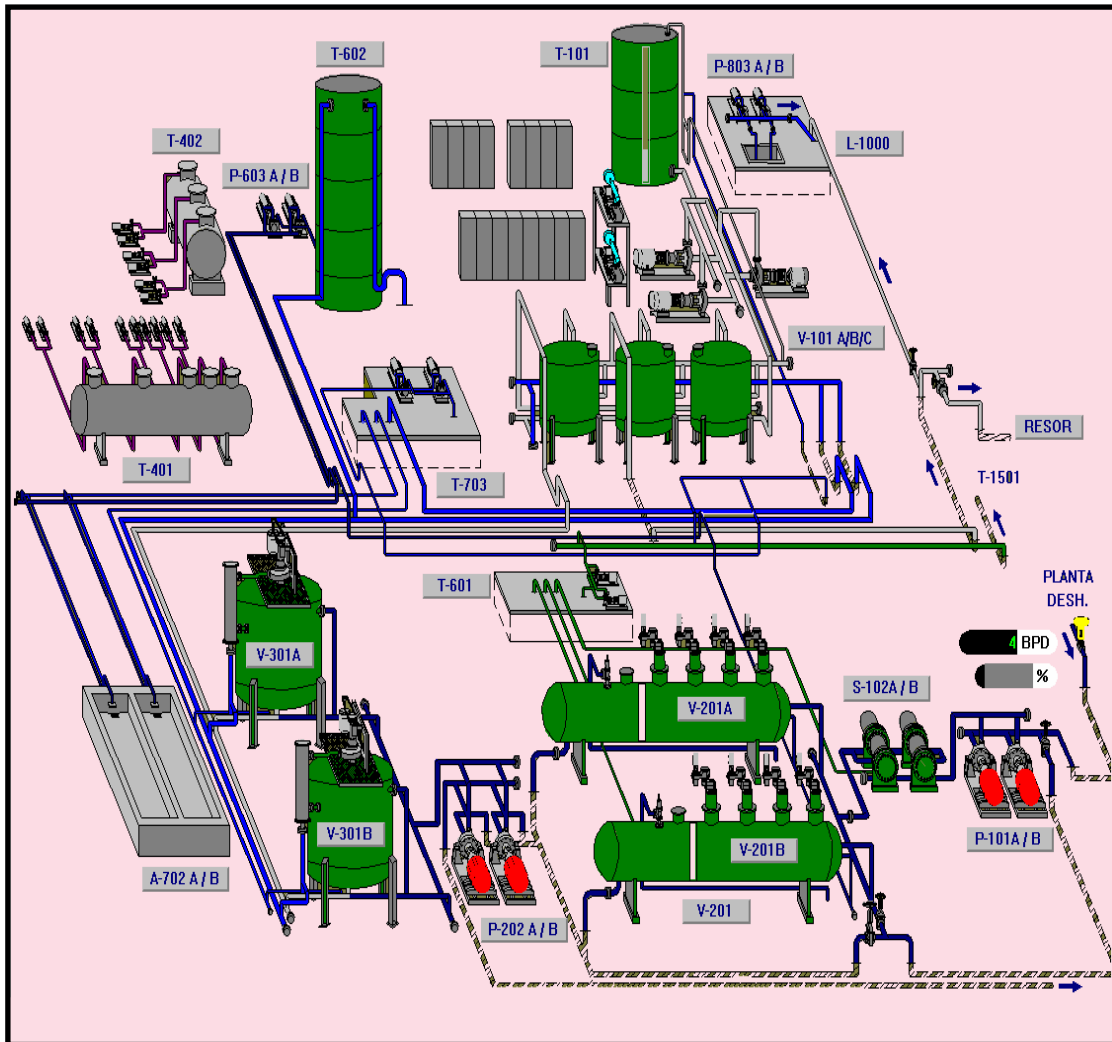


Figura1.1.- Vista general de la planta SAEN III [14]

1.2.- Objetivos

Objetivo general

Aplicar mejoras operacionales al proceso de tratamiento de aguas efluentes de la planta SAEN III, complejo Jusepín, estado Monagas.

Objetivos específicos

Comparar la filosofía de diseño de la planta SAEN III con respecto a las condiciones operacionales actuales.

Realizar el estudio hidráulico del proceso de planta SAEN III mediante simulación con Pipephase® versión 9.1

Determinar la eficiencia de los equipos de planta SAEN III.

Formular alternativas para el mantenimiento de las condiciones adecuadas de alimentación a la planta SAEN III en diversos escenarios de operación.

MARCO TEORICO

2.1.- Antecedentes

Méndez, con el fin de determinar las causas de porque el agua que llega a la planta RESOR ésta fuera de las especificaciones de calidad exigidas para su inyección al yacimiento, evaluó el proceso de filtración de la planta SAEN y elaboró una serie de recomendaciones que permitieron mejorar el proceso [1].

Urbáez, elaboró una propuesta de mejoras operacionales en la planta de Tratamiento de Efluentes del Norte SAEN, con el objetivo fundamental minimizar la acumulación de sólidos y crudo, y a su vez ofrecer una mejor calidad en el agua de salida, para garantizar la continuidad operacional de la planta. El autor comparó las condiciones de operación con la filosofía de diseño para analizar básicamente la eficiencia de los sistemas de desalajo de crudo y de los sistemas de desalajo de sólidos. También realizó balances de masas donde se determinó la cantidad de crudo y de sólidos que se acumulan por cada hora de proceso. Además planteó el dimensionamiento de un equipo de flotación – sedimentación, como solución a la problemática presentada Esto se hizo con la finalidad de obtener el agua dentro de las especificaciones requeridas para inyección (5,0 ppm de crudo, 0,5 ppm TSS y 0,5 NTU de turbidez) [2].

Verde, realizó un análisis de la situación de la planta SAEN, para esto se basó en el estudio de tres escenarios en el sistema de filtración, con falta de lecho en los filtros pulidores y una vez completado los lechos en condiciones operacionales y para el tercer escenario estudió la falta de lecho pero modificando las variables operacionales. Demostrando con esto que las condiciones de planta SAEN no son las

más adecuadas, por lo que planteó una serie de soluciones y recomendaciones a fin de garantizar la calidad del agua para recuperación secundaria [3].

Estos estudios se utilizarán como guía para la realización de esta investigación, pues están relacionados estrechamente con la mejora de la calidad de agua de inyección para recuperación secundaria, ya que SAEN es la planta predecesora de SAEN III e igualmente trabaja con aguas efluentes. También se emplearán como marco de referencia en la redacción y cálculos necesarios, comparación de los métodos empleados y como muestra para considerar las alternativas de mejoras más viables para el sistema en estudio.

2.2.-Inyección de agua

Es un proceso donde el petróleo es llevado hacia los pozos de producción por acción de la presión ejercida por el agua, esta operación fue realizada por primera vez en la ciudad de Pithole, al oeste de Pennsylvania, en el año 1985.

“Esta técnica nace accidentalmente cuando el agua proveniente de algunas arenas acuíferas poco profundas o de acumulaciones de aguas superficiales, se movía a través de las formaciones petrolíferas, entraba al intervalo productor en los pozos perforados e incrementaba la producción de petróleo en los pozos vecinos” [4]. Para la inyección se utiliza el agua salada dado que se prohíbe desde el punto de vista contractual el uso de agua fresca, la cual debe presentar ciertas características:

No debe ser corrosiva

Los componentes minerales como BaSO_4 , SrSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , MgCO_3 , FeS y Fe_2S_3 ocasionan la formación de conchas por lo que se debe tratar de eliminar del agua este tipo de minerales.

Debe eliminarse los sólidos o líquidos en gran volumen que produzcan la obstrucción de los pozos de inyección.

Muchos de los minerales arcillosos que se encuentran en el yacimiento al unirse con el agua, producen el aumento del volumen de los mismos, por eso el agua inyectada no debe reaccionar con éstos.

El agua preparada para la inyección debe presentar características similares al agua encontrada en el yacimiento para que sean compatibles y pueda funcionar el método.

Hoy en día el método de inyección de agua es el más utilizado de los métodos de recuperación secundaria, cubriendo así más de la mitad de la producción de los pozos a nivel mundial.

2.2.1.-Caracterización del agua para inyección

Un paso fundamental en el diseño de un sistema de tratamiento de agua para inyección consiste en determinar la calidad y la tasa futura de producción de agua con el fin de conocer el tipo y la cantidad de contaminantes, como también los volúmenes presentes y futuros a disponer o reinyectar. También se requieren análisis de compatibilidad entre el agua utilizada para la inyección y la de formación. Esta caracterización permite establecer especificaciones de diseño para los equipos de tratamiento. Existen técnicas estándar de muestreo y análisis dependiendo del tipo de contaminante.

Las características físicas más importantes de las aguas de producción son [5]:

Temperatura: las variaciones de temperatura son importantes en las consideraciones de diseño para el sistema de tratamiento de agua. Los minerales más

comunes que forman incrustaciones muestran una solubilidad inversa con la temperatura, lo que significa que la solubilidad disminuye cuando aumenta la temperatura. Adicionalmente un aumento en la temperatura aumenta la tasa de corrosión.

Contenido de sólidos y distribución del tamaño de las partículas: las aguas producidas contienen sólidos suspendidos que pueden taponar la formación receptora, causando una reducción de inyectabilidad. El contenido de sólidos y la distribución del tamaño de las partículas se utilizan para el diseño de los equipos de separación y filtración. La concentración de sólidos, combinada con la tasa de flujo, indica la masa de sólidos a ser removidos y manejados. El contenido de sólidos se determina por filtración mientras que la distribución de las partículas se determina por difracción de rayos láser o microscopía.

Turbidez: es el grado de absorción y dispersión de un rayo de luz incidente sobre las partículas suspendidas en el agua. Se mide con un instrumento llamado turbidímetro en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Indica la calidad relativa del agua.

Contenido de aceite: el aceite disperso en el agua forma coágulos con los sólidos y puede taponar la formación. Además puede afectar el sistema de filtración.

Análisis de corrosión: es importante conocer la tasa de corrosión generalmente en milésimas de pulgadas por año, (mpy) para el diseño de los equipos y del tratamiento para el control de la corrosión. La tasa de corrosión se determina con cupones y probetas de corrosión en campo o en laboratorio.

Análisis bacterial: las bacterias causan corrosión o taponamiento de la formación. Existen bacterias sulfato reductoras (generadoras de H_2S), bacterias

depositadoras de hierro y formadoras de lodo (slime). Es necesario hacer cultivos para determinar la clase, especie y concentración de bacterias en el agua y para diseñar el tratamiento de control.

Las características químicas más importantes de las aguas de producción son [5]:

pH: es un indicador del carácter ácido ($\text{pH} < 7$) o básico ($\text{pH} > 7$) del agua de producción. Tiene influencia en la precipitación de sólidos o incrustaciones y en la tasa de corrosión.

Sales disueltas: todas las aguas de producción contienen sólidos disueltos, principalmente cloruro de sodio. Su concentración se determina por colorimetría, titulación o absorción atómica en el caso del bario y estroncio.

Gases disueltos: los gases disueltos que causan mayor preocupación son el oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). Su concentración se determina por colorimetría y/o titulación. El oxígeno es el agente corrosivo más serio que participa en los mecanismos de corrosión en los campos petroleros.

Compatibilidad: la prueba de compatibilidad de aguas se efectúa con el fin de determinar si existen diferencias entre la química o la temperatura del agua que causen o formen precipitados, cuando el agua a inyectar se mezcle con el agua de la formación receptora.

2.2.2.-Tratamiento del agua para inyección

Las aguas asociadas a la producción de hidrocarburos contienen contaminantes como: hidrocarburos suspendidos o disueltos, sólidos suspendidos, sales, carbonatos

y metales pesados, entre otros. La concentración de estos contaminantes depende del origen del agua, del tipo de yacimiento y de las operaciones de producción.

En algunos casos, estas aguas tienen un bajo contenido en sales disueltas y metales lo que permite su tratamiento y vertimiento en superficie cumpliendo con la normativa ambiental vigente. Sin embargo esta situación rara vez se presenta y la sola remoción del aceite y los sólidos suspendidos del agua no la califican para su vertido en superficie, por lo que la alternativa de la reinyección es la más favorable desde el punto de vista económico, técnico y ambiental.

El proceso de tratamiento de agua tiene como objetivo principal garantizar que el efluente del sistema cumpla con la calidad requerida para la inyección en los yacimientos.

El tratamiento de agua en superficie consta generalmente de separadores agua-aceite-sólidos (separadores API, separadores de placas, celdas de flotación, filtros y lagunas de aireación) los cuales no son suficiente para remover los contaminantes disueltos, para ello se requieren métodos diferentes como: ósmosis inversa, evaporación, intercambio iónico, y tratamiento químico.

2.2.2.1.- Tratamiento químico para el agua de inyección

Durante el tratamiento del agua se aplican productos químicos cuya función es producir reacciones que permitan transformar los contaminantes presentes en el agua en productos que sean mas fáciles de eliminar en los procesos físicos de separación, con el objetivo de disminuir la concentración de sólidos, los problemas de corrosión, emulsiones e incrustaciones y los causados por la presencia de bacterias reductoras de sulfato.

A.- Surfactante

Es cualquier sustancia o producto que reduce la tensión interfacial entre dos superficies en contacto. Tiene propiedades para penetrar, aflojar y dispersar depósitos de compuestos parafínicos, asfálticos, y compuestos de hierro. Ha sido diseñado para mejorar la limpieza de los medios filtrantes de los sistemas de filtración.

B.- Secuestrador de oxígeno

Es un químico el cual secuestra el oxígeno disuelto en agua por una reacción de reducción y de este modo inhibe la corrosión causada por éste.

C.- Polielectrolito

Es cualquier molécula que presenta varias cargas eléctricas descompensadas. Los polielectrolitos se diferencian de los iones comunes (o electrolitos) en que presentan simultáneamente ambos signos de carga, positivo y negativo. Estas cargas se encuentran fijas en distintas posiciones moleculares, por lo que no pueden anularse mutuamente. Son productos diseñados especialmente para trabajar en sistemas que manejan crudo y agua, minimizar el arrastre de aceite y sólidos en el agua, reduciendo problemas de contaminación. Además proporcionan una operación eficiente como ayudante de filtración para mejorar la retención de sólidos suspendidos en el sistema de filtración en plantas de tratamiento de aguas efluentes.

D.- Coagulante

Un coagulante es una sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación. El coagulante es un compuesto químico que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales formando hidróxidos complejos. Los coagulantes típicos son las sales de hierro y aluminio.

E.- Biocida

Los biocidas pueden ser sustancias químicas sintéticas, naturales o de origen biológico o de origen físico y están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier microorganismo considerado nocivo para el hombre.

Los biocidas por lo general actúan a nivel de la membrana celular del microorganismo, penetrándola y destruyendo los sistemas que permiten vivir al microorganismo. El biocida provoca la lisis de la pared proteica o lipoproteica del organismo y penetra en su interior interrumpiendo las reacciones bioquímicas que sustentan la vida en el organismo.

El límite máximo tolerable de población microbiana en sistemas se determina en pruebas de laboratorio. Cuando se conocen estos datos en muchos casos el número de bacterias y de otros microorganismos necesita ser reducido. Esto se puede lograr mediante la adición de biocidas; productos químicos que son tóxicos para los microorganismos. Los biocidas son generalmente dosificados a un sistema para reducir eficaz y rápidamente la población de los microorganismos, los cuales no pueden recuperarse fácilmente del descenso de población. Hay varios tipos de biocidas, algunos de los cuales tienen una amplia gama de efectos sobre muchas y diversas clases de bacterias. Pueden ser divididos en agentes oxidantes y agentes no oxidantes.

F.- Inhibidor de corrosión

Este químico es utilizado con el fin de proteger los equipos y tuberías de la corrosión producida por el ácido sulfhídrico (H₂S), el bióxido de carbono (CO₂), y oxígeno (O₂) los cuales en presencia de humedad, temperatura, presión y condiciones operativas particulares. Los inhibidores trabajan a menudo fijándose por absorción en la superficie metálica, protegiendo de esta manera la superficie metálica formando

una

película.

2.2.2.2.-Métodos y equipos utilizados en el tratamiento del agua

La utilización de equipos y métodos en el tratamiento del agua depende de las características del agua a tratar y de la calidad del agua requerida. Aquí se mencionan los más utilizados:

A.- Centrifugación

Este método utiliza la fuerza centrífuga para separar dos fases con diferente gravedad específica. El fluido a tratar, gira a alta velocidad dentro del equipo. La fuerza centrífuga generada por la rotación hace que el fluido más denso se dirija hacia las paredes del equipo, mientras que la fase más liviana se dirige hacia el centro del mismo, formando un núcleo. La geometría del equipo permite la remoción de los dos fluidos de manera independiente. Los hidrociclones y las centrífugas trabajan con este principio.

B.- Hidrociclones

La manera más simple de utilizar la fuerza centrífuga para la separación son los hidrociclones. En realidad no es un centrifugador: ya que la separación centrífuga se produce por el movimiento del lodo, inducido por la inyección del material de alimentación de manera tangencial. El principio de operación se basa en el concepto de velocidad terminal de sedimentación de una partícula sólida en un campo centrífugo. El siguiente esquema describe las condiciones de operación de los hidrociclones.

El flujo de entrada entra tangencialmente (inlet) en la sección cilíndrica del hidrociclón que seguirá un camino circular con un flujo revertido de fluido desde afuera al eje del vórtice (vortex finder). El campo centrífugo generado por las velocidades tan altas de circulación crearía un cono de aire en el eje que normalmente

se extiende hasta la apertura guía (spigot or apex) en la base de la sección cónica (air core) a través del vórtice (vortex finder) y hasta la sección de reborde o rebosamiento en la parte superior (overflow). Para que esto ocurra la fuerza centrífuga debe ser mucho mayor que la gravitacional.

Las partículas que caen dentro del campo centrifugo tenderán a moverse hacia afuera en función de la mayor densidad. Las mayores, y mas pesadas migran rápidamente a las paredes de fuera de la sección cilíndrica y posteriormente forzadas a caer al interior de la pared cónica. Las partículas pequeñas, serán sin embargo atraídas hacia dentro por el fluido a medida que se mueven hacia el vórtice (vortex finder). La separación sólida ocurrirá durante la suspensión a lo largo del recipiente del hidrociclón, de manera que genera lodo denso en la pared más externa, que permite el flujo continuo del hidrociclón en la boquilla de retraso.

C.- Flotadores por gas inducido (IGF)

La flotación es un proceso utilizado para la remoción del aceite emulsionado y los sólidos suspendidos. La separación por flotación por gas inducido se lleva a cabo al inducir burbujas del gas dentro de una corriente líquida químicamente tratada. Los productos químicos adicionados forman floculos con los contaminantes que luego, por efecto de las burbujas del gas que se adhieren a los mismos son llevados hasta la superficie en donde son eliminados del sistema mediante barrido mecánico.

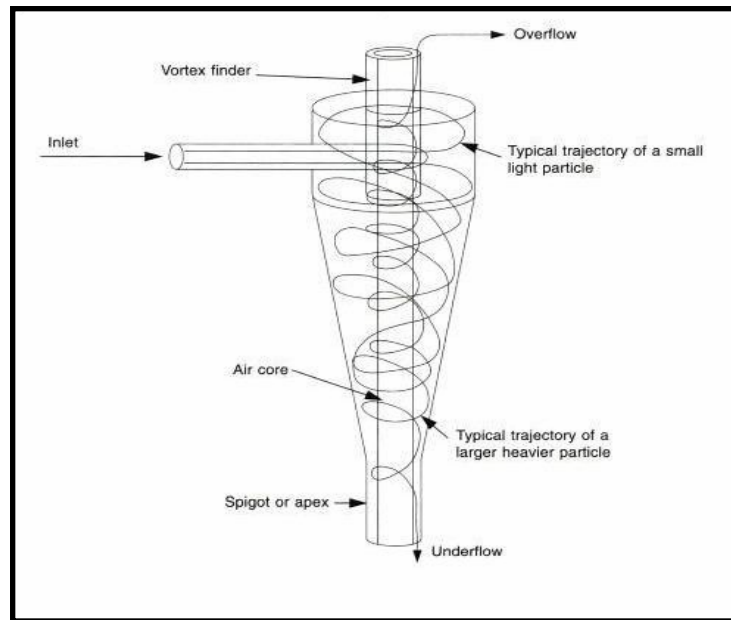


Figura 2.1.- Partes de un hidrociclón [19]

Este sistema de flotación, utiliza cuatro celdas de flotación en serie lo que maximiza el contacto entre el líquido y el gas. Las celdas son ajustables individualmente de manera tal de lograr la máxima eficiencia de separación y optimizar la introducción del gas para las diferentes condiciones de trabajo.

En este diseño, un agitador mecánico produce un vórtice que obliga al gas a descender por el tubo de aspiración poniendo en íntimo contacto al gas con la corriente líquida produciendo la dispersión del gas. Las burbujas producidas arrastran a los contaminantes hasta la superficie en donde un sistema de barrido los remueve inmediatamente a fin de evitar una re-dispersión de los contaminantes en el líquido.

D.- Filtración

“La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor

parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla” [6]. El medio filtrante es el elemento fundamental para la práctica de la filtración y su elección es habitualmente la consideración más importante para garantizar el funcionamiento del proceso. En general, entre los principales criterios de selección del material de medio filtrante se pueden destacar:

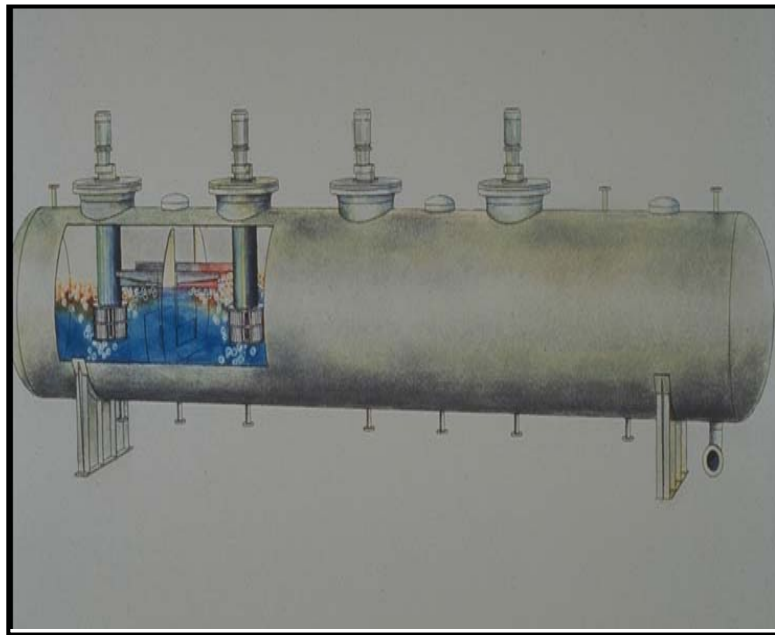


Figura 2.2.- Unidad de flotación de gas inducido [19]

- Compatibilidad y resistencia química con la mezcla.
- Permeabilidad al fluido y resistencia a las presiones de filtración.
- Capacidad en la retención de sólidos.
- Adaptación al equipo de filtración y mantenimiento.
- Relación vida útil y costo.

La variedad de tipos de medios porosos utilizados como medios filtrantes es muy diversa en forma de telas y fibras tejidas, fieltros y fibras no tejidas, sólidos

porosos o perforados, membranas poliméricas o sólidos particulados, a lo que se suma la gran variedad de materiales: fibras naturales, fibras sintéticas, materiales metálicos, materiales cerámicos y polímeros.

El sistema de filtración va desde un simple colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o plásticas, redondas o alargadas, individuales separadas o agregados. La suspensión de alimentación puede llevar una fracción elevada o muy baja de sólidos.

En algunos casos, la separación de las fases debe ser prácticamente completa, en otros se desea una separación parcial, por lo que se han desarrollado numerosos filtros para las diferentes situaciones, como por ejemplo:

“Los filtros de cáscara de nuez son filtros de flujo descendente con capa profunda, que emplean cáscaras de nuez como medio filtrante, diseñados para filtración de agua producida” [14]. A medida que el líquido pasa por la capa con el medio filtrante, el aceite y los sólidos son retenidos eficiente en la capa, y pueden ser fácilmente lavados del mismo contraflujo mediante el sistema de limpieza patentado. Cuenta con una amplia variedad de aplicaciones como en aguas de proceso e industriales, generación de energía, filtración de aguas municipales, instalaciones químicas y petroquímicas y aguas de campos petrolíferos. Se utiliza agua de alimentación para el lavado por contraflujo. El ciclo de lavado del medio filtrante evita que se ensucie la capa filtrante. Sus costos de operación, mantenimiento y tiempos de paradas son reducidos.

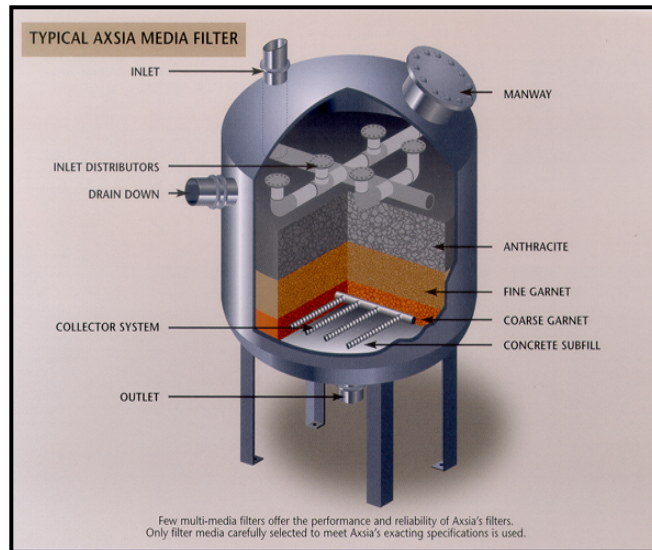


Figura 2.3.-Corte transversal de filtro multilechos [6]

Los filtros multilecho remueven sólidos en suspensión presentes en el agua, tales como: barro, arena, arcilla, etc. hasta 30 micras de tamaño. Estos fueron desarrollados para resolver los importantes problemas que se observaban en el funcionamiento de filtros monocapa, en un intento de mantener en la superficie del filtro un material de mayor talla efectiva y de conseguir que un menor porcentaje de sólidos en suspensión llegara hasta el material filtrante de talla efectiva inferior, donde el filtro efectúa su capacidad de afino del filtrado. Los filtros multilecho poseen de 4 a 5 capas de material filtrante de diferente densidad y granulometría que van deteniendo las partículas de mayor tamaño en las capas superiores y las más pequeñas son detenidas en las siguientes capas.

2.3.-Balance de masa

La ley de la conservación de la masa para fluidos en proceso de flujo se expresa mediante la ecuación de continuidad. Esta ecuación para procesos de flujo expresa simplemente el principio de la conservación de la masa; puede escribirse de la siguiente forma [7]:

$$\boxed{\begin{array}{c} \textit{Rapidez de} \\ \textit{acumulaci3n} \\ \textit{de la masa en} \\ \textit{el volumen de} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \textit{Rapidez de flujo} \\ \textit{de masa en las} \\ \textit{entradas} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{c} \textit{Rapidez de flujo} \\ \textit{de masa en las} \\ \textit{salidas} \end{array}} \quad (\text{Ec.2.1})$$

En sistemas donde ocurre reacci3n qu3mica, la forma de la ecuaci3n de balance de masa se escribe [7]:

$$\mathbf{Entrada + Generaci3n - Salida - Consumo = Acumulado} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde los t3rminos de generaci3n y consumo, se refieren a ganancias y p3rdidas por componentes en presencia de reacciones qu3micas. Para los procesos de estado estable, todo lo que entra debe de salir, por lo tanto, el t3rmino acumulaci3n es igual a cero, y la ecuaci3n 2 queda:

$$\mathbf{Entrada + Generaci3n = Salida + Consumo} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Se reduce aun m3s para los casos en que no hay generaci3n (o consumo) de materia en el sistema:

$$\mathbf{Entrada = Salida} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Cuando se verifica una reacci3n qu3mica dentro del sistema, la ecuaci3n de la reacci3n y/o su grado de conservaci3n, tambi3n constituyen datos importantes para la resoluci3n del balance de materia [7].

Como en los sistemas de filtración no se verifica reacción química, y por lo tanto no hay generación ni consumo, solo acumulación de materia, la expresión de balance de materia aplicado, se reduce a:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = \text{Acumulado} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

2.4.- Eficiencia

La eficiencia un sistema se determina sobre la base porcentual de remoción de constituyentes no deseados presentes en el agua, según la ecuación:

$$\%E = \frac{P_E - P_S}{P_E} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

E : porcentaje de eficiencia de remoción.

P_E : concentración del parámetro de entrada (mg/l).

P_S : concentración del parámetro de salida (mg/l).

2.5.- Simulación hidráulica

La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias (dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos) para el funcionamiento del sistema.

La simulación de los sistemas de distribución de flujo puede entenderse, como el uso de una representación matemática del sistema real (denominado modelo matemático), con el que se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y

posiblemente ayudar a controlar el sistema utilizándose como la base en el cálculo hidráulico para simular los diferentes estados de carga que se producen en la red de distribución [20].

2.5.1.- Simulador Pipephase versión 9.1

Es un potente simulador de flujo de fluidos multifásicos en estado dinámico y estacionario empleado comúnmente para predecir presiones, temperaturas y líquidos estancados en pozos, tuberías y sistemas de distribución y recolección. Es utilizado para diseñar nuevos sistemas, supervisar sistemas de corrientes y para prevenir o solventar problemas de escala industrial; en fin realiza el estudio hidráulico en tubería y accesorios de líneas e incluye la optimización de sus capacidades.

Este programa combina una selección algorítmica comprobada con métodos de producción actualizados y programas de análisis técnicos para crear un eficiente diseño del campo petrolero y técnicas de planificación, con una extensa base de datos de propiedades físicas. Este simulador cubre el rango completo de fluidos encontrados en la industria petrolera, incluyendo los fluidos monofásicos y crudo, tan eficientemente como en mezclas compuestas [20].

2.6.- Fluido

“Un fluido puede definirse como una sustancia que no resiste, de manera permanente, la deformación causada por una fuerza y, por tanto, cambia de forma” [8]. Se considera que los gases, líquidos y vapores tienen las características de fluidos y que obedecen a muchas leyes comunes.

En los flujos de líquidos, las propiedades físicas del fluido se pueden asumir constantes. Con respecto a la densidad esto significa que el fluido es incomprensible y con respecto a la viscosidad del líquido que se satisfacen las condiciones de flujo

isotérmico. Cuando las condiciones de proceso se apartan sustancialmente de estos requerimientos, el análisis de los problemas de flujo de líquidos requiere un tratamiento especial.

2.6.1.- Velocidad media de flujo

El término “velocidad”, a menos que se diga lo contrario, se refiere a la velocidad media o promedio de cierta sección transversal dada por la ecuación de continuidad para un flujo estacionario [8]:

$$v = \frac{4}{A} = \frac{w}{A\rho} = \frac{w\bar{V}}{A} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

donde:

v = Velocidad media de flujo (m/min, pie/minuto).

A = Área de la sección transversal de tubería u orificio (m², pies²).

\bar{V} = Volumen específico de fluido (pie³/Libra).

w = Caudal (Kg/hora, libra/hora).

ρ = Densidad del fluido (libras/pie³).

2.6.2.- Velocidad de erosión

La velocidad de erosión o desgaste por abrasión en tuberías es proporcional a la velocidad y cantidad del flujo, y al tamaño y forma de las partículas contenidas en el. La resistencia a la abrasión de cualquier material es una función de la magnitud del flujo y las características de las partículas de escombros que se puedan presentar en la instalación.

Los términos utilizados para el cálculo de la velocidad de erosión son la velocidad de la mezcla, la cual se define como la suma de las velocidades superficiales de las fases de vapor y líquido [8].

2.6.3.- Caída de Presión en tuberías

Es la pérdida de la presión entre dos puntos de tubería, debido al rozamiento hidráulico. Es importante recordar que la pérdida de presión en tuberías "solo" se produce cuando el fluido esta en "movimiento" es decir cuando hay circulación.

La ecuación básica para el cálculo de caída de presión para líquidos en tuberías y accesorios es la ecuación de Bernoulli generalizada, la cual asume densidad constante [9]:

$$-\frac{F_2 \cdot \Delta P}{\rho} = \frac{\alpha \Delta \cdot (V_2)}{2 \cdot g_c} + \frac{g \cdot \Delta Z}{g_c} + F \quad (\text{Ec. 2.8})$$

donde:

F = Fricción o pérdida de cabezal (kPa.m³/kg, pie.lbf/lbm).

g = Aceleración de la gravedad (m/s², pie/s²).

g_c = Constante dimensional (1x10³ kg/KPa.m.s², 32.174 lb.pie/lbf.s²).

ΔP = Cambio de presión (kPa, psi = lbf/pulg²).

V = Velocidad del fluido (m/s, pie/s).

F_2 = Factor que depende de las unidades usadas (1y 144 en unidades métricas y unidades inglesas respectivamente).

ρ = Densidad (Kg/m³, lb/pie³).

α = Constante dependiente del perfil de velocidad ($\alpha = 1.1$ para flujo turbulento, $\alpha = 2.0$ para flujo laminar).

Δz = Elevación (m, pie).

La importancia relativa de los términos en la ecuación varía de aplicación a aplicación. Para tuberías horizontales de diámetro constante, es importante solamente el término de fricción colocado a la derecha de la ecuación 2.8. Para tuberías verticales o inclinadas se debe incluir el término de elevación y para cambios en la sección transversal el término de energía cinética.

Para líquidos se puede, en general, asumir viscosidad y densidad constante. Los líquidos no-Newtonianos son una excepción de esta regla y se discuten más adelante. Otra excepción la constituye el flujo no isotérmico debido a intercambio de calor o a producción o consumo de calor en el líquido por reacción química o a pérdida por fricción.

En los casos en que el flujo se puede suponer isotérmico a través de la sección transversal, pero no isotérmico a lo largo de la longitud de la tubería, la caída de presión puede ser determinada dividiendo la tubería en un número de tramos y calculando la caída de presión en cada sección. Cuando el flujo no se puede suponer isotérmico a través de la sección transversal de la tubería y la viscosidad depende fuertemente de la temperatura, debe usarse un método especial de cálculo.

Para el caso del flujo por tuberías de proceso de agua líquida, se tiene la siguiente referencia de valor máximo recomendado de caída de presión:

Tabla 2.1.- Caída de presión recomendada en tuberías de proceso de agua líquida [9]

CAÍDAS DE PRESIÓN RECOMENDADA	
Servicio	Pérdida Friccional de Carga Hidrostática (pie de liquido/100 pies de tubería)
Líneas de Transferencia:	1 a 2

2.7.- Tanques de almacenamiento

Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativamente bajas. Los tanques cilíndricos para el almacenamiento de líquidos a temperatura próxima a la presión atmosférica están normalizados según normas API y están fabricados en acero.

Los recipientes atmosféricos se usan en aquellos casos donde la presión interna de diseño es aproximadamente igual a la presión atmosférica. Los recipientes clasificados dentro de éste grupo se denominan Tanques de Almacenamiento a Presión Atmosférica. Estructuralmente estos recipientes están conformados por una pared de geometría cilíndrica y un techo que puede ser de geometría cónica o esférica. Para la selección de la presión de operación utilizada en el diseño de tanques de almacenamiento, no solo se toma en cuenta las características del proceso, también se consideran factores como los costos, control de emisión al ambiente y seguridad.

2.7.1.- Tipos de tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización. Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

- 1.- Cilíndricos Horizontales.
- 2.- Cilíndricos Verticales de Fondo Plano.

Los Tanques Cilíndricos Horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños. Los Tanques Cilíndricos Verticales de Fondo Plano nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas. Estos tipos de tanques se clasifican en:

- De techo fijo.
- De techo flotante.
- Sin techo.

2.7.2.- Códigos aplicables a la construcción de tanques de almacenamiento

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, incluyendo Venezuela, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "STANDAR A.P.I. 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y "STANDAR A.P.I. 620", para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a 1 Kg /cm² (14 lb / pulg²). El estándar A.P.I. 650 sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están construidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc., diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área

y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración. Este estándar cubre el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque. En lista de los materiales de fabricación, se sugieren secuencias en la erección del tanque, recomendación de procedimientos de soldaduras, pruebas e inspecciones, así como lineamientos para su operación.

VELOCIDAD RECOMENDADA Y ΔP MAXIMA PARA LIQUIDOS EN TUBERIAS DE ACERO AL CARBONO		
TUBERIAS PARA LIQUIDOS EN SERVICIO DE PROCESO Y EQUIPOS		
Tipo de Servicio	Velocidad Pie/seg.	ΔP Máximo Lppc/100 Pies
12. Suministro de Líquido para Torres	4 – 6	
TUBERIA PARA AGUA		
1. * Servicio General	2 – 16	1,5
Diámetro, Pulgadas		
1	2 – 3	
2	3 – 4,5	
4	5 – 7	
6	7 – 9	
8	8 – 10	
10	10 – 12	
12	10 – 14	
16	10 – 15	
20 y mayores	10 – 16	
2. Drenaje y Succión de Bomba	5 – 10	
3. Descarga de Bomba	5 – 10	
4. Suministro de Hervidor	8 – 15	
5. Tuberías para Aguas para Refinerías	2 – 5	2, 5
6. Agua de Enfriamiento	12 – 16	2
7. Del Condensador	3 – 5	

Tabla2.2.- Velocidad recomendada y caída de presión máxima para líquidos en tuberías de acero al carbono [11].

2.8.- Válvulas

“Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos”[10].

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

2.8.1.- Válvulas de control

Las válvulas de control son los elementos finales de control más usuales y se les encuentra en las plantas de proceso, donde manejan los flujos para mantener en los puntos de control las variables que se deben controlar.

La válvula de control actúa como una resistencia variable en la línea de proceso; mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo y, en consecuencia, el flujo mismo. Las válvulas de control no son más que reguladores de flujo [10].

2.8.2.- Partes de la válvula de control

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo [10]:

2.8.2.1.- Actuador

El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más

sencillas y de rápida actuaciones. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lb/pulg² en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 lb/pulg², produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

2.8.2.2.- Cuerpo de la válvula

Este esta provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1.- Procedimiento experimental

3.1.1.- Revisión bibliográfica

Esta etapa consistió en la recopilación de las bases teóricas del tema a estudiar. Se utilizaron todas las fuentes bibliográficas que estuvieron a la disposición, tales como manuales de operación, informes técnicos, reportes diarios y documentos referentes a la planta SAEN III. También se trabajó con libros técnicos, tesis de grado, normas de PDVSA e internet, para ampliar los conocimientos relacionados al tratamiento de aguas efluentes y al funcionamiento de plantas con dicho fin.

3.1.2.- Recolección de datos experimentales

Para conocer el comportamiento operacional de la planta SAEN III, se revisaron los reportes de tratamiento químico y los reportes diarios de los operadores de planta, de esta forma se observaron los parámetros críticos del proceso (turbidez, concentración de sólidos suspendidos y concentración de crudo total en agua) durante los meses previos al estudio. Además de esto, para un análisis más detallado y confiable de las condiciones del agua durante el proceso de tratamiento se procedió a caracterizar el agua, considerando los parámetros descritos anteriormente.

Para alcanzar las metas del programa de muestreo, los datos recolectados fueron:

Representativos: los datos deben representar las características del agua a estudiar o el ambiente de muestreo.

Reproducibles: los datos obtenidos deben poder ser reproducidos por otros investigadores siguiendo el mismo muestreo y protocolos analíticos.

Sustentados: la documentación debe estar disponible para validar el plan de muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.

Útiles: los datos deben poder usarse para encontrar los objetivos del plan de monitoreo.

Por otra parte se verificaron los planos de diseño de la planta, así como las fichas de datos de todos los equipos, bombas y válvulas encontradas en el sistema, todos mostrados en el anexo C, esto para obtener la información necesaria por el simulador Pipephase® versión 9.1, tales como caídas de presión de los equipos, diámetros, longitudes y altura de tuberías, además de las curvas de diseño de las bombas. Para confirmar la información de diámetros y longitudes de tuberías y adquirir datos no suministrados fue necesario realizar el levantamiento isométrico de la planta SAEN III.

3.1.3.- Metodología aplicada durante el muestreo

Para la recolección de las muestras primero se seleccionaron los puntos de muestreo, tomando en consideración que se debía analizar el comportamiento de los parámetros críticos en cada etapa del proceso, los puntos de muestreo seleccionados fueron los siguientes:

- Entrada a la planta.
- Salida de los hidrociclones.
- Salida de los IGF.
- Salida de los filtros cáscara de nuez.
- Salida de los filtros de lechos.

Para la captación, preservación e identificación de las muestras se aplicó el método propuesto por la Norma Venezolana COVENIN 270990 “Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Procedimientos para el Muestreo”.

Se recolectaron un total de seis muestras entre el periodo de abril y mayo de 2009, las muestras fueron captadas en envases de vidrio de 0,5 litros para el análisis de sólidos suspendidos y crudo total en agua respectivamente. Los envases para la captación de las muestras estaban limpios y rotulados al momento de realizar las tomas.

La variable turbidez del agua se analizó en sitio al momento de tomar las muestras, mientras que los sólidos suspendidos y el crudo en agua fueron analizados en el laboratorio de tratamiento químico, ubicado en las instalaciones de la planta RESOR en el Complejo Jusepín.

3.1.4.- Metodología usada para el estudio hidráulico

Para realizar el estudio hidráulico de la planta SAEN III, se utilizó como herramienta de trabajo el simulador de flujo de fluidos Pipephase versión 9.1. La simulación se realizó tanto para las condiciones actuales de operación o fase inicial (30 MBPD) como para la fase final (60 MBPD), utilizando las características del fluido para los que fue diseñada la planta. Según las condiciones de operación el agua del proceso es líquida, por lo que las propiedades del fluido se asumieron constantes, además de trabajar con tuberías de acero al carbono a lo largo de todo el sistema. Se utilizaron las curvas de diseño de las bombas P-101 A/B y P202 A/B, además de la ficha de datos de todas las válvulas encontradas en el sistema, para suministrar los requerimientos exigidos por el simulador respecto a estos equipos. La importancia de este estudio radica en asegurar que el tendido físico de las líneas satisfagan todos los requerimientos del proceso en las condiciones actuales y en el momento de la ampliación, es decir, cuando se haga efectiva la conexión hacia la planta RESOR.

3.2.- Equipos, materiales y sustancias

3.2.1.- Equipos

- Turbidímetro marca HACH modelo 2100P, rango 0-1000 NTU, desviación $\pm 2\%$

- Espectrofotómetro marca HACH modelo DR/2010, desviación ± 1 nm
- Horno CSF-1200 marca Carbolite con precisión de ± 5 °C.
- Balanza analítica marca Denver Instrument Company AA-200, rango de 0-100 g y con una precisión de ± 0.1 mg
- Filtro a presión marca NALCO con capacidad de 1000 ml.

3.2.2.- Materiales

- Envases de vidrio de 500 ml.
- Cilindros graduados de 10ml y 100 ml.
- Gotero plástico.
- Embudo de separación de 500 ml.
- Soporte universal.
- Aro metálico para soporte de muestra.
- Celdas HACH de 10 ml P/N 24954-02.
- Membrana filtrante (Milipore) de 0,45 micrones.
- Pinza.
- Beaker de 600 ml, 250 ml, 150 ml.

3.2.3.- Sustancias

- Agua destilada.
- Xileno grado analítico.
- Ácido clorhídrico concentrado grado analítico.

Los equipos, materiales y sustancias se encuentran ubicados y disponibles en la planta Recuperación Secundaria Oriente (RESOR) y en el laboratorio de Tratamiento Químico, ubicado igualmente en esta planta. Con una disponibilidad absoluta.

3.3.- Técnicas utilizadas

3.3.1.- Determinación de la turbidez del agua

Para la determinación de la turbidez se tomó en consideración la Norma ASTM D – 1889-99 [14]:

1. Encienda el turbidímetro HACH 2100P por lo menos 5 minutos antes del análisis presionando la tecla I/O del equipo.

2. Tome 15 ml aproximadamente de la muestra a analizar en una celda de muestreo limpia y seca.
3. Seque bien la celda con un paño de terciopelo (o toallin suave) para evitar rayas, humedad o huellas digitales de los dedos.
4. Introduzca la celda en el porta celda del equipo y tápelo.
5. Presione la tecla leer (READ) del equipo (en el panel frontal del equipo) y espere unos segundos.
6. El valor de la turbidez de la muestra aparecerá directamente en la pantalla del equipo expresado en NTU.
7. Reporte la turbidez expresada en NTU.

3.3.2.- Determinación de crudo total en agua

Para la determinación de la concentración de crudo total en agua se tomó en consideración la Norma COVENIN 2831-91 [14]:

1. Tome 250 ml de muestra en un cilindro graduado.
2. Acidifique el agua con 1ml de ácido clorhídrico (HCl) al 10% de concentración.
3. Añádalos en un embudo de separación de 500 ml de capacidad.
4. Añada 25 ml de solvente (tolueno)
5. Agite la mezcla por espacio de unos minutos y purgue los gases repita la operación varias veces.
6. Deje reposar por 5 min. Hasta que la fase orgánica se separe de la acuosa.
7. Separe la fase acuosa por la parte inferior del embudo de separación.
8. Filtre la fase orgánica con un embudo de vidrio y un algodón a la salida del embudo de separación.
9. Mida 10 ml de la fase orgánica en una celda usada para el espectrofotómetro DR/2010.
10. Prepare un blanco con 10 ml de tolueno en otra celda.
11. Programe el espectrofotómetro DR/2010 en el método de la absorbancia (0) y ubicar la longitud de la onda 450 nm, moviendo el dial colocado a la derecha del equipo.
12. Introduzca el blanco y presione la tecla “ZERO”. Ubicada en el panel frontal del equipo para hacer el cero del instrumento.
13. Posteriormente introducir la fase orgánica recogida y presione la tecla “READ” para determinar la absorbancia.
14. En la curva de calibración, ubique el valor leído de absorbancia en el eje de las ordenadas (Y).
15. Intercepte con la recta pendiente y leer en el eje de las abscisas (X) la concentración en ppm de crudo.

16. Multiplique el valor obtenido por 0,1.
17. Una vez realizado el análisis de la muestra, la fase acuosa resultante del análisis se desecha en el vertedero o drenaje de aguas servidas del Laboratorio y la fase orgánica debe verterse en el recipiente de desecho de tolueno.

3.3.3.- Determinación de sólidos suspendidos totales

Para la determinación de la concentración de sólidos suspendidos totales se tomó en consideración la Norma COVENIN 2861-877 [14]:

1. Purgue (abra la válvula de suministro de aire y deje pasar aire por unos 5 minutos) la línea de aire de suministro al equipo antes de usarlo.
2. Verifique que la presión de aire de suministro al equipo debe ser 20 psi.
3. Cierre la válvula de suministro de aire al filtro.
4. Pese un filtro Milipore de 0,45 micrones y anote el peso.
5. Coloque el filtro, ya pesado, en el equipo (filtro) y ajuste la tapa del mismo.
6. Con el equipo despresurizado añada 500 ml de muestra aproximadamente.
7. Verifique y asegúrese que al filtro no le quedan burbujas de aire.
8. Complete la cantidad de muestra hasta medir 1000 ml de la misma.
9. Cierre el equipo colocando el tapón en la parte superior del mismo asegure que no queden fugas de aire.
10. Abra la llave de paso de aire hacia el filtro y filtre entre 100 y 1000 ml de agua contenida en el filtro.
11. Cierre la válvula de aire de suministro y la llave de paso de aire que va hacia el filtro.
12. Despresurice el equipo abriendo cuidadosamente la llave de purga que esta en la base superior del filtro y el tapón que se encuentra en la parte superior del recipiente de este.
13. Destape el equipo y saque el filtro Milipore.
14. Coloque el filtro sobre un soporte de cartón absorbente y lleve al horno por espacio de media hora a $102 \pm 2^{\circ}\text{C}$ para su secado.
15. Saque el papel Milipore y colóquelo en un secador por espacio de 15 min.
16. Pese el filtro Milipore y anote su peso.
17. Calcule la cantidad de sólidos suspendidos totales a través de la fórmula:

$$TSS = \frac{(P_f - P_i)}{V} \cdot 10^6 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

donde:

TSS: sólidos suspendidos totales (mg/L)

P_f : peso final (gr)

P_i : peso inicial (gr)

V: volumen de muestra (ml).

3.4.- Datos experimentales

Tabla 3.1.- Caudales de entrada a la planta SAEN III

Fecha	Caudal (BPD)
02/04/09	22000
23/04/09	18000
09/04/09	30000
13/05/09	23000
18/05/09	22000
19/05/09	27000

Tabla 3.2.- Muestras obtenidas de crudo y sólidos suspendidos totales en los equipos de la planta SAEN III

Puntos de muestreo	Entrada planta		Salida Hidrociclón		Salida IGF		Salida filtros cáscara de Nuez		Salida planta	
	Crudo (ppm)	TSS (ppm)	Crudo (ppm)	TSS (ppm)	Crudo (ppm)	TSS (ppm)	Crudo (ppm)	TSS (ppm)	Crudo (ppm)	TSS (ppm)
02/04/09	1,55	10	2,24	10	3,42	20	1,34	12	1,92	10
23/04/09	11,68	127	11,5	114	15,05	60	12,34	84	11,3	46
09/04/09	22	32	14,5	36	12,6	40	10,4	30	6,7	24
13/05/09	6,55	60	7,24	58	6,68	42	5,53	64	5,71	34
18/05/09	3,34	56	3,95	36	2,34	16	5,16	32	2,95	38
19/05/09	19,31	43	15,23	29	16,07	30	12,5	38	5,13	33

3.5.- Muestra de cálculo

3.5.1.-Determinación de la caída de presión

El simulador Pipephase versión 9.1 suministra gran cantidad de información sobre el comportamiento del fluido dentro de la tubería, en el caso de la caída de presión se muestra este dato por cada dispositivo encontrado en cada tramo de tubería, por lo que es necesario para llevar acabo este estudio realizar una sumatoria de la misma.

El resumen del caso y el reporte gradiente de presión para cada tramo, se encuentran plasmados en los anexos A y B, para 30 MBPD y 60 MBPD respectivamente. Tomando como referencia el anexo A.2, donde se presentan los gradientes de presión obtenidos por cada dispositivo que forman el tramo IN_IGF, se procede a encontrar cual es la caída de presión total en este caso. Para lo que se utilizará la siguiente ecuación.

$$\Delta P_{total} = \sum \Delta P_{dispositivos} \quad (\text{Ec.3.1})$$

donde:

ΔP_{total} = Caída de presión del tramo (psi/ft)

$\Delta P_{dispositivo}$ = Caída de presión de cada dispositivo (psi/ft)

Entonces tomando los datos del anexo A.2, se tiene que:

$$\Delta P_{total} = \sum (0,002+0,002+0,002+0,002+0,002+0,002+0,002+0,002+0,002+0,002+0,002+0,002) \text{psi/ft}$$

$$\Delta P_{total} = 0,024 \text{psi/ft}$$

Una vez encontrada la caída de presión total del tramo es necesario obtener la longitud total del mismo, para lo que igualmente se utilizará una sumatoria y para ejemplificarlo el anexo A.1; aquí se presenta un resumen del caso, indicando cada tramo de tubería. Se localiza el nombre del tramo (Link Name) e inmediatamente la longitud medida (Measured Length), con estos datos se calcula la longitud total del tramo.

$$L_{total} = \sum L_{medida} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

donde:

L_{total} : longitud total del tramo (m)

L_{medida} : longitud medida (m)

Continuando con el tramo IN-IGF, se extraen los datos del anexo A.1 y se calcula la longitud:

$$L_{total} = \sum (1,05 + 4,45 + 0,45)m$$

$$L_{total} = 5,95m$$

La norma que aplica a la caída de presión en tuberías de plantas de proceso, se encuentra expresada en $ft_{liquido}/100 ft$, por lo que es necesario realizar una serie de transformaciones, empezando por llevar la longitud del tramo de metros a pies.

Sabiendo que 1 ft es equivalente a 0,30m, entonces:

$$L_{total} (ft) = \frac{1ft \cdot L_{total} (m)}{0,30m} \quad (\text{Ec.3.3})$$

Para el tramo IN-IGF, se tiene que:

$$L_{total} (ft) = \frac{1ft \cdot 5,95m}{0,30m}$$

$$L_{total} (ft) = 19,83 ft$$

Teniendo la longitud en las unidades apropiadas, se procede a obtener la caída de presión expresada en $ft_{liquido}$, se utilizará para ello la siguiente ecuación:

$$\Delta P(ft_{liquido}) = \frac{\Delta P(psi) \cdot 2,31 ft_{liquido} / psi}{Ge} \quad (Ec.3.4)$$

donde:

1psi: 2,31ft_{liquido}

Ge: gravedad específica del líquido (agua)

Para calcular la gravedad específica, se partirá de que los grados API que tiene el agua es 10, teniendo este conocimiento se puede utilizar la siguiente formula:

$$Ge = \frac{141,5}{131,5 + ^\circ API} \quad (Ec.3.5)$$

$$Ge = \frac{141,5}{131,5 + 10}$$

$$Ge = 1$$

Ya encontrada la gravedad específica del agua y con la caída de presión total del tramo IN-IGF, se puede emplear la ecuación 3.4:

$$\Delta P(ft_{liquido}) = \frac{0,024 psi / ft \cdot 2,31 ft_{liquido} / psi}{1}$$

$$\Delta P(ft_{liquido}) = 0,055 ft_{liquido} / ft$$

Teniendo todos los datos en las unidades requeridas, se procede al cálculo de la caída de presión en ft_{liquido}/100ft:

$$\frac{\Delta P(ft_{liquido})}{100 ft} = \frac{100 ft \cdot \Delta P(ft_{liquido})}{L_{total}(ft)} \quad (Ec.3.6)$$

$$\frac{\Delta P(ft_{liquido})}{100 ft} = \frac{100 ft \cdot 0,055 ft_{liquido} / ft}{19,83 ft}$$

$$\frac{\Delta P(ft_{liquido})}{100 ft} = 0,28$$

Con este resultado es posible comparar las caídas de presión obtenidas con la simulación en Pipephase versión 9.1 con la norma establecida referida al caso estudiado. Este procedimiento se aplicó a cada tramo y para los dos casos estudiados, y los resultados se encuentran plasmados en las tablas 4.2 y 4.4 para 30 MBPD y 60 MBPD respectivamente.

3.5.2.-Determinación de la eficiencia

La plantas SAEN III esta diseñada principalmente para la remoción de crudo y sólidos suspendidos presentes en el agua, por tal motivo se determinaron las eficiencias de los equipos que forman el sistema sobre la base porcentual de remoción de estos parámetros exclusivamente, mediante la ecuación 2.6, tomando los valores de la caracterización del agua a la entrada y a la salida de los hidrociclones para sólidos suspendidos mostrados en la tabla 3.2, se tiene lo siguiente:

$$\%E = \frac{P_E - P_s}{P_E} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$\%E = \frac{(127 - 114) ppm}{127 ppm} \cdot 100$$

$$\%E = 10\%$$

Se sigue el mismo procedimiento para el cálculo de la eficiencia de los equipo tanto en la remoción de sólidos suspendidos totales como en la de crudo, y los resultados de este calculo son mostrados en el capítulo 4, en la tabla 4.6.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.- Comparar la filosofía de diseño de la planta SAEN III con respecto a las condiciones operacionales actuales

Se estudiaron detalladamente las características de los equipos que forman la planta SAEN III, así como el sistema de retrolavado y el sistema de inyección de químicos, tomando como documento base la filosofía de diseño de la planta, para luego comparar esta información con las condiciones operacionales observadas en el periodo de la investigación. Aquí se muestran los resultados obtenidos.

4.1.1.- Características de alimentación

El agua proveniente del sistema de deshidratación de crudo de la Estación Principal Jusepín entra directamente al sistema de tratamiento de aguas SAEN III, pues se determinó mediante estudios realizados por el personal de tratamiento químico, que el agua cuenta con las características adecuadas para ser procesada por la planta, obteniéndose buenos resultados respecto a la remoción de crudo y de sólidos. Como se observa en la tabla 4.1, en el mejor de los casos, es decir, en condiciones normales de operación, el agua proveniente del sistema de deshidratación de crudo de la Estación Principal Jusepín, traerá consigo una carga de 24 ppm de sólidos suspendidos totales y 54 ppm de crudo.

De acuerdo a las características de diseño de la planta, el caudal de alimentación a la misma será de 30 MBPD de agua para las instalaciones ya existentes en el campo y 60 MBPD para su futura ampliación. Esta ampliación consiste en la instalación de una serie de equipos, con el fin de aumentar la capacidad de la planta y de esta forma incrementar el flujo de agua destinado a la inyección.

Tabla 4.1.- Características del agua de alimentación de la planta SAEN III [14]

Parametros	Condición normal (teórica)	Condición de operación (planta 15000)
Crudo (ppm)	54	67
Tss (ppm)	24	190
Temperatura (°F)	145	87,7
Diámetro de partícula	200-300 micras	-

Motivado al aumento de la producción de crudo del Distrito Norte fue necesario, a modo de estrategia, cerrar los pozos que presentan mayor corte de agua y colocar en funcionamiento aquellos pozos que presentarán mayor corte de crudo con bajo corte de gas, esto con el fin de no sobrecargar el tendido de tuberías existentes. Esta situación ocasionó que el caudal de agua proveniente del sistema de deshidratación de crudo disminuyera de manera considerable, situación que afecta directamente a la planta SAEN III, pues se venía manejando en promedio un caudal de 80 MBPD y en la actualidad se envía desde el sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín un flujo fluctuante de aproximadamente 40 MBPD en promedio, los cuales son recibidos por una línea de Ø16'' de donde se empalma la planta SAEN III mediante una línea de Ø12''. Esta inestabilidad en el flujo ocasiona problemas en la operación de la planta, debido a que las bombas P-101 A/B que alimentan a los hidrociclones deben mantener una presión de succión mínima de 0 psig a 20 psig, y un flujo promedio mínimo de 22 MBPD pues al presentarse bajo o alto flujo ó baja presión de succión la lógica de control de las bombas, las saca fuera

de servicio automáticamente dejando a la planta fuera de operación. Estos problemas de alimentación se vienen presentando desde principios del año 2009, lo que ha traído como consecuencia que la planta permanezca fuera de servicio.

Para mantener operativa la planta se decidió alimentar a SAEN III con agua de la planta 15000, pues existe la flexibilidad operacional como se observa en la figura 4.1. Esta agua presenta características muy diferentes al agua proveniente de deshidratación como se observa en la tabla 4.1, ya que la planta 15000 es una fosa atmosférica recolectora de aguas efluentes, aquí se mezclan las aguas de planta 24000, planta 9, fosa 1076, además de aguas de diversas plantas enviadas mediante camiones cisternas.

De acuerdo con los datos suministrados por el laboratorio de tratamiento químico, y como se muestra en la tabla 4.1, la temperatura promedio de esta agua es 31°C (87,7°F), con 67 ppm de crudo total en agua y 190 ppm de sólidos suspendidos totales. Como se puede observar estas condiciones difieren de las propuestas en el diseño de la planta, sobre todo respecto a los sólidos suspendidos. Esta situación trae como consecuencia el deterioro acelerado de los equipos pues la cantidad de sólidos suspendidos y de sólidos disueltos es mayor a la esperada, aumentando la posibilidad de formación de incrustaciones dentro de los equipos de la planta SAEN III. Trabajando con el agua de la planta 15000, se maneja un caudal promedio de 23 MBPD con una presión de succión en las bombas P-101 de 15 psig, lo que proporciona las condiciones necesarias para mantener en funcionamiento SAEN III.

4.1.2.- Hidrociclones (S-102 A/B)

La filosofía de diseño establece que la planta cuenta con dos hidrociclones cada uno con una capacidad de 30 MBPD, cuando el flujo de entrada es igual o menor a 30 MBPD se mantiene uno en operación y otro en espera. Para tener un funcionamiento eficiente del equipo se requiere que el agua a ser tratada por los hidrociclones entre con una presión de succión de 110 psig, para cumplir con esta condición se utilizan las bombas P-101 A/B.

El objetivo de los hidrociclones líquido - líquido es retirar el aceite del agua a tratar, mediante la separación de las fases. El aceite retirado por los hidrociclones es drenado por gravedad al tanque subterráneo T-601. En el caso de que el agua a tratar contenga bajas impurezas (aceite) se colocarán ambos hidrociclones fuera de servicio, mediante un desvío (bypass) ubicado después de las bombas P-101 A/B, que desarticula el sistema de desalaje de crudo del resto de la planta. Este equipo presenta baja eficiencia comparándolo con sus características de diseño, así lo demuestran los datos mostrados en la tabla 3.1, donde se observa que en los días de muestreo 02/04/2009, 13/05/2009 y 19/05/2009 la cantidad de crudo presente en el agua aumento a la salida de los hidrociclones, esto se atribuye al tiempo que estuvo fuera de funcionamiento el equipo y a no haber recibido el mantenimiento adecuado desde su puesta en funcionamiento.

Al momento de realizar esta investigación, fue posible presenciar el mantenimiento del hidrociclón S-102B, donde se encontró gran cantidad de lodo y de sólidos dentro armazón al igual que en los orificios de entrada de los hidrociclones como se observa en la figura 4.2, los cuales ocasionaron la obstrucción casi total del mismo, al estar bloqueadas las entradas de agua a los equipos es imposible que se cree el efecto vortice que hace posible la separación de las fases, además de limitar el flujo de agua requerido por los siguientes equipos de separación (unidades de flotación de gas inducido).



Figura 4.2.- Estructura interna del hidrociclón

4.1.3.- Unidad de Flotación de Gas Inducido (IGF)

Los IGF continúan con el proceso de remoción de crudo del agua, el proceso consta de dos unidades que reciben el agua proveniente de los hidrociclones con una presión aproximada de 37 psig. Cada IGF tiene una capacidad de 30 MBAD, por lo que se mantiene en la primera fase de la planta uno en operación y otro en espera. Desde la puesta en funcionamiento de la planta solo se ha mantenido operativa una de las dos unidades (V-201B). La filosofía de diseño establece que se debe agregar un producto químico, en este caso coagulante a la corriente de agua antes de los IGF para incrementar la eficiencia en la separación crudo – agua.

El agua aceitosa entra a las Unidades de Flotación de Gas Inducido, hace contacto con la placa difusora y es forzada hacia la parte superior de las celdas activas. Dentro de cada celda, el conjunto de turbinas e inductores inyecta gas, proveniente del sistema de gas combustible de la planta RESOR, a presión de 5 psig desde la parte superior del recipiente y lo dispersa como microburbujas en el fluido dentro de la celda. Las gotas de aceite que están presente en el agua se adhieren a las

burbujas de gas. Debido a esta adhesión, las gotas de aceite llegan a ser mucho más grandes y flotan hacia la parte superior del tanque. El crudo retirado por gravedad desde los IGF se envía al tanque subterráneo T-601. Al igual que los hidrociclones los IGF pueden ser puestos fuera de servicio a través de un desvío (bypass) en el caso de que el agua a tratar contenga bajas impurezas. Para el momento del estudio se observa un aumento de sólidos suspendidos totales y de crudo en el agua a la salida de los IGF's, como se evidencia en la tabla 3.2 el día 02/04/2009, están ingresando al equipo 2.24 ppm de crudo y están saliendo 3.42 ppm, la causa de hecho es la falta de mantenimiento del equipo, además de que la cantidad de crudo que esta entrando en este caso es mínima, y estos equipos están preparados para recibir hasta 1000 ppm de crudo.

A pesar de que estos equipos están diseñados para la eliminación de aceites presentes en el agua, también es posible la eliminación de sólidos debido a su mecanismo de trabajo, siempre y cuando se este dosificando el producto químico respectivo, por lo que es importante señalar que no se esta tratando el agua con el coagulante aguas arriba del equipo, además no se realiza el intercambio de IGF's como esta dispuesto en la filosofía de diseño, según esto debería de sacarse de funcionamiento cada 2 meses el equipo que este activo y alinear al proceso el que se encuentra en espera, este procedimiento debe realizarse mientras la planta este operando con los 30 MBPD (fase inicial).

4.1.4.- Filtros de cáscara de nuez (V-301 A/B)

La planta consta de tres filtros de cáscara de nuez (V-301 A/B) de 30 MBPD cada uno en operación normal, se incluyen tres bombas de alimentación P-202 A/B/C, las cuales son utilizadas para transferir el agua desde los IGF's ó a través de un desvío (bypass) proveniente de la descarga de las bombas de alimentación de los hidrociclones hacia los filtros cáscara de nuez. Esto lo plantea la filosofía de diseño,

pero en el campo se encuentran instalados y en funcionamiento dos filtros cáscara de nuez y dos bombas P-202 A/B. Estas bombas se utilizan para suministrar al agua a filtrar la presión requerida por los filtros (75 psig).

Como de observa en la tabla 4.2, los filtros de lecho cáscara de nuez están diseñados para tener una alta eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos y crudo. Además se debe señalar que cuentan con un arreglo “aguas abajo”, el Agua no filtrada entra al recipiente del filtro por el tope y baja lentamente a través del lecho para salir por el fondo del recipiente.

Tabla 4.2.- Eficiencia de diseño de los filtros de lechos de cáscara de nuez [14]

Filtro Cáscara de Nuez
Entrada Max. de crudo 50-100 ppm
Salida de crudo > 5 ppm
Entrada Max. tss 30 - 50 mg/l
Eficiencia de remoción 95% de partículas > 10 micrones (o 90% > 5 micrones)

Los filtros cáscara de nuez presentan actualmente problemas en la filtración pues se observa en la tabla 3.1, en los análisis de laboratorio realizados, que no remueven la cantidad de sólidos para los cuales fue diseñado el equipo, por el contrario se observa mayor cantidad de sólidos suspendidos a la salida de los mismos. El mismo comportamiento se evidencia respecto a la remoción de crudo obteniéndose valores por encima de los 5 ppm.

Teniendo en consideración el comportamiento observados en los filtros de lechos de cáscara de nuez se recomienda la realización de un lavado manual para

verificar las condiciones internas del equipo y de esta forma tomar las medidas que sean necesarias.

4.1.5.- Filtros Multimedia (V-101 A/B/C)

El agua que sale de los filtros de cáscara de nuez, es enviada a los filtros de lecho (V-101 A/B/C), conformado según la filosofía de diseño por cinco recipientes con una capacidad de operación entre 10 a 15 MBAD cada uno, tres bombas de retrolavado P-102 A/B/C y dos sopladores de aire B-102 A/B. En el campo se encuentran instalados y en funcionamiento tres filtros de lecho, dos bombas de retrolavado y dos sopladores de aire, debido a que el resto de los equipos se encuentran en procura para el proceso de ampliación de la planta SAEN III. Generalmente se encuentran dos filtros en servicio y uno en espera o en retrolavado.

Los filtros multilechos fueron los que presentaron mejores resultados en la remoción de crudo y de sólidos, aunque el rendimiento fue muy bajo en relación a sus características de diseño, estos equipos muestran las mismas características de eficiencia en su diseño que los filtros de cáscara de nuez mostradas en la tabla 4.2, por lo que igualmente se recomienda realizar mantenimiento a los equipos para constatar el estado de los medios filtrantes y de esta forma verificar si esta es la causa de la baja eficiencia de los filtros.

Los productos químicos que son dosificados en el agua son polielectrólitos, biocida I, biocida II y coagulante, inyectados en el cabezal de entrada de los filtros de lecho a una tasa predeterminada de acuerdo a las condiciones del agua de alimentación. En la práctica el agua no recibe ninguno de los tratamientos mencionados anteriormente, debido a que en las condiciones actuales de operación, la planta SAEN III se encuentra enviando el agua que sale de los filtros de lechos hacia la fosa L-1000 A/B, mientras se realiza la conexión hacia la planta RESOR para

inyección al yacimiento, por lo que se considera que aplicar el tratamiento químico al agua corresponde a un gasto innecesario del producto. Esta situación empeora por el hecho de que las unidades de filtración estas trabajando con el agua de planta 15000 que presenta con condiciones diferentes de las requeridas por el diseño de los equipos.

Estos filtros contienen tres capas de lechos filtrantes: uno de antracita de 0,46 m (18 pulgadas), otra de gránate fino de 0,46 m (18 pulgadas) y una capa de soporte de gránate grueso de 0,33 m (13 pulgadas). Estos lechos están seleccionados para obtener una remoción óptima de sólidos del fluido del proceso y deberán ser limpiados periódicamente de sólidos y aceites retenidos mediante un ciclo de retrolavado que inicialmente se programa una vez por día al arranque y el ciclo definido será determinado durante la producción. Para el momento del estudio los retrolavados se realizaban cada 48 horas aproximadamente para cada filtro, por problemas con disposición del agua hacia el tanque decantador del retrolavado T-602.

El agua que sale de los filtros de lecho es enviada a la fosa L-1000 A/B, fuente de alimentación de la planta Sistema de Aguas Efluentes Norte (SAEN), esto debido a que aun está en proceso de procura la adquisición de equipos que acondicionen el agua según las especificaciones de transferencia hacia RESOR para su posterior inyección, este proyecto forma parte de la fase final de la planta SAEN III.

4.1.6.- Sistema de aguas de retrolavado

El sistema de retrolavado esta formado por el tanque decantador de retrolavado (T-602), el recipiente de recolección de aguas aceitosas (T-601), el tanque de recolección de aguas de drenaje (T-703) y las camas de secado (A-702 A/B).

El agua de retrolavado proveniente de los filtros de cáscara de nuez (V-301 A/B) y la de los filtros de lecho (V-101 A/B/C) es recolectada dentro del tanque T-

602. Este tanque está diseñado para recibir el volumen de un ciclo y medio (1,5) de retrolavado de un filtro de cáscara de nuez y un (1) ciclo de retrolavado de un filtro de lecho. Aquí se separan los sólidos y los líquidos mediante decantación, los sólidos acuosos son enviados directamente a la cama de secado, mientras que el agua es reciclada a los IGF's.

En el recipiente de aguas aceitosas (T-601) se recolectan las aguas que drenan los hidrociclones y los IGF's y luego una vez que el recipiente alcanza el nivel máximo el agua aceitosa es enviada al tanque T-1501 que pertenece a las instalaciones de la planta SAEN. El recipiente de recolección de aguas de drenaje (T-703) recolecta las aguas del enjuague de los filtros de lecho y las recircula al sistema, mientras que los lodos acuosos son enviados a la cama de secado.

Las camas de secado son separadores de sólidos y líquidos, en la planta existen dos camas de secado donde se acumula sólidos concentrados provenientes de la descarga del tanque T-602. Una de las camas está en operación recibiendo el lodo que se va formando por el proceso de decantación, mientras que la otra está en proceso de secado, es decir, ya ha recibido una carga de sólidos concentrados y se encuentra drenando la mayor cantidad de agua posible. Para realizar el mantenimiento a las camas de secado deben acumularse los sólidos hasta dos meses y después se remueven manualmente.

La deficiencia del sistema de retrolavado se presenta principalmente en el tiempo necesario para la decantación de los sólidos en el tanque T-602, debido a que el PLC (control lógico programable) de planta tiene como permisivos para la realización de retrolavado de los filtros, que dicho tanque presente un nivel inferior al 70% y que hayan transcurrido dos (2) horas como mínimo después de los retrolavados, para realizar el proceso de decantación y desalojo de los sólidos del tanque T-602 a la cama de secado. Al no recibir el mantenimiento adecuado, las camas de secado tardan más tiempo de lo esperado el proceso de asentamiento del fango lo que

genera que sea imposible que se desalojen los sólidos decantados del T-602 y por lo tanto es imposible que el nivel del tanque disminuya para continuar con el proceso. Motivo por el cual no se realizan los retrolavados con la frecuencia necesaria, aumentando el tiempo de espera de los filtros a cuarenta y ocho (48) horas o más para poder retrolavarse.

Para mejorar las condiciones del sistema de retrolavado se recomienda realizar el mantenimiento respectivo a los tanques así como a las camas de secado y mediante pruebas verificar el funcionamiento eficiente del proceso, en el caso de que el problema persista será necesario estudiar la posibilidad de realizar cambios en el diseño del mismo.

4.1.7.- Sistema de inyección de productos químicos

Los productos químicos son inyectados en el sistema de tratamiento de aguas en puntos óptimos para lograr una mejor separación de agua – crudo y en el caso de sólidos muy finamente divididos o en su estado coloidal unirlos en aglomerados más fácilmente separables, o floculos más o menos densos.

Para la inyección de los productos químicos se utiliza un paquete que consta básicamente de dos tanques de almacenamiento de químico, junto con las bombas dosificadoras. Cada producto tiene su tiempo y forma de dosificación (continua – intermitente). De acuerdo a los resultados de las evaluaciones, como se muestra en la tabla 4.3, los químicos a ser usados en los diferentes procesos son: Surfactante, secuestrante de oxígeno, polielectrolito, coagulante, biocida I, biocida II, demulsificador reversa e inhibidor de corrosión. Los puntos de inyección de cada producto químico fueron seleccionados con el objetivo de asegurar un tratamiento eficiente.

De los tratamientos químicos mencionados anteriormente actualmente no se está inyectando ninguno a la planta, motivado a lo ya expuesto en la sección 4.1.5, lo que empeora la situación, ya que el agua proveniente de la planta 15000 tiene alta presencia de bacterias sulfato reductoras y condiciones fisicoquímicas muy severas. La importancia de la activación del sistema de inyección de productos químicos radica en que se aumentará el rendimiento de los equipos, pues se formarán, sólidos de mayor tamaño que serán muchos más fáciles de remover, también se estará alargando la vida útil de los equipos protegiéndolos de incrustaciones y de la corrosión.

Tabla 4.3.- Características del tratamiento químico aplicado al agua en la planta SAEN III [14]

Químico	Propósito	Dosificación	Punto de Dosificación
Hipoclorito de Sodio	Biocida Ayudante para	5 PPM	Aguas arriba de los filtros multimedia
Poli-electrolito	Floculante ayudante para los filtros	2 PPM, Continuo	Aguas arriba de los filtros multimedia
Coagulante	Floculante Ayudante para los filtros	1 PPM, Continuo	Aguas arriba de los filtros multimedia
Removedor de Oxígeno	Oxígeno Disuelto	10 PPM, Continuo	Aguas a bajo de los filtros Multimedia
Biocida I / II	Control de Bacterias	500 PPM, 4 Horas por semana	Aguas arriba de los filtros multimedia y Bombas P-202
Inhibidor de Incrustaciones	Control de las Incrustaciones en líneas	10 PPM, Continuo	Bombas P-101 y línea de descarga de las bombas de
Anti-Espumante	Prevención de espuma en los IGF	2 PPM, Continuo	Aguas arriba de los IGF

4.2.- Estudio hidráulico del proceso de planta SAEN III mediante simulación con Pipephase® versión 9.1

4.2.1.- Estudio hidráulico del proceso trabajando con 30 MBPD de agua

En esta etapa del estudio se procedió a realizar la simulación de la planta con los equipos existentes, es decir, para un flujo de 30 MBPD. Como se muestra en la tabla 4.4, se trabajó con los siguientes equipos:

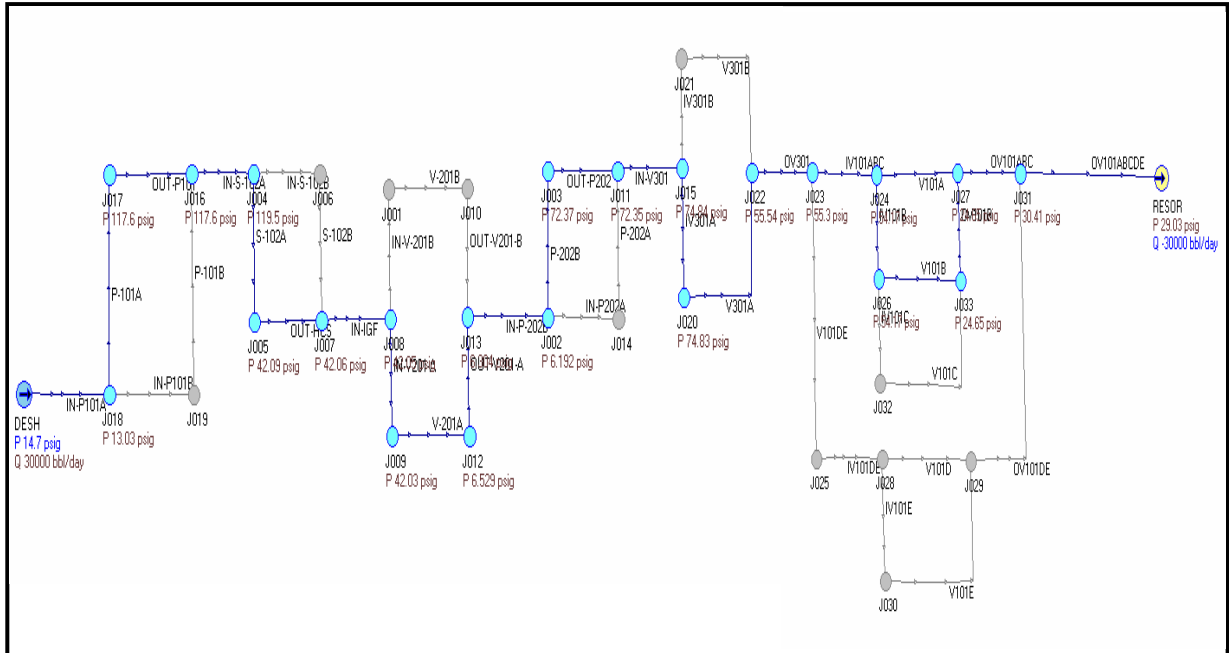
Tabla 4.4.- Cantidad de equipos utilizados en la simulación para 30 MBPD de agua

Cantidad	Equipo	Nomenclatura
1	Bomba centrífuga	P-101B
1	Hidrociclón	S-102A
1	IGF	V-201A
1	Bomba centrífuga	P-202B
1	Filtro de lecho de cáscara de nuez	V-301A
2	Filtro multilecho	V-101A/B

En la figura 4.3 se observa un esquema de la simulación realizada, los tramos resaltados en azul representa la trayectoria del fluido dentro de la tubería, así como los equipos que se encuentran activos cuando se trabaja con una capacidad de 30 MBPD. Lo primero que se debe mencionar antes de realizar el análisis de los resultados es que debido a que el simulador Pipephase no cuenta en su memoria con los equipos estudiados, por lo que en lugar de estos se colocaron válvulas reguladoras de presión de tal forma que se apreciara la caída de presión del equipo y de esta forma garantizar que la simulación represente la realidad.

Con respecto a la distribución del flujo a lo largo del sistema, en la tabla 4.5, se observa que los 30 MBPD de agua circulan y se distribuyen por los tramos de tuberías de manera uniforme, y adecuada a la capacidad de diseño de cada equipo. El ejemplo más notable de esto, son los filtros de lecho (V-101 A/B) por donde se desplazan 14761 y 15567 BPD respectivamente.

Según la guía de dimensionamiento de tuberías de proceso de PDVSA N° 90616.1.024, la velocidad de erosión es un importante límite superior de velocidad en tuberías de proceso, que equivale presumiblemente a una velocidad por encima de la cual ocurriría una erosión excesiva, con el peligro de que la tubería falle en las tes, codos, etc. Por esta razón es recomendable que las velocidades del flujo dentro de las tuberías no sobrepasen este valor. También existen otros criterios respecto a velocidad, que van a depender del diámetro y del material de la tubería. En la tabla 4.6, se presentan las velocidades máximas encontradas por cada tramo de tubería estudiado, y son comparadas con los rangos permitidos por las normas según el diámetro de la tubería y con la velocidad de erosión del agua, que para las condiciones en estudio, que es de 12,6 pies/s. Cuatro de los tramos que forman el sistema sobrepasan la velocidad recomendada y solo uno la velocidad de erosión del fluido, este tramo sería el que puede representar un problema a largo plazo.



**Figura 4.3.- Simulación hidráulica de la planta SAEN III para 30 MBPD
[simulador Piperphase® versión 9.1]**

Estos aumentos en las velocidades se deben a la presencia de reducciones en la tubería, pues al disminuir bruscamente el diámetro, la velocidad del fluido tiende a aumentar. Estas reducciones fueron necesarias para instalar válvulas reguladoras en el sistema, en el caso de los tramos S-102 A y P-202 que representan al hidrociclón y las bombas de alimentación de los filtros de lecho de cáscara de nuez se colocaron válvulas reguladoras de presión y de nivel respectivamente, y para los tramos V-101 A y V-101 B se debe a una bifurcación, para distribuir el flujo los dos filtros en servicio, e igualmente al cambio de diámetro en la tubería por una reducción. En este caso se recomienda el constante monitoreo de los puntos de atención, para evitar en la medida de lo posible que se extralimite la velocidad sugerida, es decir la velocidad de erosión, y de esta manera incrementar la vida útil de la tubería evitando el desgaste progresivo de la misma.

Con respecto a la caída de presión en el sistema, ésta se analizó igualmente por tramo de tubería y utilizando la caída de presión por fricción suministrada por la simulación, pues para tuberías rectas horizontales de diámetro constante éste es el parámetro más usado. Cabe destacar que las referencias sugeridas de caída de presión y mostradas en la tabla 4.6, se trabajan por cada 100 pies de tubería y en este caso solo se presentan tramos cortos. Y a pesar de esto, se observa como las caídas de presión están por debajo de los valores máximos recomendados, sobrepasando este valor solo el tramo S-102 A, que representa al hidrociclón y como se mencionó anteriormente esta esquematizado por una válvula reguladora de presión y es un tramo muy corto de tubería. Por tal motivo, se puede decir que la planta SAEN III para 30 MBPD cuenta con el funcionamiento hidráulico adecuado para funcionar.

Tabla 4.5.- Distribución de flujo en la planta SAEN III trabajando con 30 MBPD de capacidad

Tramo de tubería	Caudal (BPD)
IN-P101A	30331
OUT-P101A	30323
IN-S102A	30323
OUT-S102A	30330
IN-V201A	30330
OUT-201A	30333
IN-P202B	30333
OUT-P202B	30333
IN-V301A	30327
OUT-V301A	30329
IN-V101A/B	30329
V101A	14761
V101B	15567
OUT-V101A/B	30331

**Tabla 4.6.- Velocidades de flujo y caídas de presión en la planta SAEN III
trabajando con 30 MBPD de capacidad**

links	Dispositivo y ϕ Tubería	Velocidad Mezcla (pie/seg)	Velocidad Rec. norma (pie/seg)	Velocidad Erosional (pie/seg)	ΔP (ft liquido)/ 100 pies (Norma)	ΔP (ft liquido)/ 100 pies
IN-P101A	Pipe 059 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	0,51
P-101A	Pipe 069 (6")	9,82	7 - 9	12,6	1 - 2	1,92
0UT-P101	Pipe 074 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	0,85
IN-S102A	Pipe 047 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	0,53
S-102A	Pipe 030 (4")	22,28	5 - 7	12,6	1 - 2	55,40
OUT-HCS	Pipe 032 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	0,72
IN-IGF	Pipe 042 (10")	3,60	10 - 12	12,6	1 - 2	0,28
V201A	Pipe 003 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	1,95
OUT-V201A	Pipe 016 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	0,88
IN-P202B	Pipe 018 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	0,25
P202B	Pipe 023 (6")	9,82	7 - 9	12,6	1 - 2	0,41
OUT-P202	Pipe 054 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	1,34
IN-V301	Pipe 064 (10")	3,60	10 - 12	12,6	1 - 2	0,48
V-301A	Pipe 100 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	1,65
OUT-V301	Pipe 110 (10")	3,60	10 - 12	12,6	1 - 2	0,11
INV101A/B/C	Pipe 117 (10")	3,60	10 - 12	12,6	1 - 2	0,30
V-101A	Pipe 094 (4")	10,84	5 - 7	12,6	1 - 2	2,14
V-101B	Pipe 204 (4")	11,43	5 - 7	12,6	1 - 2	2,77
OV101A/B/ C	Pipe 197 (10")	3,60	10 - 12	12,6	1 - 2	0,11
OUTV101A/ B/C/D/E	Pipe 149 (10")	3,60	10 - 12	12,6	1 - 2	0,15

4.2.2.- Estudio hidráulico del proceso trabajando con 60 MBPD de agua

Para la segunda etapa del estudio, se realizó la simulación de la planta con los equipos existentes y con los que se encuentran en proceso de procura para la ampliación, utilizando un flujo de agua de 60 MBPD. Como se muestra en la tabla 4.7, se trabajó con:

Tabla 4.7.- Cantidad de equipos utilizados en la simulación para 60 MBPD de agua

Cantidad	Equipo	Nomenclatura
2	Bomba centrífuga	P-101A/B
2	Hidrociclón	S-102A/B
2	IGF	V-201A/B
2	Bomba centrífuga	P-202A/B
2	Filtro de lecho de cáscara de nuez	V-301A/B
4	Filtro multilecho	V-101A/B/D/E

En la figura 4.4, se observa mediante las líneas resaltadas en azul que todos los equipos se encuentran en funcionamiento para la simulación con 60 MBPD, con la excepción del tramo que representa al quinto filtro multilecho V101C, en la práctica este filtro estará en retrolavado mientras el resto se encuentran en funcionamiento.

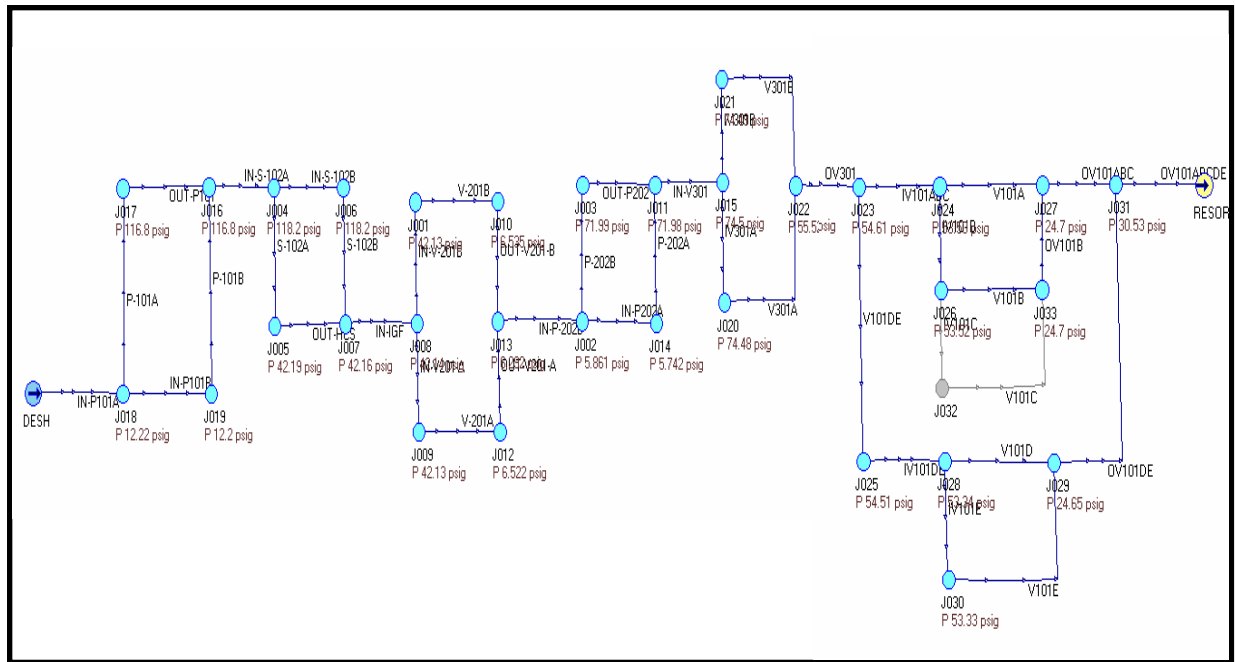


Figura 4.4.- Simulación hidráulica de la planta SAEN III para 60 MBPD
[simulador Piperphase® versión 9.1]

La distribución de flujo hasta el tramo OUT- V301, es decir a la salida de los filtros de lecho de cáscara de nuez, como se plasma en la tabla 4.8, se realiza uniformemente y respetando las capacidades de diseño de los equipos, pero a partir de este punto se observa una inconsistencia, esto específicamente en los filtros de lechos V-101 A/B/D/E. Aquí el flujo que circula hacia los filtros V-101 A/B y para los V-101 D/E es de 26924 BPD y 33734 BPD de agua respectivamente, esta distribución no esta siendo equitativa y esta sobrepasando la capacidad de los filtros en el caso de los V-101D/E. Este inconveniente no ocurre en la hidráulica real de la planta debido a que está contemplado que cada filtro tenga una válvula reguladora de flujo, a fin de garantizar que no entren al equipo más de 15 MBPD, como se observa en la figura 4.5 que representa el diagrama del equipo en campo. Al no poder simular esta condición se decidió dejar circular el flujo libremente y observar cual era el comportamiento del mismo, dando como resultado lo descrito anteriormente, esto

afirma que si es necesario la colocación de una válvula reguladora de flujo a la entrada de cada filtro de lecho.

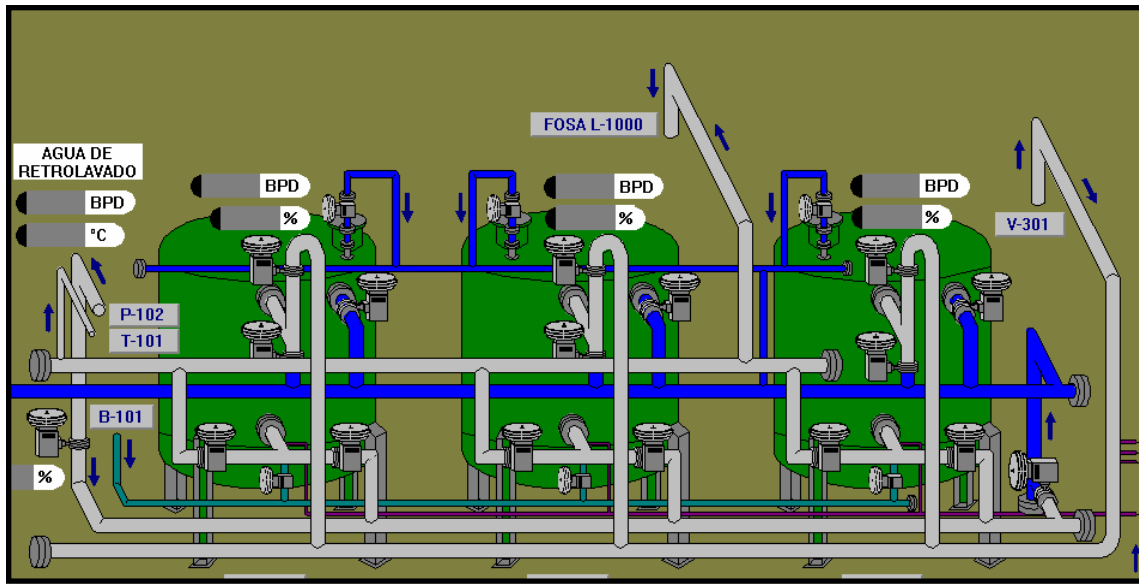


Figura 4.5.- Representación de los filtros multilechos [14]

Al estudiar el comportamiento de las velocidades, en los tramos IN-P101 A, P-101 A, P-101 B, S-102 A, S-102 B, IN-P202 B, V-101 A, V-101 B, V-101 D y V-101 E, se presentan velocidades más altas a las sugeridas según el diámetro de la tubería, como se describe en la tabla 4.9, pero solo se sobrepasa el valor de la velocidad de erosión en los tramos S-102 A, S-102 B, esto se debe a la presencia de las válvulas PV-1023 y PV-1033 quienes se encargan de regular la presión a la salida de los hidrociclones, como se observa en la figura 4.6, estas válvulas poseen un diámetro de 2 pulgadas, entonces al hacer pasar un flujo de 60 MBPD de agua, la velocidad aumenta bruscamente. Este factor puede ocasionar desgaste en la tubería por lo que se considera a este, un punto de atención. Se recomienda evaluar la posibilidad de revisar las tuberías y de ser necesario colocar un revestimiento interno que proteger a

la tubería de erosión o en última instancia cambiar estas válvulas por unas de mayor diámetro con el fin de permitir el libre paso de fluido.

Igualmente sucede con el resto de las velocidades fuera de los parámetros, se producen por la presencia de reducciones colocadas en las tuberías para la adaptación de válvulas reguladoras de nivel o de presión según sea el caso. También en los tramos mencionados se evidencian las mayores caídas de presión, esto motivado a que se están estudiando de tramos de tuberías muy cortos y la norma trabaja con base a 100 pies de tubería, además de eso a las reducciones encontradas y la caída de presión propia de los equipos.

Después de realizado todo este análisis es de resaltar que la planta SAEN III, cuenta con la hidráulica apropiada y segura para la operación con 30 MBPD e igualmente para 60 MBPD, teniendo en cuenta y en monitoreo constante los puntos de atención ya mencionados.

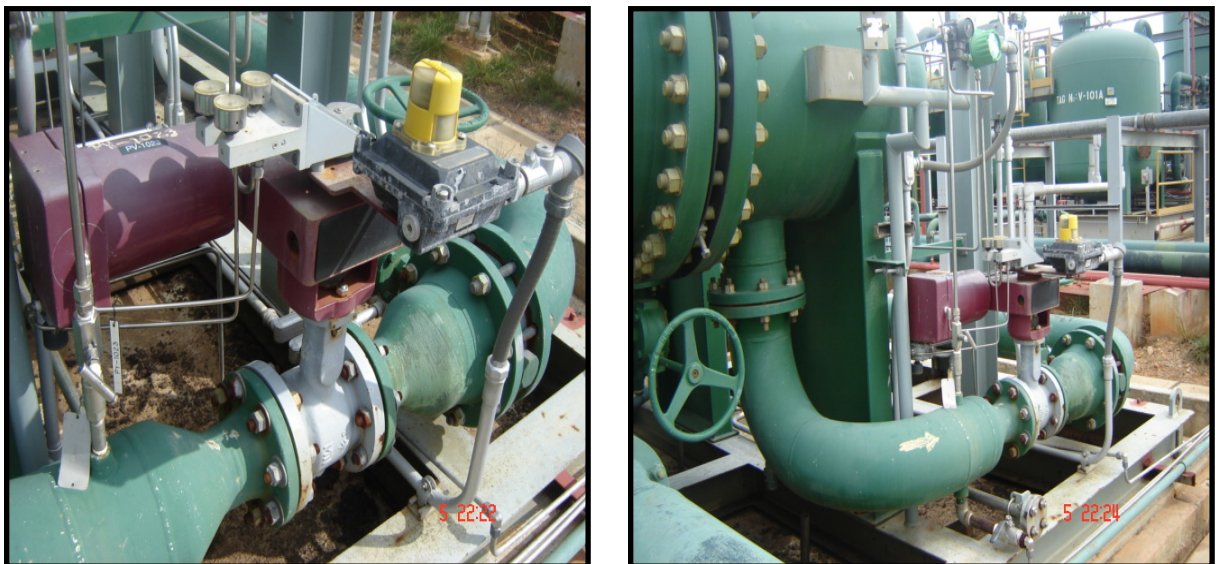


Figura 4.6.- Ubicación de las válvulas PV-1023 y PV-1033

Tabla 4.8.- Distribución de flujo en la planta SAEN III trabajando con 60 MBPD

Tramo de tubería	Caudal (BPD)
IN- P101A	60334
IN- P101B	30334
P-101A	30321
P-101B	30325
OUT-P101	30321
IN- S102A	60646
IN- S102B	29449
S-102A	31204
S-102B	29456
OUT- HCS	31204
IN-IGF	60660
IN- V201A	30729
IN- V201B	29931
V-201A	30732
V-201B	29934
OUT-V201A	30732
OUT-V201B	29934
IN- P202A	30142
IN- P202B	60667
P-202A	30136
P-202B	30519
OUT- P202	30519
IN- V301	60655
IN- V301A	30011
IN- V301B	29643
V-301A	31013
V-301B	29645
OUT- V301	60658
IN- V101 A/B/C	26924
V-101A	14194
V-101B	12732

Tabla 4.8.- Distribución de flujo en la planta SAEN III trabajando con 60 MBPD (continuación)

Tramo de tubería	Caudal (BPD)
IN- V101 D/E	33734
V-101 D/E	33734
V-101D	16839
V-101E	16839
OUT- V101 D/E	33736
OUT- V101A/B/C/D/E	60662

**Tabla 4.9.- Velocidades de flujo y caídas de presión en la planta SAEN III
trabajando con 60 MBPD de capacidad**

Tramo de tubería	Dispositivo y ϕ Tubería	Velocidad Mezcla (pie/seg)	Velocidad Rec. norma (pie/seg)	Velocidad Erosional (pie/seg)	ΔP	ΔP
					(ft liquido)/ 100 pies (Norma)	(ft liquido)/ 100 pies
IN-P101A	Pipe 059 (8")	11,35	8 - 10	12,6	1 - 2	1,66
IN-P101B	Pipe 063 (8")	5,68	8 - 10	12,6	1 - 2	1,13
P-101A	Pipe 069 (6")	9,82	7 - 9	12,6	1 - 2	14,08
P-101B	Pipe 076 (6")	9,82	7 - 9	12,6	1 - 2	14,08
OUT-P101	Pipe 074 (8")	5,67	8 - 10	12,6	1 - 2	0,85
IN-S102A	Pipe 048 (10")	7,20	10 - 12	12,6	1 - 2	1,72
IN-S102B	Pipe 024 (8")	5,52	8 - 10	12,6	1 - 2	1,61
S-102A	Pipe 030 (4")	22,92	5 - 7	12,6	1 - 2	66,85
S-102B	Pipe 038 (4")	21,64	5 - 7	12,6	1 - 2	62,30
OUT-HCS	Pipe 032 (8")	5,83	8 - 10	12,6	1 - 2	1,48
IN-IGF	Pipe 042 (10")	7,20	10 - 12	12,6	1 - 2	0,85
IN-V201A	Pipe 002 (10")	3,65	10 - 12	12,6	1 - 2	0,27
IN-V201B	Pipe 001 (10")	3,55	10 - 12	12,6	1 - 2	0,27
V201A	Pipe 003 (8")	5,75	8 - 10	12,6	1 - 2	1,95
V201B	Pipe 004 (8")	5,60	8 - 10	12,6	1 - 2	1,95
OUTV201	Pipe 016 (8")	5,75	8 - 10	12,6	1 - 2	0,88
OUT-V201B	Pipe 017 (8")	5,60	8 - 10	12,6	1 - 2	0,43
IN-P202A	Pipe 019 (8")	5,64	8 - 10	12,6	1 - 2	1,08
IN-P202B	Pipe 018 (8")	11,35	8 - 10	12,6	1 - 2	0,78

**Tabla 4.9.- Velocidades de flujo y caídas de presión en la planta SAEN III
trabajando con 60 MBPD de capacidad (continuación)**

Tramo de tubería	Dispositivo y ϕ Tubería	Velocidad Mezcla (pie/seg)	Velocidad Rec. norma (pie/seg)	Velocidad Erosional (pie/seg)	ΔP (ft liquido)/ 100 pies (Norma)	ΔP (ft liquido)/ 100 pies
P202A	Pipe 055 (8")	5,64	8 - 10	12,6	1 - 2	3,76
P202B	Pipe 020 (8")	5,71	8 - 10	12,6	1 - 2	3,76
OUT-P202	Pipe 054 (8")	5,71	8 - 10	12,6	1 - 2	1,34
IN-V301	Pipe 064 (10")	7,20	10 - 12	12,6	1 - 2	1,44
IN-V301A	Pipe 070 (10")	3,68	10 - 12	12,6	1 - 2	0,20
IN-V301B	Pipe 067 (10")	3,52	10 - 12	12,6	1 - 2	0,41
V-301A	Pipe 100 (8")	5,80	8 - 10	12,6	1 - 2	0,40
V-301B	Pipe 077 (8")	5,55	8 - 10	12,6	1 - 2	0,40
OUT-V301	Pipe 110 (10")	7,20	10 - 12	12,6	1 - 2	1,64
INV101A/B/C	Pipe 117 (10")	3,20	10 - 12	12,6	1 - 2	1,19
V-101A	Pipe 094 (4")	10,43	5 - 7	12,6	1 - 2	0,35
V-101B	Pipe 204 (4")	9,35	5 - 7	12,6	1 - 2	0,15
OUT-V101A/B/C	Pipe 197 (10")	3,20	10 - 12	12,6	1 - 2	2,08
V-101D/E	Pipe 122 (10")	4,00	10 - 12	12,6	1 - 2	0
IN-V101- D/E	Pipe 123 (10")	4,00	10 - 12	12,6	1 - 2	0,44
V101- D	Pipe 188 (4")	12,41	5 - 7	12,6	1 - 2	3,19
V101- E	Pipe 162 (4")	12,37	5 - 7	12,6	1 - 2	3,83
OUT-V101DE	Pipe 145 (10")	4,00	10 - 12	12,6	1 - 2	0,15
O-V101ABCDE	Pipe 149 (10")	7,20	10 - 12	12,6	1 - 2	0,46

4.3.- Eficiencias de los equipos de la planta SAEN III

La concentración de sólidos suspendidos es uno de los parámetros que determina la calidad del agua para inyección, mientras que la concentración de crudo es una de las variables críticas del proceso, ya que el crudo presente en el agua tiende adherirse a los poros de la formación, es decir, en el pozo productor o inyector, provocando taponamiento y por ende pérdida de inyectabilidad. Aquí radica la importancia de que los equipos de la planta de tratamiento cumplan con los valores de rendimiento para los que estos fueron diseñados, y que de esta forma, asegurar que el cliente reciba el agua a inyectar bajo los parámetros de calidad requeridos.

Como se explica en la sección 4.1.1, al momento de realizar el estudio se trabajó con el agua proveniente de la planta 15000, y no con el agua para la que fue diseñada la planta SAEN III y con la cual se realizaron todos los estudios referentes a la eficiencia de los equipos en cuanto a la remoción de crudo y sólidos suspendidos. Como se muestra en la tabla 4.10, se realizó una simulación con las variables de diseño que arrojó como resultado el rendimiento en la remoción, tanto de crudo como de sólidos suspendidos, y se puede observar a medida que el agua pasa por los distintos tratamientos este valor va en aumento, llegándose a cumplir la eficiencia recomendada para inyección. Debido a que en el momento de realizar este estudio no se trabajó con los parámetros descritos en el diseño, estos valores de eficiencia solo se utilizarán como referencia.

Tabla 4.10.- Rendimiento en remoción de crudo y sólidos de la planta SAEN III
[12]

Eficiencias	% crudo para 30 MBPD	% crudo para 60 MBPD	% TSS para 30 MBPD	% TSS para 60 MBPD
Hidrociclón	33	34	0	0
IGF	36	37	42	42
Filtros nuez	95	95	95	95
Filtro lecho	100	100	58	58

La planta SAEN III se puede dividir en dos subsistemas, el primero está diseñado principalmente para la remoción de crudo en el agua y el segundo sistema en la eliminación de los sólidos, por este motivo se determinó que el agua proveniente del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín, era la más indicada debido al contenido de crudo. Por otra parte el agua proveniente de la planta 15000 es la mezcla de diferentes efluentes con alto contenido de aceites y grasas, más que de crudo en sí, incluyendo en su composición gran cantidad de sólidos de diferentes dimensiones, además de presentar características físicas muy diferentes con respecto a presión y temperatura. En la tabla 4.11 se exponen los resultados obtenidos al calcular la eficiencia en cada equipo que fue estudiado, dejando claro que las condiciones no son las más deseadas para el funcionamiento de la planta. La presencia de resultados negativos afirma que la planta de tratamiento de agua no está cumpliendo con su objetivo y que a la salida de cada equipo el agua presenta mayor contenido de sólidos y de crudo que a la entrada de los mismos. Como se observa en la tabla 4.11 para el muestreo realizado el 18/05/09, se obtuvieron eficiencias negativas hasta de -121% en el filtro de lecho de cáscara de nuez en la eliminación de

crudo y de -100% para los sólidos suspendidos, comparándolo que el resto de las eficiencias calculadas para ese mismo día, se atribuye este hecho a que los filtros no recibieron los retrolavados antes de realizar el muestreo debido a la problemática expuesta en la sección 4.1.6.

Tabla 4.11.- Porcentajes de eficiencia de los equipos

Puntos de muestreo	Eficiencia de los Hidrociclones		Eficiencia de los IGF		Eficiencia de los filtros cáscara de nuez		Eficiencia de los filtros de lechos		Eficiencia de la planta SAEN III	
	Crudo (%)	TSS (%)	Crudo (%)	TSS (%)	Crudo (%)	TSS (%)	Crudo (%)	TSS (%)	Crudo (%)	TSS (%)
02/04/09	-45	0	-53	-100	60	40	-43	17	-24	0
23/04/09	2	10	-31	47	18	-40	8	45	3	64
09/04/09	34	-13	13	-11	17	25	36	20	70	25
13/05/09	-11	3	8	28	17	-52	-3	47	13	43
18/05/09	-18	36	41	56	-121	-100	43	19	12	32
19/05/09	21	33	-6	-3	22	-27	59	13	73	3

Una de las explicaciones a los resultados irregulares obtenidos, es que la planta SAEN III, debido a los problemas ya mencionados, permaneció aproximadamente 3 meses a principios del año 2009 fuera servicio y las muestras para realizar la caracterización, fueron recolectadas generalmente en periodos de prueba de arranque, utilizando el agua de la planta 15000, en los cuales la planta permanecía activa por un periodo de tiempo no mayor a 5 horas y nuevamente era sacada de servicio debido a problemas operacionales. Es decir, que al momento de recolectar las muestras, la planta no había alcanzado el estado estacionario, motivo por el cual las variables presentan este comportamiento.

En la figura 4.7, se observa que en el primer día de muestreo los valores obtenidos dieron en su mayoría negativos, excepto en los filtros cáscara de nuez que presentaron una eficiencia del 60 %. Como se explicó la planta estuvo aproximadamente tres semanas fuera de servicio, situación que justificaría estos resultados. El resto de los días el escenario fue mejorando respecto a la remoción de crudo pero igualmente se tienen valores de eficiencias negativos, siendo el más resaltante el del filtro cáscara de nuez en el quinto día de muestreo con un valor de -121%. Es importante recordar que el agua de la planta 15000 tiene una mezcla de aceites y grasas, y que en el laboratorio de tratamiento químico donde se realizaron los estudios de crudo en agua, la curva de absorbancia utilizada esta construida en base a las características del crudo de la Estación Principal Jusepín. Este hecho pudo influir en los resultados obtenidos aunque no de manera contundente. También se puede añadir que estos valores son resultados de las condiciones en las cuales fueron tomadas las muestras.

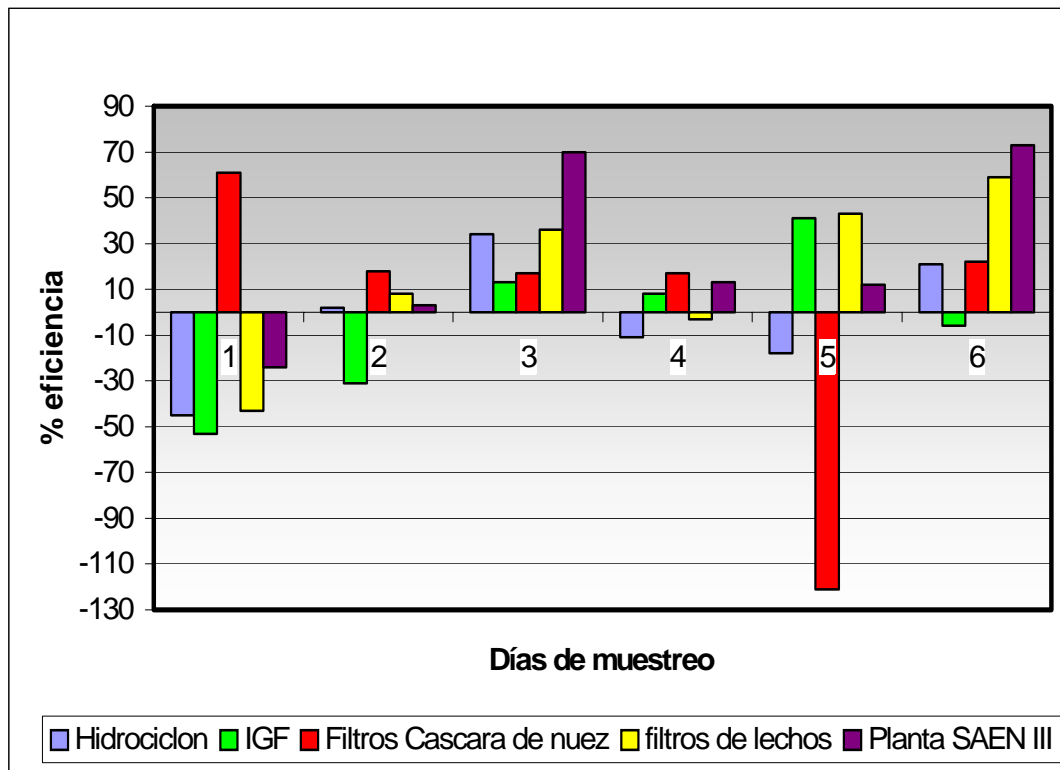


Figura 4.7.- Porcentajes de eficiencia respecto a la remoción de crudo en agua

Al observar los resultados obtenidos en el hidrociclón, se evidencia claramente como se ve afectado por la falta de mantenimiento, pues la eficiencia en la eliminación de crudo no superó el 34%, al encontrarse completamente obstruido por los sólidos concentrados en el interior del mismo es imposible realizar la separación de las fases de forma eficiente.

A pesar de la discrepancia observada en los datos de eficiencia y a que no presentan comportamientos similares a lo largo del tiempo, al discutir el rendimiento total de la planta SAEN III con respecto a la remoción de crudo, se tiene que a partir del segundo día de muestreo las condiciones van mejorando obteniéndose hasta un 73% de eficiencia.

En relación con los sólidos extraídos por los equipos que forman la planta SAEN III, como detalla la figura 4.8, tampoco se observa continuidad en el rendimiento de los mismos. El peor comportamiento se presenta en los filtros cáscara de nuez, donde la eficiencia alcanza el -100%. Recordando que los filtros están trabajando con un agua que tiene características diferentes, con mayor cantidad de sólidos que remover, y como se explicó en la sección 4.1.6, no cumplen con el ciclo de retrolavado, los resultados obtenidos presentan un comportamiento lógico.

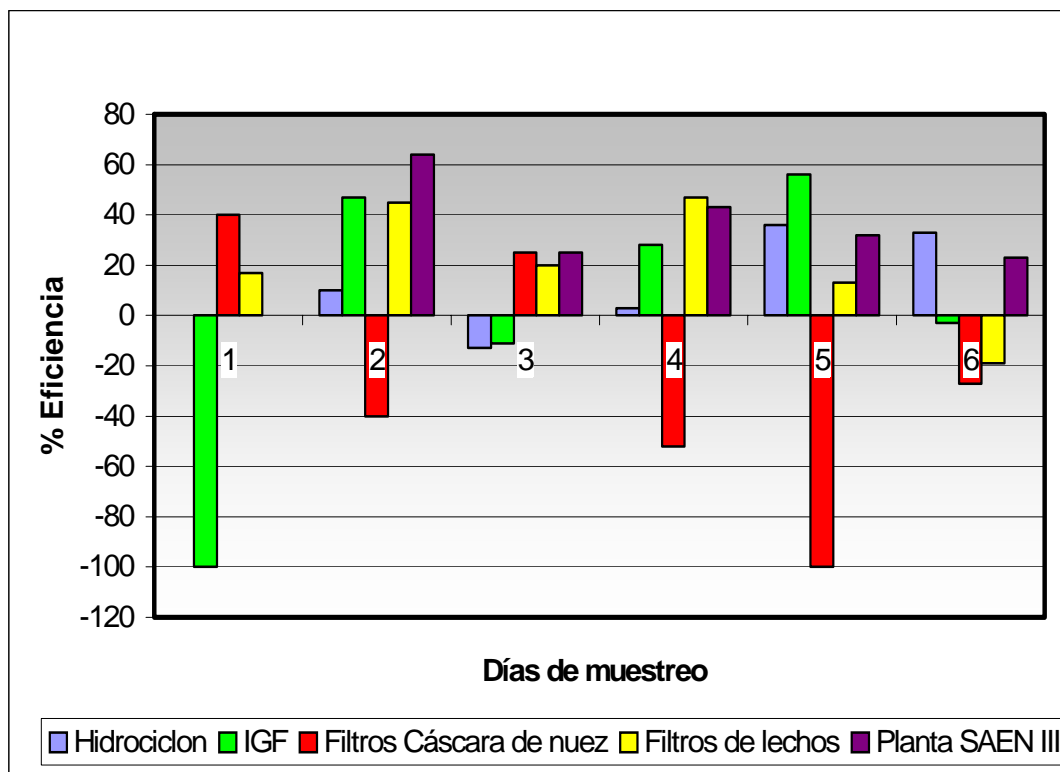


Figura 4.8.- Porcentajes de eficiencia respecto a la remoción de sólidos suspendidos en agua

A la salida de la planta, sí se contempla una continuidad en los resultados, con eficiencias positivas, aunque menor que las planteadas en las características de

diseño. Teniendo en cuenta las condiciones en las que se llevo acabo el estudio, todos los valores obtenidos tienen un comportamiento lógico considerando que no se alcanzo el estado estacionario. Teniendo en cuenta lo antes descrito, se sugiere que para mejorar la eficiencia de los equipos la planta SAEN III, esta reinicie sus actividades con el agua para la que fue diseñada, es decir, la proveniente del sistema deshidratador de crudo de la Estación Principal Jusepín, además de ajustar los tiempos de retrolavado en los filtros y cumplir con los ciclos de manera correcta, todo esto antes de considerar la ampliación de la misma.

4.4.- Alternativas para el mantenimiento de las condiciones adecuadas de alimentación a la planta SAEN III en diversos escenarios de operación.

Con el propósito de asegurar el funcionamiento continuo de la planta SAEN III, tanto en las condiciones actuales de operación, como para su futura ampliación, es de vital importancia solucionar los problemas de inestabilidad de flujo que se vienen presentado a la entrada de dicha planta. Siendo la fuente de alimentación el agua proveniente del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín, la planta SAEN III depende y se ve afectada directamente por las fluctuaciones que ésta pueda presentar, teniendo en consideración lo expuesto anteriormente con relación al cierre de los pozos con mayor corte de agua para resguardar la estabilidad del tendido de tuberías que transporta el crudo, no se está garantizando un flujo de agua adecuado para el manejo de SAEN III. Por estos motivos, se plantean las siguientes propuestas de mejoras.

4.4.1.- Diseño e implantación de un sistema de almacenamiento de agua

Con la finalidad de proporcionar a la planta SAEN III la autonomía necesaria para operar, sin considerar las variaciones que presente el flujo proveniente del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín, se propone la implantación de un sistema de almacenamiento que brindará a la planta SAEN III un

mínimo de 4 horas de independencia en el caso de interrumpirse el suministro de agua completamente a la misma, este hecho se podría presentar por problemas en la Estación Principal Jusepín o por la necesidad de enviar todo el flujo de agua hacia la fosa L-1000 A/B. Conociendo que el caudal máximo que puede operar la planta es de 60 MBPD, y considerando que 4 horas es un tiempo suficiente para solventar cualquier situación presentada en el suministro del flujo, se utiliza la siguiente ecuación para estimar el volumen del tanque:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (\text{Ec.4.1})$$

donde:

t : tiempo de residencia (h)

V : volumen del recipiente (barriles)

Q : caudal (barriles/h)

Despejando la ecuación 4.1, en función del volumen del recipiente:

$$V = Q \cdot t \quad (\text{Ec.4.2})$$

Para aplicar la ecuación es necesario transformar los 60 MBPD, entonces:

$$60000 \frac{\text{barriles}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 2500 \text{ barriles/h}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.2:

$$V = 2500 \text{ barriles/h} \cdot 4 \text{ h}$$

$$V = 10000\text{barriles}$$

Conociendo el volumen del tanque se plantea el diseño e implantación de dos tanques de almacenamiento de agua, se sugiere esto, para garantizar la continuidad del proceso, en caso de que sea necesario sacar un tanque de funcionamiento por problemas operacionales o por la realización de algún mantenimiento rutinario, el otro continuaría suministrando agua a la planta de manera constante. Los tanques tendrán una capacidad de 5000 barriles cada uno, que garantizarán la continuidad del proceso de la planta SAEN III.

Para percibir las dimensiones aproximadas de los tanques de almacenamiento planteados, se tomará como referencia la tabla 4.12. Aquí se muestran las principales características de los tanques verticales de gran capacidad, según las normas API 650. Es necesario transformar los 5000 barriles para utilizar la figura, siendo su equivalente 210000 galones, este valor no aparece entre las capacidades planteadas, por lo que trabajará en base al valor superior inmediato, en este caso 221088 galones. Entonces el tanque tendrá un diámetro de 30 pies (9,14 m) y una altura de 41 pies con $9\frac{3}{4}$ pulgadas (12,75 m) aproximadamente.

Para el mejor diseño, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado. Con respecto a esto, se hará mención a las características de diseño de los tanques de almacenamiento de agua de retrolavado (T-101), estos fueron elaborados en acero de carbón 5A-36. Éste material se utiliza sólo para espesores iguales o menores de 38 mm. (1 1/2 pulg.), es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque. Entre las ventajas más importantes del acero están:

Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.

Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura.

Rapidez de montaje.

Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas.

Resistencia a la fatiga.

Posible rehuso después de desmontar una estructura.

Los tanques contarán con los respectivos sensores y transmisores de nivel que se configurarán con la señal de alto y de bajo nivel en el PLC. Con los sensores y transmisores se realizan las operaciones de medición en el sistema de control, los tres medidores de nivel más importantes son el de diferencial de presión, el de flotador y el de burbujeo. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide, es una señal que avisa de que se ha detectado el valor límite, es decir, que en el proceso se ha sobrepasado una cantidad predeterminada; el transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede transmitir y, por lo tanto, tiene relación con la variable del proceso.

El sistema de control estará diseñado de tal manera que cuando el tanque de la señal de alto nivel las válvulas de compuertas ubicadas a la salida de la línea de deshidratación se abran completamente enviando el agua hacia la fosa L-1000 A/B y cuando se de la señal de bajo nivel en el tanque, se cierren las válvulas para que empiece el llenado del tanque.

Large Vertical, API Standard													
Dimensions		Capacity		Shell Plates (Butt Welded)									
Diameter	Height	42 gal per bbl	U.S. Gal	Bottom Plates	Ring 1	Ring 2	Ring 3	Ring 4	Ring 5	Ring 6	Ring 7	Top Angle	Roof Plates
21'0"	18'0 ³ / ₄ "	1,114	46,788	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "					3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
24'0"	24'0"	1,933	81,186	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "				3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
30'0"	24'0"	3,024	127,008	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "				3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
30'0"	29'11 ¹ / ₄ "	3,769	158,300	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "			3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
30'0"	35'10 ¹ / ₂ "	4,510	189,420	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "		3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
30'0"	37'10 ¹ / ₄ "	4,766	200,161	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "		3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
30'0"	41'9 ³ / ₄ "	5,264	221,088	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
40'0"	33'10 ³ / ₄ "	7,586	318,612	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "	³ / ₁₆ "			3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
50'0"	47'9"	16,700	701,400	¹ / ₄ "	0.35"	0.29"	0.25"	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "		3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
60'0"	39'10"	20,054	842,268	¹ / ₄ "	0.34"	0.27"	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "			3" x 3" x ¹ / ₄ "	³ / ₁₆ "
70'0"	40'1"	27,472	1,153,824	¹ / ₄ "	0.40"	0.32"	0.25"	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "			3" x 3" x ³ / ₈ "	³ / ₁₆ "
100'0"	40'0"	55,960	2,350,320	¹ / ₄ "	0.57"	0.45"	0.33"	¹ / ₄ "	¹ / ₄ "			3" x 3" x ³ / ₈ "	³ / ₁₆ "
150'0"	48'0"	151,076	6,345,192	¹ / ₄ "	1.03"	0.85"	0.68"	0.50"	0.33"	¹ / ₄ "		3" x 3" x ³ / ₈ "	³ / ₁₆ "

Tabla 4.12.- Características de tanques verticales de gran capacidad [13]

4.4.2.- Automatización de las válvulas de compuerta, ubicadas en la línea del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín

Las válvulas de compuerta se encuentran ubicadas en la línea de $\varnothing 16''$, por donde circula el agua proveniente del sistema de deshidratación, a la entrada de la fosa L-1000 A/B, como se muestra en la figura 4.9. La manipulación de estas válvulas distribuye en flujo de agua entre la planta SAEN III y la fosa L-1000 A/B. En campo actualmente se encuentran dos válvulas de compuerta de $\varnothing 16''$ que abren mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla y de esta forma permite el

paso del fluido. Este tipo de válvulas no son empleadas en la regulación de flujo y generalmente son accionadas manualmente, situación que dificulta el libre desempeño del proceso.

Debido a los problemas de inestabilidad de flujo ya planteados, y a que éstas, son unas válvulas de vital importancia en el sistema, se plantea la necesidad motorizarlas o cambiarlas por dos válvula de control e ingresarlas al sistema automatizado de la planta SAEN III, y de esta forma asegurar un flujo constante a la planta mediante el monitoreo de las mismas.



Figura 4.9.- Ubicación de las válvulas de compuertas de Ø16''

El proceso de motorización de las válvulas de compuertas consiste en la colocación de un actuador que puede ser neumático, eléctrico o hidráulico. Con esto, no sólo se evita la compra de una válvula nueva y más costosa, sino también las

modificaciones a la tubería que se podrían necesitar para instalar una válvula de otro diseño. La implantación de un actuador se justifica para válvulas que se deben abrir, cerrar o utilizar para estrangulación con frecuencia. El actuador con motor eléctrico y engranes es una buena selección por su gran adaptabilidad. En su forma más sencilla, como se muestra en la figura 4.10, consta de un motor eléctrico conectado por una caja de engranes con el vástago de la válvula. Los actuadores hidráulicos pueden ser sencillos, con un número mínimo de piezas. El líquido a presión actúa en un pistón doble que está conectado con el vástago de la válvula. Una ventaja de los actuadores hidráulicos es que son de apertura y cierre más rápidos que los de motor eléctrico y engranes. Se pueden graduar para tener cierre casi instantáneo, mientras que el actuador con motor eléctrico típico tiene un ciclo de cierre de 10 a 60 segundos o más si es necesario.

Sí se decide cambiar las válvulas de compuerta, es necesario la utilización de una válvula que satisfaga todas las necesidades del sistema. En la selección de las válvulas influyen muchos factores y es preferible tener como referencia un sistema que facilite la selección. Se deben tener en cuenta, como mínimo las siguientes características básicas: tipo de válvula, materiales de construcción, capacidades de presión y temperatura, material de empaquetaduras y juntas, costo y disponibilidad. Las válvulas de control son el regulador básico en cualquier proceso en que se manejen corrientes de fluidos. Por ello, hay que conocer a fondo los diferentes tipos de estas válvulas y sus características de flujo. Esto permite satisfacer las condiciones del proceso y tener la instalación correcta en el sistema para fluidos.

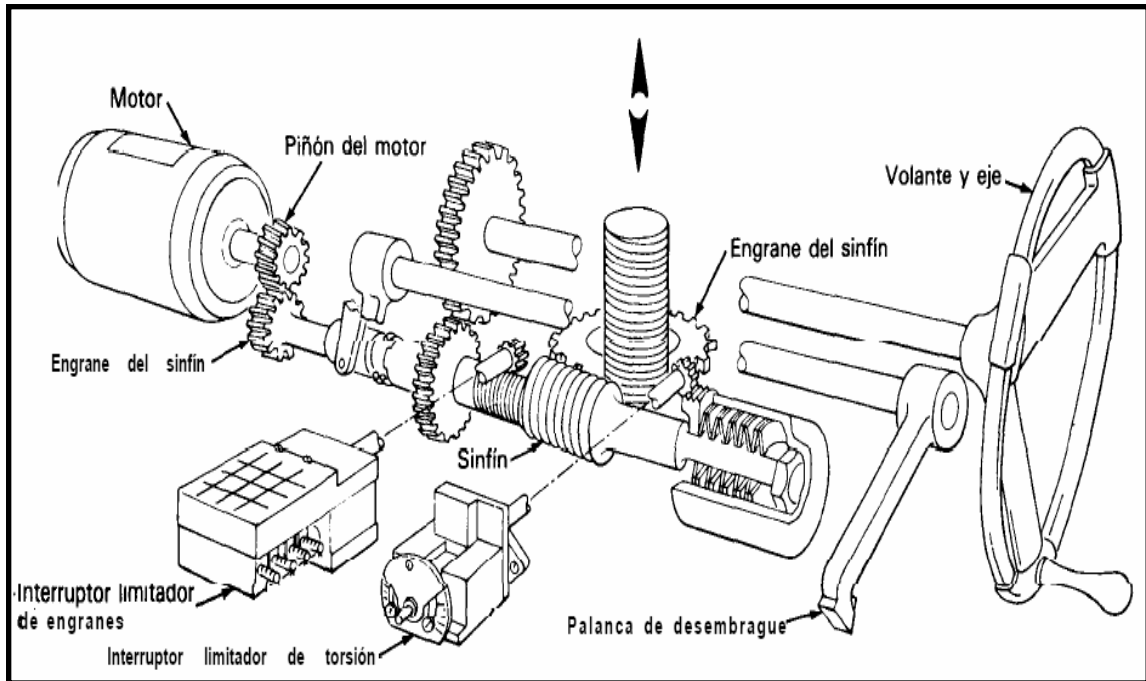


Figura 4.10.- Componentes de un actuador típico con motor eléctrico [10]

Las válvulas de control utilizadas en SAEN III para regular el flujo son válvulas mariposa y estas se han adaptado perfectamente a los requerimientos, teniendo en cuenta esto, se sugiere la sustitución de las válvulas de compuerta por dos de este tipo. Las válvulas de mariposa son sencillas, de poco peso y de bajo costo, además son adecuadas para servicio de paso y cierre o de estrangulación y tienen bajas pérdidas por fricción del líquido. Son adecuadas en especial para grandes volúmenes de gases o líquidos a presiones bajas. Son una buena selección para pastas aguadas o líquidos con muchos sólidos en suspensión y no permiten la acumulación de sedimentos. Son de acción rápida, porque 1/4 de vuelta del vástago moverá al disco de la posición de apertura a la de cierre total.

Al momento de ingresar las válvulas al sistema automatizado de la planta SAEN III, es necesario hacer una serie de consideraciones, entre las principales, es

importante plantear como actuarán las válvulas en el caso de presentarse una falla en la energía que las accione. La posición más segura en falla de las válvulas en este caso es “abierta en falla”; es decir, cuando falle el suministro de energía, la válvula debe abrir paso al flujo hacia la fosa L-1000 A/B, y de esta forma se evitará un colapso a la entrada de la planta debido a la cantidad de agua que podría ser enviada y al tiempo que pudiera estar en falla la válvula.

Las válvulas estarán configuradas con la lógica de control de los dos tanques de almacenamiento de agua de la planta SAEN III, de tal forma que se garantice el llenado de continuo de los mismo y que se encuentre entre los niveles de funcionamiento que satisfagan las necesidades del proceso, por lo que sugiere un control de dos posiciones comúnmente llamado todo-nada o abierto-cerrado, como su nombre lo indica, el elemento final de control, en este caso las válvulas estudiadas, sólo ocupan una de las dos posiciones posibles:

Totalmente abierto (ON)

Totalmente cerrado (OFF)

El control de dos posiciones es relativamente simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos. Por lo que se sugiere que sea utilizado al momento ingresar las mejoras propuestas en esta investigación en el sistema de control de la planta SAEN III.

4.5.- Conclusiones

1. El flujo proveniente del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín, es el indicado para el funcionamiento adecuado de la planta SAEN III debido a las características que presenta el agua.

2. No se realizan los ciclos de retrolavados al sistema de filtración de la planta SAEN III, según lo estipulado en la filosofía de diseño.
3. No se esta aplicando el paquete de tratamientos químicos necesarios para mejorar la calidad del agua.
4. La planta SAEN III cuenta con la hidráulica apropiada para el funcionamiento con 30 MBPD y para la futura ampliación a 60 MBPD, teniendo en cuenta los puntos críticos del sistema.
5. Los equipos que forman la planta SAEN III, presentan baja eficiencia debido a que esta trabajando con el agua de planta 15000 y a que no se realizan los mantenimientos a los equipos en los periodos previstos.
6. Es de vital importancia la estabilización del flujo de entrada a la planta SAEN III, mediante la implantación de dos tanques de almacenamiento, además del cambio y la automatización de las válvulas de compuerta ubicada en la línea proveniente del sistema de deshidratación.
7. Dos tanques de almacenamiento de 5000 barriles proporcionaran una autonomía a la planta SAEN III de 4 horas mínimo.
8. Es necesario motorizar las válvulas de compuertas o sustituirlas por dos válvulas de mariposa e integrarlas al sistema automatizado de la planta SAEN III.

4.6.- Recomendaciones

1. Proporcionar a todo el personal de la planta SAEN III la información necesaria de los equipos que forman el sistema, esto mediante cursos y charlas técnicas con el fin de que los operadores conozcan el funcionamiento de los mismos.
2. No utilizar el agua de la planta 15000, para la puesta en funcionamiento de la planta SAEN III, debido a que las características de dicha agua es

mucho más agresiva, que la descrita según la filosofía de diseño de la planta.

3. En el caso de plantear la posibilidad de alimentar a la planta SAEN III con agua proveniente de planta 15000, es necesario realizarle un pre-tratamiento. Se recomienda estudiar que equipos, como por ejemplo desnatadoras o tanques decantadores se pueden utilizar, además de un tratamiento químico con biocida, coagulante y floculante principalmente.
4. Retomar la dosificación de químicos recomendadas para la planta SAEN III para mejorar la calidad del agua tratada.
5. Disponer de analizadores de proceso en este caso de sólidos suspendidos y crudo a la entrada y a la salida de la planta SAEN III, para tener un monitoreo constante de estas variables, que son las primordiales respecto a la calidad de agua para inyección.
6. Se debe realizar seguimiento a los puntos críticos de tuberías donde se presenta mayor velocidad de fluido para evitar el desgaste de las mismas.
7. Realizar el estudio hidráulico del sistema de retrolavado considerando los equipos que se encuentran en procura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mendez, B., **“Evaluación del proceso de filtración de la planta SAEN del Complejo Jusepín de PDVSA”**, Tesis de Grado. Ingeniería Química. Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui. Puerto la Cruz (2002).
2. Urbáez, H., **“Elaboración de una propuesta de mejoras operacionales en los sistemas de desalajo de sólidos y crudo en la planta de tratamiento de aguas efluentes SAEN”** Trabajo de Grado. Ingeniería Química. Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui. Puerto la Cruz (2004).
3. Verde, J., **“Análisis de la situación actual de la planta SAEN ubicada en el Complejo Jusepín de PDVSA”**, Tesis de Grado Ingeniería Química. Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui. Puerto la Cruz (2007).
4. Castro, L., **“Recuperación por inyección de agua”**. Yacimientos de petróleos. (2008). Disponible en: <http://yacimientos-de-petroleo.blogspot.com/2008/10/recuperacion-por-inyeccion-de-agua.html>
5. Tebutt, T., **“Fundamentos de control de calidad del agua”**. Editorial LIMUSA, México (1998).
6. Roberti, D., **“Operación unitaria filtración”**. Monografias.com. (2005). Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos55/operación-filtracion/operación-filtracion2.shtml>
7. Perry, R., **“Manual del Ingeniero Químico”**. Sexta edición, Tomo I, editorial McGraw-Hill, México (1992).
8. Creene, R., **“Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”**. Editorial McGraw-Hill, México (1990).

9. Norma PDVSA N° MDP-02-FF-03, **“Flujo en fase líquida”**. Caracas (1996).
10. Creene, R., **“Válvulas, selección, uso y mantenimiento”**. Editorial McGraw-Hill, México (1990).
11. Smith, C. y Corripio, A., **“Control automático de procesos”**. primera edición. Editorial Limusa. México (1991).
12. Norma PDVSA N° 90616.1.024, **“Dimensionamiento de tuberías de proceso”**. Caracas (1993).
13. Norma PDVSA N° F-201, **“Atmospheric storage tanks”**. Caracas (2000).
14. Gil, G. y Zelaya, M., **“Manual de operaciones SAEN III”**. Maturín.(2006).
15. Lozzi, E., **“Aguas industriales”**. El Prisma. (2005). Disponible en: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_quimica/aguasindustriales/
16. Gerencia de SHAC, **“Procedimiento de laboratorio manejo y procesamiento de agua plantas RESOR/SAEN”**. Maturín (2002).
17. Kemmer, F., **“Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”**. McGraw-Hill. Madrid (1989).
18. **Arellano, J.**, “Métodos de recuperación mejorada de petróleo con aditivos químicos”. **Monografías.com**. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos31/recuperacion-petroleo/recuperacion-petroleo.shtml>
19. **Escobar, H.**, “Procesos físicos unitarios” **Monografías.com**. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos12/tratag/tratag.shtml>

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	Aplicación de mejoras operacionales al proceso de tratamiento de aguas efluentes de la planta SAEN III, Complejo Jusepín, estado Monagas
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Carrillo G., Yeselin del V.	CVLAC:16.810.693 E MAIL:yeselin_carrillo_g@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Recuperación Secundaria, Eficiencia, Simulación Pipephase, SAEN III,

Condiciones operacionales, Caída de presión

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

La planta SAEN III, se encarga del tratamiento de aguas efluentes utilizadas para la recuperación secundaria del petróleo. Desde principios del año 2009, esta ha venido presentando problemas de inestabilidad en el flujo de alimentación proveniente del sistema de deshidratación de la Estación Principal Jusepín, además de observarse bajo rendimiento en la remoción de crudo y de sólidos suspendidos en los equipos que la conforman, por lo que esta investigación busca la aplicación de mejoras operacionales a la planta, con el propósito de que ésta se encuentre en las condiciones para manejar con eficiencia el agua dentro del sistema, tanto en las condiciones actuales de operación es decir para 30 MBPD como para la ampliación a 60 MBPD. Con este fin se realizó una comparación entre la filosofía de diseño y las condiciones de operación actuales de la planta, para visualizar si se están cumpliendo con los parámetros establecidos dentro del documento. Posteriormente se llevó a cabo un estudio hidráulico con el simulador Pipephase versión 9.1, donde se examinó detalladamente cada tramo de tubería, así como el comportamiento de las bombas y las válvulas que forman el sistema, observándose que se cuenta con una hidráulica que satisface las necesidades de la planta para las condiciones de 30 y 60 MBPD.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Patiño, Rayda	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	raydapatino@hotmail.com			
	E_MAIL				
Jiménez, Luis M.	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	jimenezlu@pdvsa.com			
	E_MAIL				
Millan, Maritza	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Amundarin, Milena	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	11	06
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Aplicación de mejoras operacionales.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x
y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Plantas de Gas y Agua/ PDVSA (OPCIONAL)

TEMPORAL: Ciento quince días (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/ Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al ARTÍCULO 44 del Reglamento de Trabajos de Grado, los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.

Yeselin del Valle Carrillo Gómez

AUTOR

AUTOR

AUTOR

Rayda Patiño

TUTOR

Maritza millan

JURADO

Milena Amundarain

JURADO

Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS