

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Título del trabajo

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE CRUDO DEL
SISTEMA DESALADOR EN REFINERÍA LA LIBERTAD**

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Petróleo

Presentado por:

Frank Raúl Fernández Cuesta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a todas aquellas personas involucradas en mi vida estudiantil, pero en especial a mis padres por siempre creer en mis capacidades para lograr mis metas, por lograr motivarme a seguir adelante con este sueño y por guiarme en el camino de la honestidad y el respeto.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al ingeniero José Rosales e ingeniera Gissella Villón por aportar en gran parte de la investigación e información para así lograr la finalización del proyecto integrador; a mis tutores, los ingenieros Fernando Sagnay, Danilo Arcentales y Xavier Vargas por los correctivos y apoyo durante el periodo de investigación.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Frank Raúl Fernández Cuesta* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

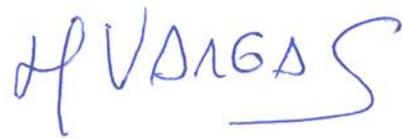


Frank Raúl Fernández
Cuesta

EVALUADORES

Ms.C. Fernando Sagnay

PROFESOR DE LA MATERIA



Ms.C. Xavier Vargas

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Durante la etapa de producción de hidrocarburo, este es sometido a varios procesos para lograr remover minerales e impurezas, así obteniendo un producto de mejor calidad y logrando comercializarse de mejor forma. Una de las etapas más importante es el proceso de desalado de crudo, el cual consiste en remover las sales presentes, que pueden ocasionar graves daños en las facilidades. Los objetivos principales son el análisis de datos actuales del proceso en la Planta Parsons de la Refinería La Libertad y proponer soluciones que logren resolver la baja eficiencia de desalado. Con el avance tecnológico año tras año en la industria petrolera, es inaceptable permitir que, en Ecuador, una de las dos refinerías en La Costa, tenga un muy bajo rendimiento.

Para lograr la meta establecida, se necesitó información del sistema desalador (condiciones de diseño y actuales, parámetros, etc.), proporcionada por la ARC. Se contó con la experticia del ingeniero operador, lo que facilitó el entendimiento y funcionamiento del desalador, incluyendo el uso de tablas para establecer la relación entre distintos parámetros evaluados.

Se logró diferenciar las condiciones operativas de las de diseño, se analizaron parámetros principales para obtener dos propuestas operativas para mejorar el desempeño del desalador; sin embargo, al existir cambios en las propiedades del hidrocarburo con el paso del tiempo, se optó por la instalación de un calentador.

La eficiencia de desalado se encuentra por debajo de la mitad y existe una relación directa entre la eficiencia de desalado y la temperatura.

Palabras Clave: Desaladora, Refinería, Temperatura, Demulsificante.

ABSTRACT

During the petroleum production stage, it is subjected to several processes to remove minerals and impurities, obtaining a better-quality product and managing to be marketed in a better way. One of the most important stages is the crude desalination process, which consists of removing the salts present, which can cause serious damage to the facilities. The main objectives are the analysis of current data of the process at the Parsons Plant of the La Libertad Refinery and propose solutions that can solve the low desalination efficiency. With the technological advancement year after year in the oil industry, it is unacceptable to allow, in Ecuador, one of the two refineries in La Costa, to have a very low performance.

To achieve the established goal, information on the desalination system (design and current conditions, parameters, etc.), provided by the ARC, was needed. The expertise of the operating engineer was counted on, which facilitated the understanding and operation of the desalter, including the use of tables to establish the relationship between different parameters evaluated.

It was possible to differentiate the operating conditions from those of the design, the main parameters were analyzed to obtain two operational proposals to improve the performance of the desalter; However, as there are changes in the properties of the hydrocarbon over time, it was decided to install a heater.

Desalting efficiency is below half and there is a direct relationship between desalting efficiency and temperature.

Keywords: Desalination plant, Refinery, Temperature, Demulsifier.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Sistema Desalador.....	2
1.4.2 Proceso de Desalación	3
1.4.3 Partes del sistema desalador	7
1.4.4 Tipos de desaladores.....	10
1.4.5 Variables Operativas.....	13
CAPÍTULO 2	16
2. Metodología.....	16
2.1.1 Proceso Químico de la Desaladora.....	20

2.1.2	Propuesta Operativa	21
CAPÍTULO 3		28
3.	Resultados Y Análisis	28
3.1	Promedio Anual de Análisis de Resultados Año 2019, 2020 y 2021	29
3.2	Optimización en el Manejo de Químicos.....	30
3.3	Optimización de la Temperatura en el Proceso de Desalado	38
CAPÍTULO 4		43
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	43
4.1	Conclusiones.....	43
4.2	Recomendaciones.....	44
BIBLIOGRAFÍA		45
APÉNDICES.....		47

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ARC Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

PTB Pounds of NaCl per Thousand Barrels

NaCl Cloruro de Sodio

RLL Refinería La Libertad

Ca Calcio

Mg Magnesio

SIMBOLOGÍA

PTB	Pounds of NaCl per thousand barrels
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
ft	Feet (Pies)
plg	Pulgada
psig	Pounds per Square Inch (Libras por Pulgada Cuadrada)
C	Celcius

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura de Molécula de Agua. [Martínez Villarreal, 2006].....	5
Figura 1.2 Partes del Sistema Desalador (CORTE LATERAL). [Ortega Rivera, 2011]	7
Figura 1.3 Corte Lateral de Desaladora Cieléctrica. [Ortega Rivera, 2011].....	10
Figura 1.4 Corte Lateral de Desaladora de Baja Velocidad. [Ortega Rivera, 2011]...	11
Figura 1.5 Corte Lateral de Desaladora Bieléctrica. [Ortega Rivera, 2011].....	12
Figura 2.1 Desaladora Parsons, vista anterior.	16
Figura 2.2 Desaladora Parsons, vista posterior.	17
Figura 2.3 Desaladora Parsons, vista lateral.	18
Figura 2.4 Bombas de la Desaladora Parsons.....	20
Figura 2.5 Diagrama de Proceso de Desaladora. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021].....	21
Figura 2.6 Calentador Vertical. [American Petroleum Institute, 1994]	23
Figura 3.1 Ingreso y Salida de Sal (PTB), Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019].....	32
Figura 3.2 Ingreso y Salida de Solidos (%), Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019].....	32
Figura 3.3 Ingreso y Salida de Agua por Destilación (%). [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]	33
Figura 3.4 Ingreso y Salida de Sal (PTB), Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020].....	34
Figura 3.5 Ingreso y Salida de Solidos (%), Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020].....	34
Figura 3.6 Ingreso y Salida de Agua por Destilación (%). [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]	35
Figura 3.7 Ingreso y Salida de Sal (PTB), Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b].....	36
Figura 3.8 Ingreso y Salida de Solidos (%), Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b].....	36

Figura 3.9 Ingreso y Salida de Agua por Destilación (%). [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]	37
Figura 3.10 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019].....	39
Figura 3.11 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020].....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Condiciones Actuales de Trabajo de Desaladora. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021]	18
Tabla 2.2 Mantenimientos Realizados a Desaladora. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021].....	19
Tabla 2.3 Características físico/químicas SR 1123. [Montalván & López, 2018].....	24
Tabla 2.4 Características físico-químicas DMO 14535X. [Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011]	25
Tabla 2.5 Características físico-químicas PAO 14715. [Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011]	26
Tabla 2.6 Propiedades físico-químicas DM 046. [Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011]	27
Tabla 3.1 Condiciones Actuales vs Condiciones de Diseño. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021a]	28
Tabla 3.2 Resultados Promediados de Análisis de Crudo Desalado Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019] ...	29
Tabla 3.3 Resultados Promediados de Análisis de Crudo Desalado Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020] ...	30
Tabla 3.4 Resultado Promediados de Análisis de Crudo Desalado Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b] .	30
Tabla 3.5 Parámetros de Evaluación del Demulsificante SR 1123, Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019] ...	31
Tabla 3.6 Parámetros de Evaluación del Demulsificante SR 1123, Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020] ...	33
Tabla 3.7 Parámetros de Evaluación del Demulsificante SR 1123, Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b] .	35
Tabla 3.8 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019].....	38

Tabla 3.9 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020].....	39
Tabla 3.10 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons Primer Cuatrimestre, Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]	40

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de producción del crudo dentro de la industria petrolera, existen varias etapas, las cuales son necesarias para mejorar el crudo extraído del yacimiento, ya que este no es netamente petróleo, al contrario, consigo trae minerales, sales, agua, etc. Una de las etapas esenciales en la refinación del aceite sucede en el sistema desalador, por el cual pasa el crudo por una válvula que se cierra levemente para generar turbulencia y que este se mezcle con agua limpia, luego de esto pasa al tanque desalador y consta de una parrilla interna la cual se carga eléctricamente lo que permite que las gotas de salmuera se separen del crudo, así generando una refinación del producto.

1.1 Descripción del problema

Durante una evaluación de parámetros del producto obtenido en la Refinería La Libertad, se dio a conocer que estos valores del crudo no varían de una manera satisfactoria al pasar por el sistema desalador Parsons, lo cual indica un problema mecánico o de diseño. De esta manera se buscará mejorar la calidad del crudo implementando propuestas operativas, las cuales permitirán una mejor separación de las gotas de salmuera del crudo mejorando así ciertos parámetros.

1.2 Justificación del problema

Con el mal funcionamiento de la refinería en Esmeraldas, el proyecto fallido de la refinería del Pacífico y con una exigencia mayor con el paso de los años en lo que corresponde a la calidad del crudo extraído del subsuelo ecuatoriano, es necesario que se mejoren los procesos de refinación. Siendo la refinería La Libertad la única con un funcionamiento estable, se requiere intervenir en el sistema desalador ya que dentro de ese tanque se separa el crudo de la salmuera, producto que gracias a su gran contenido de sales oxida y daña el resto de tuberías y tanques.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar un análisis técnico y diseño de propuestas para la optimización de la calidad del crudo en el Sistema Desalador RLL.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Análisis actual del proceso del desalador de RLL.
2. Propuestas operativas para la potenciación de operación en el desalador de la planta Parsons.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Sistema Desalador

El sistema desalador consta de un proceso sencillo pero vital, ya que se basa en la eliminación de sales inorgánicas y demás minerales en reducidas porciones, por medio de la inyección a la corriente del petróleo ya deshidratado de agua pura o fresca (no contiene sales), ambos fluidos se “mezclarán” hasta llegar al tanque desalador. Más adelante se procede con la separación de crudo y salmuera mediante un proceso con electrodos, permitiendo así el rompimiento de emulsiones, con el fin de lograr los requerimientos especificados de contenido de sales y agua en el petróleo. (Ortega Rivera, 2011)

Las sales presentes en el hidrocarburo podrían ser:

- Cristales solubilizados en el agua emulsionada.
- Productos de corrosión.
- Parafinas e incrustaciones insolubles en agua.

Se logra reducir entre 0,2% y 1% el volumen de la fase acuosa en el hidrocarburo gracias a los procedimientos realizados dentro del sistema desalador como se explicó anteriormente, pero a pesar de lograr una deshidratación eficiente, el petróleo aún contiene agua remanente en muy pequeñas porciones y esta es medida en libras de cloruro de sodio por cada mil barriles de crudo limpio (LMB) o Pounds of NaCl per Thousand Barrels

(PTB, siglas en inglés). Por otra parte, la salmuera se encuentra en un rango de 20.000 y 150.000 ppm con respecto a su salinidad, teniendo similitudes al agua de mar por su contenido salino. (Ortega Rivera, 2011)

Existen variedad de problemas operativos y fallas que pueden ocurrir durante el proceso de desalado gracias a la presencia de sales en el crudo como:

- Taponamientos en platos de la fraccionadora.
- Reducción de flujo.
- Baja transferencia de calor en intercambiadores.
- Corrosión y envenenamiento en catalizadores.

1.4.2 Proceso de Desalación

1.4.2.1 Lavado de crudo

El proceso da inicio una vez que es inyectado a la corriente de crudo, agua pura, es decir, que pasa por un riguroso proceso de ósmosis inversa para que quede libre de sales minerales y la cantidad necesaria para llevar a cabo el procedimiento se encuentra entre el 2% a 7% del volumen entrante de crudo al desalador. El agua disuelve sales dentro del crudo al momento de realizarse la mezcla, esta capacidad será de mayor eficiencia siempre y cuando su salinidad sea menor a la de la salmuera que contiene el hidrocarburo. (Martínez Villarreal, 2006)

En si la fase acuosa debe cumplir con los siguientes requisitos:

- pH entre 6 y 8
- Bajo en sales
- 85 ppm CaCO₃ de dureza.

La dureza es parte importante ya que al mantener un valor menor o igual al indicado se evitan daños en los intercambiadores de calentador y contenido de sólidos.

1.4.2.2 Mezcla de agua de dilución y crudo

Durante esta etapa la principal meta es lograr que la mayor cantidad de sales contenidas en el crudo se diluyan en el agua inyectada, que es llevado a cabo en

un mixer o válvula mezcladora. Este proceso no es posible al 100% en la práctica, ya que trata de dos fluidos inmiscibles. En este proceso hay altas probabilidades de la formación de emulsiones (agua-petróleo), lo que resultaría en un mal desalado de crudo en caso de no realizar el proceso adecuadamente. (Martínez Villarreal, 2006)

Cabe recalcar que la eficacia del mezclado entre agua y las gotas, se deberá a la cantidad de agua de dilución, a las propiedades del crudo y los niveles de concentración de salmuera en su interior. Así mismo, no se puede inyectar grandes cantidades de líquido ya que existe un límite, especificado anteriormente. En caso de inyectar volúmenes mayores de líquido puede llegar a comprometer la calidad del crudo de manera desfavorable y la estructura del desalador como provocar taponamientos u oxidación de los equipos.

1.4.2.2.1 Emulsión

Para la formación de una emulsión es necesario 2 líquidos que sean inmiscibles entre ellos y se dispersa un líquido en otro, en forma de gotitas. La mayoría de hidrocarburos son inmiscibles con el agua, pero esto no asegura su estabilidad. (Schlumberger, n.d.)

Para la formación de una emulsión estable se requiere:

- Líquidos inmiscibles.
- Alta turbulencia para lograr que un líquido se disperse en gotitas en el hidrocarburo.
- Emulsificante.

1.4.2.2.2 Emulsificante

Son agentes que permiten la estabilidad de las emulsiones, los cuales cubren con una película en la interfase de las gotas de agua y crudo. Entre los usados con mayor recurrencia dentro de la industria petrolera se encuentran los asfaltenos, parafinas y resinas, se incluyen en la lista el zinc, hierro, carbonato de calcio y sulfato de amonio, que cumplen con la misma función. (Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011)

1.4.2.3 Deshidratación

Existen varios métodos para el desalado del crudo, como:

- Desalado por filtración
- Desalado químico
- Desalado por sedimentación
- Desalado eléctrico

De las cuatro opciones, la usada en la refinería de crudo La Libertad es la última. Este método se debe a la coalescencia de las gotitas presentes en el hidrocarburo y presenta un incremento con la aplicación de un campo eléctrico debido a la polaridad del agua, por lo que es útil para el tratamiento de emulsiones. (Martínez Villarreal, 2006)

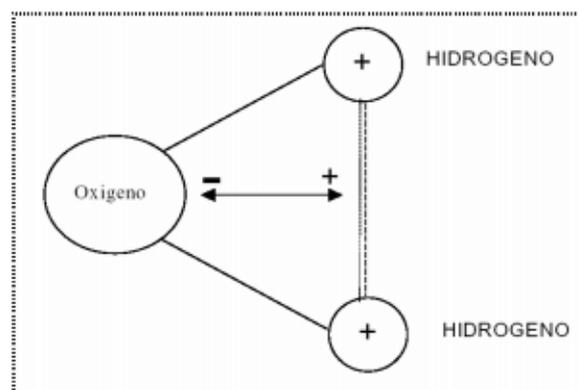


Figura 1.1 Estructura de Molécula de Agua. [Martínez Villarreal, 2006]

Se obtendrán gotas de mayor tamaño, es decir mayor coalescencia, al contar con una fuerza eléctrica de atracción lo suficientemente fuerte como para el rompimiento interfacial entre las gotitas de agua dentro del crudo y que a su vez permita la interacción efectiva entre fuerzas intermoleculares del líquido. (Martínez Villarreal, 2006)

$$F = \frac{KE^2r^6}{d^4}$$

Ec (1.1)

F = Fuerza de atracción [N]

$K =$ Constante dieléctrica; $3,09 \times 10^{-12} \left[\frac{N}{V^2} \right]$

$E =$ Campo eléctrico $[V/m]$

$r =$ Radio de gotitas $[m]$

$d =$ separación de centros de gotitas $[m]$

La siguiente ecuación muestra una relación estrecha entre d y r , de la cual se puede obtener el siguiente análisis, a medida que las gotas incrementan su radio y su proximidad disminuye una de otras, la fuerza de atracción entre ellas aumentará; por consiguiente, el tiempo de coalescencia disminuirá. El principal beneficio obtenido del uso de corriente alterna en el desalado eléctrico es la fácil deformación y oscilación de las gotas formadas, es decir; la ruptura de emulsiones presentes. Incluso puede llegar a optarse por el uso de un demulsificante, el cual provocaría mayor coalescencia dentro del campo eléctrico, podría decirse que es un proceso Químico/Eléctrico. (Martínez Villarreal, 2006)

1.4.2.3.1 Demulsificante

Como el nombre lo indica, la función principal es la de romper emulsiones y debido a su composición (polímeros o tensioactivos) logra evitar la mezcla de agua y crudo; es decir, la separación eficiente de estos 2 líquidos. Debido a su baja solubilidad el demulsificante pasa junto con la salmuera a separarse del petróleo. (David Guillermo, 2019)

1.4.3 Partes del sistema desalador

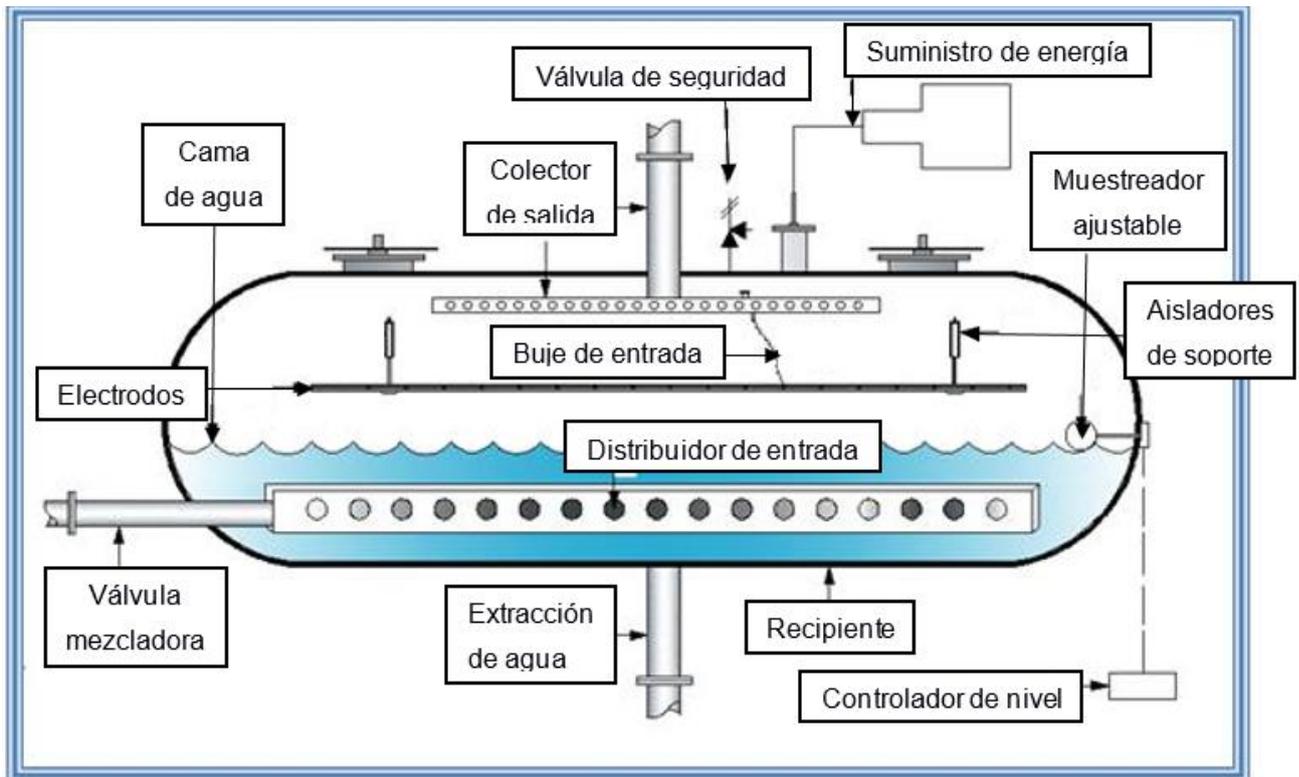


Figura 1.2 Partes del Sistema Desalador (CORTE LATERAL). [Ortega Rivera, 2011]

1.4.3.1 Recipiente

El principal objetivo es obtener bajos niveles de turbulencia en el interior para evitar que esta incida en el proceso de separación del líquido y petróleo. (Ortega Rivera, 2011)

1.4.3.2 Válvula mezcladora

Con la intención de tener en cuenta la variabilidad de la presión en la línea de crudo, vinculada con el nivel de emulsión necesaria (agua/petróleo), se localiza instalada una válvula con manómetros en ambos lados. La principal función de este artefacto, operada manualmente, es lograr el contacto de todas las gotas de salmuera mediante la mezcla de ambos líquidos. (Ortega Rivera, 2011)

1.4.3.3 Distribuidor de entrada

Permite que el flujo sea laminar, es decir; que la mezcla ingrese uniformemente en el tanque. Se logra un lavado extra del hidrocarburo al tener un ingreso por la parte inferior del nivel interfacial. En ciertas ocasiones de presencia de crudo pesado (10 - 22,3°API), es factible el ingreso de petróleo (ya emulsionado) por encima del nivel interfacial. (Ortega Rivera, 2011)

1.4.3.4 Colector de salida

En la imagen se puede apreciar su ubicación, la cual debe estar lo más elevada posible y cerca de la parte superior del tanque. Su función es la de aspirar el petróleo ya libre de sales, es por esto la importancia de su localización, ya que los electrodos se encuentran aproximadamente por encima de la mitad del recipiente. (Ortega Rivera, 2011)

1.4.3.5 Extracción de salmuera

Es simplemente el canal por el cual saldrá el agua salada del tanque, pero cuenta con una placa cuadrada cuya función es la de evitar que el petróleo tenga salida con la corriente de salmuera.

Se tiene un controlador de flujo el cual permite al operador saber cuánta agua es inyectada a la corriente de crudo, la cual es por partes. Durante la salida de la salmuera, existe intercambio de calor con el agua de lavado y pasa por una válvula que permitirá controlar el nivel interfacial. (Ortega Rivera, 2011)

1.4.3.6 Aisladores

La composición de estos aisladores es netamente teflón de grado eléctrico y su función es la de sostener a los electrodos.

1.4.3.7 Buje de entrada

Cable encargado de transmitir la energía eléctrica a los electrodos desde el transformador. Su composición es la de un cable normal, exceptuando su recubrimiento que se encuentra reforzado para soportar elevadas temperaturas y

grandes voltajes, además reside en una tubería plástica de aceite, cumpliendo con los requerimientos. (Ortega Rivera, 2011)

1.4.3.8 Electrodo

- Superior, conexión a tierra (pared del contenedor).
- Inferior, para mantener el balance se parte en 3 rejillas.

1.4.3.9 Suministro de energía

Es una corriente limitada, la cual cuenta con un sistema de seguridad el cual permite proteger el sistema desalador. Cuando el tanque no está lleno, se activa el interruptor de seguridad que evita que pase corriente a los electrodos en ese intervalo de tiempo. (Ortega Rivera, 2011)

1.4.3.10 Controlador de nivel

Al tener presencia tanto de agua como de petróleo, es necesario mantener un nivel estable de la interfase para evitar problemas mecánicos dentro del tanque. El controlador envía una señal a una válvula de control, que puede ser manejada manualmente si así lo requiere el operador, que se encuentra en la línea de extracción de la salmuera.

Existen diferentes niveles dentro del tanque, el agua no debe pasar cierta cantidad de niveles, para poder tener un buen rendimiento. Además de que durante el proceso puede existir la formación de una capa blanca en la interfase de agua y crudo, que simplemente puede ser desecha al abrir la válvula de control.

1.4.3.11 Muestreador ajustable

Permite realizar una toma de muestras a diferentes niveles dentro del tanque, lo que ayuda a mantener el control y locación del nivel interfacial.

1.4.3.12 Válvula de seguridad

Todo sistema de desalado cuenta con una válvula de seguridad, la cual se activa al momento de detectar altas presiones. La calibración de la válvula de seguridad

del Sistema Parsons se encuentra alrededor del 16% al 20% por encima de la presión de trabajo y la ubicación se encuentra en la parte superior del tanque.

1.4.3.13 **Colchón de agua**

Indica el nivel interfacial, el cual debe ser constante.

1.4.4 Tipos de desaladores

Existe una variedad de desaladoras que diferirán entre sí, con respecto al servicio requerido y a la repartición de la emulsión.

1.4.4.1 **Cieléctrica**

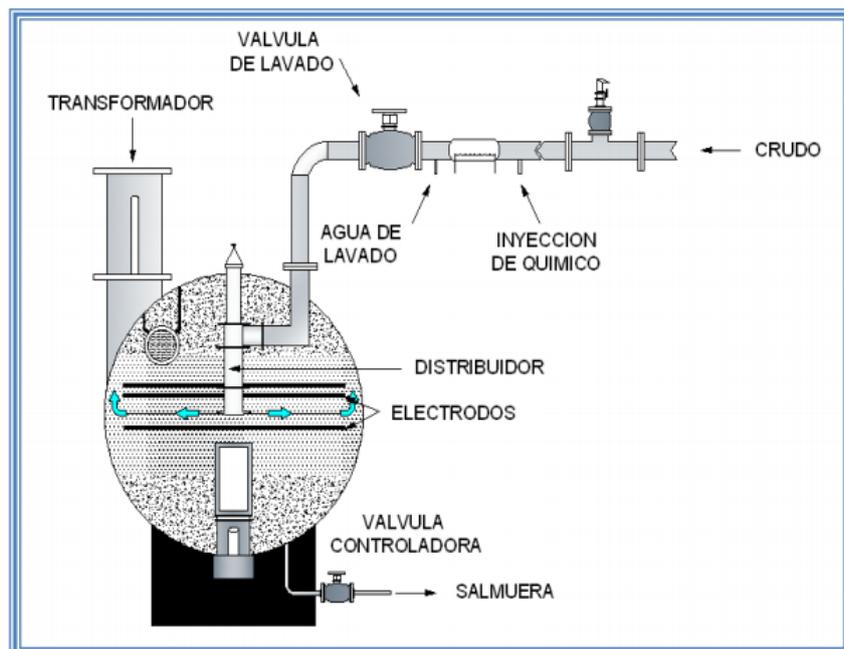


Figura 1.3 Corte Lateral de Desaladora Cieléctrica. [Ortega Rivera, 2011]

- Cuenta con un solo paso.
- Elimina casi por completo (90% aproximado) el $NaCl$ (cloruro de sodio).
- Usado en caso de existir crudos pesados, flujos viscosos y variantes (no laminar).
- No es eficiente en la eliminación de sales hidrolizables de Ca y Mg .

1.4.4.2 Baja velocidad

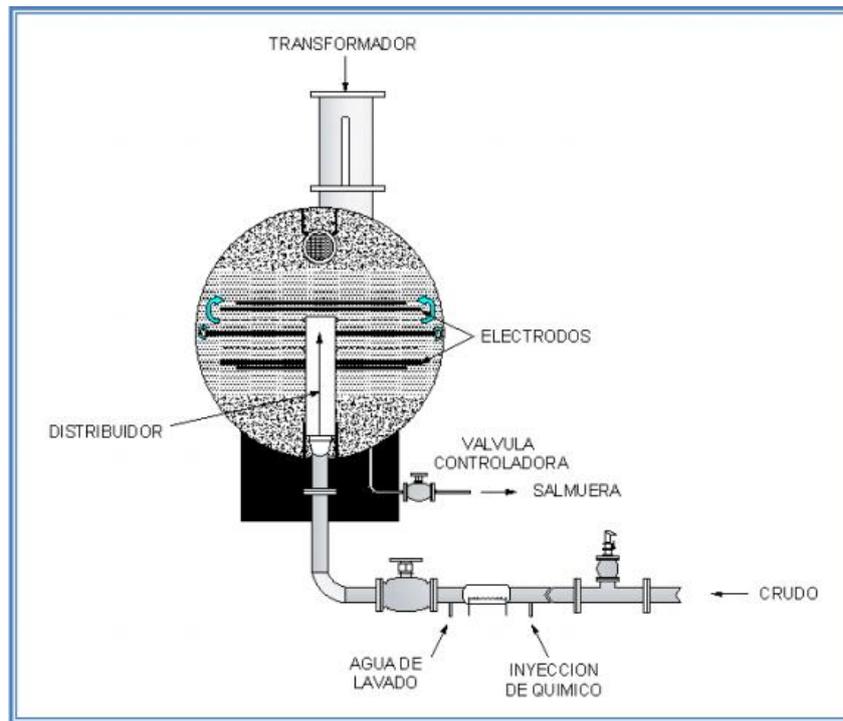


Figura 1.4 Corte Lateral de Desaladora de Baja Velocidad. [Ortega Rivera, 2011]

- Cuenta con 2 etapas, en la última se produce la inyección del agua limpia.
- El flujo dentro de esta desaladora es vertical.
- La emulsión es intervenida en la fase acuosa.
- Es óptima para el tratado de crudos con 22,3 °API en adelante (crudos ligeros e intermedios).
- Porcentaje de eliminación de sales llega a un 94-99% de eficiencia ($NaCl$, $CaCl$, $MgCl$ y sólidos remanentes), siendo muy superior en comparación a la Cieléctrica.

1.4.4.3 Bielétrica

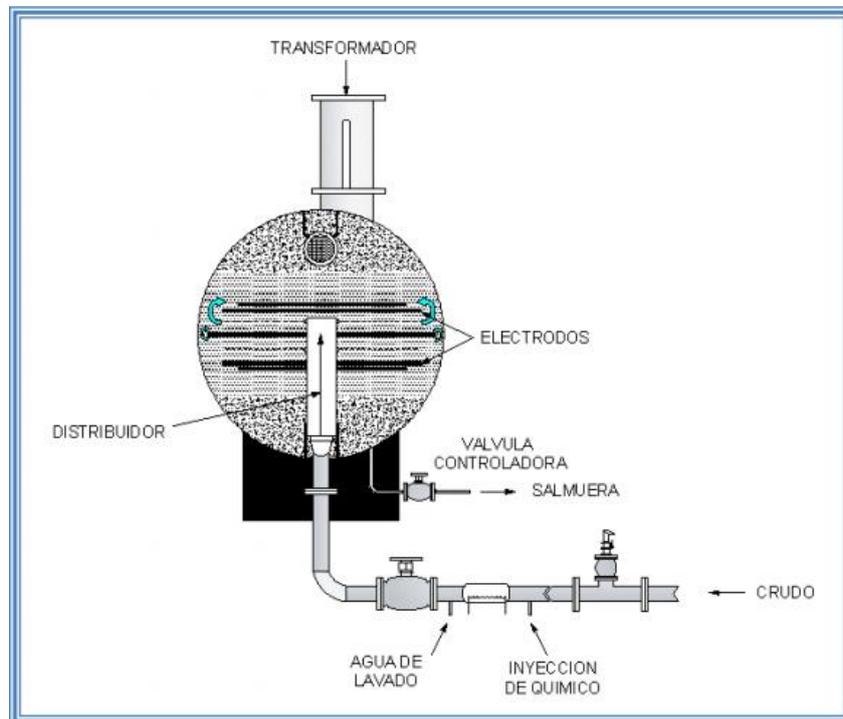


Figura 1.5 Corte Lateral de Desaladora Bielétrica. [Ortega Rivera, 2011]

- Eficiencia mayor a las mencionadas anteriormente (98-99%).
- Soporta mayores entradas de volumen.
- Entrada de más de 100 PTB y salidas menores a 1 PTB, en lo que respecta a las sales tratadas.
- Solamente permite la eliminación de sólidos en medidas menores al 16%.
- Mayor rendimiento en el tema de utilización de aditivos.
- Mayor eficacia al prevenir salida del petróleo en la salida de salmuera.

Dentro de la refinería La Libertad no se puede recurrir a cambios de maquinaria debido a la falta de liquidez en las empresas estatales a cargo. Sin embargo, la manera de mejorar el proceso de desalado sin hacer inversiones demasiado costosas, sería la utilización de químicos que provean un rompimiento de dichas emulsiones de manera más eficiente y lograr una mejor coalescencia del crudo y la salmuera.

1.4.5 Variables Operativas

Existen ocho variables a tomar en cuenta para la buena operación de la desaladora Parsons según la compañía diseñadora, que son:

1.4.5.1 Charge Rate

Durante el proceso de desalación de crudo, se utiliza cierta cantidad de energía, la cual puede aumentar hasta un 10% sin que afecte directamente al procedimiento llevado a cabo en el sistema. Inicia una serie de errores ya sobrepasado este límite, iniciando por las bombas del sistema. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

1.4.5.2 Temperatura del Crudo

Para obtener altos niveles de eficiencia de desalado de crudo, es importante controlar la temperatura del mismo, como se explicará en los siguientes capítulos. Para lograr buenos resultados es importante no calentar el producto dentro del desalador ya que se produciría un desgaste innecesario de la válvula de calor. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

Crudos a bajas temperaturas reduce la calidad de desalado, ya que existe un aumento en la viscosidad y a su vez aumenta el tiempo de coalescencia del agua dentro del fluido. Por otra parte, el incremento excesivo de temperatura tampoco garantiza un proceso con resultados positivos ya que el petróleo aumenta su conductividad con el aumento de temperatura, lo que ocasiona caída de voltaje en los electrodos encargados del rompimiento de emulsiones. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

1.4.5.3 Presión en el Tanque Desalador

Durante el proceso de deshidratación, el crudo es sometido a altas temperaturas lo produce su evaporización, por lo que es importante mantener la presión dentro del tanque lo más alta posible para que no ocurra. Además, es necesario mantener una diferencia de presión de 20 psi por encima de la presión de vapor de crudo. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

1.4.5.4 Caídas de Presión en Válvula Mescladora

Es importante tener en cuenta los diferenciales de presión dentro de la válvula, ya que de esto depende que la mezcla entre agua, crudo y químicos no genere emulsiones altamente estabilizadas y que dificulte su rompimiento. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

1.4.5.5 Agua Procesada (Agua de Inyección)

Sin duda una de las variables más importantes y que debe ser monitoreada constantemente. En caso de que los niveles de agua pura estén por debajo del requerido, resultará en un pobre proceso de desalado, ya que las gotas del residuo de salmuera no entran en contacto con el agua procesada e incluso existirá una pobre reducción de sólidos suspendidos debido a la baja acción de fregado. Caso contrario, al tener volúmenes de inyección de agua muy elevados, es posible ocasionar un corto circuito en los electrodos y así generando no solamente un pobre desalado sino también daños en los equipos, sin contar un alto volumen de agua en el tanque sin diluir. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972) Cabe recalcar que para que exista un buen proceso de dilución entre el agua pura y crudo, no es necesario calentar o enfriar el agua procesada, ya que únicamente el crudo es aquel que requiere ser calentado. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

1.4.5.6 Químico Alcalino

El hidróxido de sodio es el producto es utilizado para lograr la remoción de ácidos presentes en el crudo. Durante este proceso, es extremadamente importante chequear de manera periódica el pH al menos una vez por semana y mantenerlo en un rango de 6,5 a 8,5 pH con la inyección del químico. 10 libras de hidróxido de sodio por 1 000 barriles de crudo es el requerimiento máximo del químico y por lo general no es necesario su aplicación. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

1.4.5.7 Control del Nivel de Agua

El nivel del agua dentro de la desaladora es controlado por las válvulas instaladas en el fondo del tanque, el nivel deberá encontrarse en un rango de 18

a 24 in, por lo que es recomendable chequearlo cada cambio cuando se abren dichas válvulas. A niveles mayores a 30 in existirán variaciones de voltaje, lo que resultará en el daño de las instalaciones y para niveles menores a 6 in provocará evacuación de crudo durante la descarga de salmuera. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

1.4.5.8 Costra de Lodo

Durante el periodo de separación de crudo y salmuera, existe la formación de una costra de lodo, la cual aproximadamente es de 2 ft dentro de este tipo de tanques, la cual tendrá un color blanco y de cierta forma viscosa. Existen varios factores que provocan que se genere esta capa como los agentes emulsificantes naturales, componentes de cera y solidos presentes en el petróleo e incluso el grado de formación de emulsiones del agua en el crudo. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

Cuando existe exceso de presencia de solidos en el fondo del tanque o suciedad en la refinería, la costra tiende a crecer significativamente provocando así daños en las estructuras, variación de voltaje en los electrodos y contaminar la salida de agua. Como último recurso, una vez ya utilizado el demulsificante, si la presencia de la capa no ha disminuido, significa que el agua ha sido contaminada por lo que habrá que desecharla totalmente e inyectar nuevamente agua fresca. Revisar apéndice A para localización y corrección de fallas. (Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para realizar un diseño eficiente y analizar el correcto funcionamiento del Sistema Desalador, se requirió de información vital que fue dada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, la agencia proporcionó y recopiló datos de condiciones actuales de trabajo de la Desaladora de la planta Parsons, mantenimientos realizados y toda la información acerca de parámetros desde el año 2019 hasta el 2021. Además del diagrama del diseño del desalador y su descripción paso a paso, el cual nos proporcionará ayuda al momento de realizar las propuestas respectivas, lo que incluye la opinión y recomendación del operador principal de la Desaladora.



Figura 2.1 Desaladora Parsons, vista anterior.



Figura 2.2 Desaladora Parsons, vista posterior.



Figura 2.3 Desaladora Parsons, vista lateral.

Las condiciones actuales a la que trabaja el sistema desalador de la Refinería La Libertad son las siguientes:

Tabla 2.1 Condiciones Actuales de Trabajo de Desaladora. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021]

PRESIÓN	170 PSIG
VOLUMEN PROCESADO	23 000 BLS
TEMPERATURA	95 °C
°API	25,5 – 26,5

Debido a que las condiciones en las que se encuentra actualmente, hablando de grado API, sales presentes en el hidrocarburo, diferentes cabezales de presión y temperatura, no son las condiciones a las cuales está diseñado el sistema, la eficiencia real de la desaladora en la planta Parsons llegaría a oscilar entre 30% y 50%.

El demulsificante usado durante el proceso de desalado de crudo tiene el nombre comercial SR 1123, el cual es inyectado en una dosis de 4 ppm en la línea de crudo previa al ingreso del desalador. Creando un rompimiento en la desalación primaria, el diseño de este demulsificante se basa en la ruptura de la emulsión con amplio rango de pH.

El historial de mantenimiento realizado al sistema desalador han sido desde el año 2019. En junio del 2019 se tuvo la última intervención a la desaladora PV10B de la planta Parsons, cabe recalcar que durante este mantenimiento el paro de operaciones no fue programado, en el proceso se realizaron limpiezas de varios recipientes.

Con esta información, más el resto de datos que serán presentados en el siguiente capítulo, se realizará una comparación entre las condiciones actuales y las condiciones de diseño de la desaladora en la planta Parsons, se logrará un análisis de parámetros como eficiencia, sal, BSW, agua por destilación y temperatura. Dicha data permitirá identificar fallas operativas para lograr que las propuestas planteadas logran mayor efectividad

A partir de la fecha antes mencionando en adelante, solo se realizaron chequeos y revisiones puntuales, tales como:

Tabla 2.2 Mantenimientos Realizados a Desaladora. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021]

DESCRIPCIÓN	FECHA (DD/MM/AA)
Cheque, limpieza, ajustes y medición de parámetros eléctricos desaladora PV10B	06/10/20
Limpieza y configuración válvula de control nivel de agua a desalador	31/03/20
Limpieza de válvula automática	12/09/19

Limpieza y configuración válvula de control desalador PV10B	31/08/19
Configurar indicador de interfase desalador PV10B	24/06/19
Revisión del sistema eléctrico de desaladora PV10B	21/06/19
Inspección del desalador PV10B	20/06/19
Apertura y limpieza del desalador PV10B	20/06/19
Limpieza y configuración de válvula de control FIC006	10/06/19
Limpieza y purga línea transmisor de nivel LIC001	30/01/19

2.1.1 Proceso Químico de la Desaladora

El petróleo almacenado en los tanques 39, 40 y 57 son transportados hacia las bombas de carga PP1 A, PP1 B Y PP1C con un flujo previamente controlado por la válvula FRC1. Antes de ingresar por la válvula PID-6 a la parte inferior del tanque desalador PV10B, es necesario que el crudo sea precalentado por medio de los intercambiadores de calor, además de controlar el ingreso de agua pura con la válvula FRC11.



Figura 2.4 Bombas de la Desaladora Parsons.

consiguiente, se plantea la instalación de un calentador que su principal función será la de incrementar la temperatura hasta el punto en el que será mucho más sencilla la ruptura de emulsión agua/crudo.

En los calentadores existen diferentes entradas para los fluidos, por el tubo de fuego pasa el crudo y los gases de combustión, también consta con una sección anular por la cual pasará el agua. Con la ayuda del calentador se podría llegar a reducir de manera notoria la utilización del demulsificante. (Salguero Villafuerte & Zurita Cadena, 2009)

2.1.2.1.1 Partes del calentador

- Quemador: se encarga de quemar el gas natural, para de esta forma lograr elevar la temperatura del agua a utilizar para transferir su calor al fluido.
- Coraza: cuerpo de acero que resguarda al tubo de fuego.
- Tubo de fuego: por su interior pasan los gases.
- Chimenea: sirve como salida del gas.

Se encuentran 2 tipos de calentadores, de los cuales el seleccionado será el calentador vertical, ya que es el más apto para la baja RGP presente en el crudo de la Refinería La Libertad y ocupa una menor cantidad de espacio que el calentador horizontal.

Cabe recalcar que este tipo de separadores se puede presentar la presencia de sólidos que posteriormente caerán a la parte inferior del calentador, lo que provocaría un bloqueo con el paso del tiempo al acumularse estas partículas, además de no permitir una correcta transferencia de calor y provocando fallas al momento de realizar controles y mediciones. Es recomendado para esta situación la utilización de “hidrojets”, los cuales evitarán los taponamientos y correcto drenaje de sólidos. (Priego Feria & Zamudio López, 2009)

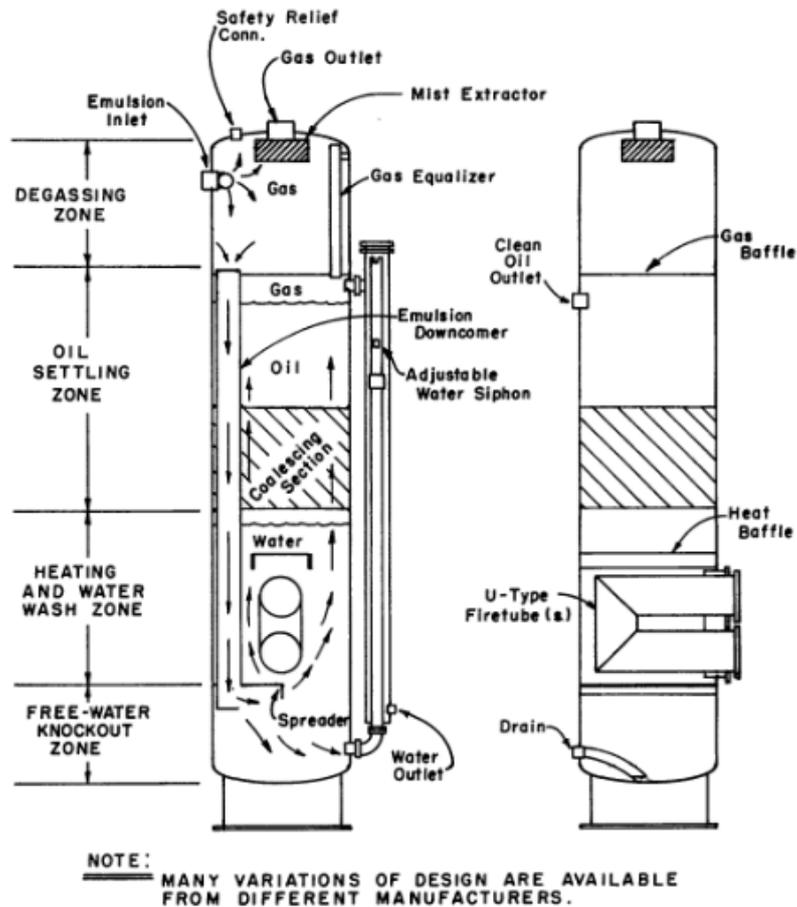


Figura 2.6 Calentador Vertical. [American Petroleum Institute, 1994]

2.1.2.1.2 Ventajas de Calentador

- Baja viscosidad.
- Es notoria la diferencia de densidades entre los fluidos.
- Si es necesaria la implementación de un demulsificante, tendrá una mejor distribución.
- Las emulsiones serán más inestables gracias a las parafinas disueltas.
- La película que rodea a las gotas de aguas se debilita considerablemente.

2.1.2.1.3 Desventajas de Calentador

- Aumento de costos.
- Aumentan controles.
- Mayor uso de instrumentos.

- Reduce el volumen del crudo, ya que los compuestos con mayor volatilidad se separan y salen con el gas.
- Disminución de gravedad API

2.1.2.2 Inyección de Químicos

Las características principales que debe cumplir el demulsificante empleado en el crudo son:

- Fuerte atracción hacia interfaz crudo/agua.
- Floculación
- Coalescencia
- mojabilidad

El demulsificante usado en el Sistema Desalador RLL, como se especificó anteriormente tiene el nombre comercial SR 1123 (Desalting Emulsion Breaker), tiene las siguientes características físico-químicas:

Tabla 2.3 Características físico/químicas SR 1123. [Montalván & López, 2018]

Estado	Líquido
Color	Amarillo ámbar
Punto de inflamación	> 10 °C
Gravedad Específica a 15,6 °C	0,96 – 0,99
Solubilidad en agua	Dispersable

Con el análisis de los principales parámetros para evaluar la eficiencia del demulsificante (sal, sólidos y agua por destilación), se planteará la opción de adicionar o cambiar el demulsificante de la Refinería La Libertad, por alguno de los que se proponen a continuación.

Para el año 2011, en el campo Shushufindi se utilizaron 3 tipos de demulsificantes, cada uno con sus beneficios, los cuales podrían ser tomados en cuenta para la sustitución de químico SR 1123 o en su defecto, utilizar los que sean necesarios según convenga. (Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011)

2.1.2.2.1 Demulsificante DMO 14535X

Este químico es desarrollado por Baker Petrolite, utilizado en calentadores, separadores e incluso en la cabeza de pozos. El fin de este producto es similar al SR 1123, que es romper emulsiones agua/crudo con una concentración entre 10 a 15 ppm. (Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011)

Este producto presenta los siguientes beneficios:

- Produce crudo con mayor facilidad de venta.
- Disminuye temperaturas.
- Disminuye costos en combustibles y remoción de agua.
- Incrementa la velocidad de caída de gotitas de agua.

A continuación, una tabla con algunas de sus propiedades físico-químicas:

Tabla 2.4 Características físico-químicas DMO 14535X. [Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011]

Estado	Líquido
Color	Ámbar Oscuro
Punto de inflamación	40,5 °C
Gravedad Específica a 15,6 °C	0,986 – 0,998
Solubilidad en agua	Dispersable

2.1.2.2.2 Dispersante de Parafina PAO 14715

Como su nombre lo indica, es un dispersante de parafinas si se logra una inyección continua y también puede lograrse la remoción de estas realizándola por tiempos, de igual manera Baker Petrolite es el creador de este químico. Para cumplir eficientemente esta función se usa inicialmente de 4 a 20 ppm en lo que con respecta a la concentración utilizada y dependiendo de los resultados se regula hasta lograr la concentración indicada. (Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011)

Este producto presenta los siguientes beneficios:

- Incrementa la producción.
- Reduce costos de mantenimiento.

- Mantiene el fondo del tanque limpio.
- Ideal en locaciones con temperaturas bajas.
- Su almacenaje y bombeo no requiere tantas precauciones.

A continuación, una tabla con algunas de sus propiedades físico-químicas:

Tabla 2.5 Características físico-químicas PAO 14715. [Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011]

Estado	Líquido
Color	Ámbar
Punto de inflamación	6,11 °C
Gravedad Específica a 15,6 °C	0,843 – 0,855
Solubilidad en agua	Dispersable

2.1.2.2.3 Demulsificante DM 046 (de Acción Rápida)

De igual forma, este producto químico comparte con los 2 anteriores; tanto a su creador, Baker Petrolite, como a los sistemas en los cuales puede ser inyectado. La diferencia que tiene este demulsificante con los 2 mencionados, es que, dentro de la industria petrolera ecuatoriana, el DM 046 es usado en análisis de laboratorio al realizarse pruebas BSW por centrifugación. La concentración será de 25 a 250 ppm. (Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011)

Este producto presenta los siguientes beneficios:

- Produce crudo con mayor facilidad de venta.
- Disminuye temperatura y costos de combustibles.
- Disminuye costos de eliminación de agua y cantidad de filtros.
- Su almacenaje y bombeo no requiere tantas precauciones.

A continuación, una tabla con algunas de sus propiedades físico-químicas:

Tabla 2.6 Propiedades físico-químicas DM 046. [Benavides Astudillo & Nuñez Pepinos, 2011]

Estado	Líquido
Densidad a 15,6 °C	7,98 <i>lbs/gal</i>
Punto de inflamación	38,9 °C
Gravedad Específica a 15,6 °C	0,98
Solubilidad en agua	Dispersable

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En las primeras exploraciones de la industria petrolera en la provincia de Santa Elena, dentro de las cuales se perforó el primer pozo petrolero denominado Ancón 1 en el año 1911, en el que se pudo extraer crudo de entre 30° y 40° API. Esto nos indica una clara caída en los niveles de calidad del petróleo y su deterioro desde esa fecha hasta el día de hoy, el cual se encuentra aproximadamente entre 25,5° y 26,5° API.

Durante un estudio realizado por el Banco Central del Ecuador, en el 2019 la Refinería La Libertad tuvo una producción diaria de 30 000 bls, lo cual equivale al 67% de la capacidad que esta instalación estaba capacitada en ese año y con un decrecimiento del 23,5% al trimestre anterior del año 2018. Es evidente que no solo existe un descenso de la calidad del crudo, sino que a su vez existe pérdida de producción la cual con el paso de los años ha creado vacíos en la refinería, por lo cual no es solamente necesario intervenir el sistema desalador, sino que se necesita una total reestructuración ya que en su actualidad la planta Parsons opera con 23 000 bls. (Banco Central del Ecuador, 2019)

Para el análisis de las condiciones actuales se realizó una comparación del funcionamiento actual del sistema desalador y el funcionamiento que debería tener, según el diseño.

Tabla 3.1 Condiciones Actuales vs Condiciones de Diseño. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021a]

CONDICIONES ACTUALES		CONDICIONES DE DISEÑO	
Volumen de Entrada	23 000 bls	Volumen de Entrada	26 000 bls
Temperatura de Operación	95 °C	Temperatura de Diseño	115 - 148 °C
Presión de Operación	150 psig	Presión de Diseño	300 psig

Con lo cual se pudo evidenciar un declive notorio en lo que respecta al funcionamiento ya que no cumple con los requisitos mínimos de diseño.

- El volumen de entrada se reduce en un 20%, teniendo un déficit de aproximadamente 3 000 bls.

- La temperatura, llevándola a grados Celsius, tiene una diferencia de 53 °C aproximadamente, una vez ya dentro de la desaladora, debido a no llegar a la mínima temperatura de trabajo, no desestabiliza las emulsiones de manera eficiente y por consiguiente evita la separación de la salmuera del crudo.
- En lo que respecta a la presión, la diferencia es bastante considerable y de igual manera afecta en la etapa de mezclado, ya que el agua de dilución no se une de forma eficiente al crudo, sin permitir separar las gotitas del agua presente en el crudo, además de crear fallas en el mecanismo a falta de dicha presión.

A continuación, se presentarán los análisis anuales en lo que respecta a eliminación de sales y bsw durante los años 2019, 2020 y parcialmente 2021.

3.1 Promedio Anual de Análisis de Resultados Año 2019, 2020 y 2021

Para este análisis se promedió los resultados obtenidos mes a mes de los parámetros previamente especificados y para el año 2021 solo se obtuvo información hasta el mes de abril. Para observar las tablas sin promediar dirigirse al apéndice A.

Tabla 3.2 Resultados Promediados de Análisis de Crudo Desalado Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

Parámetros	Planta Parsons	
	Ingreso	Salida
Sal (PTB)	6,66	3,90
Eficiencia (%)	41,44	
BSW (%)	3,1	0,29

Tabla 3.3 Resultados Promediados de Análisis de Crudo Desalado Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

Parámetros	Planta Parsons	
	Ingreso	Salida
Sal (PTB)	7,51	4,50
Eficiencia (%)	40,08	
BSW (%)	2,57	0,25

Durante el mes de mayo de este año se paralizaron las actividades en todas las plantas de la refinería debido a la declaratoria de emergencia SARS-CoV-2.

Tabla 3.4 Resultado Promediados de Análisis de Crudo Desalado Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

Parámetros	Planta Parsons	
	Ingreso	Salida
Sal (PTB)	8,24	4,76
Eficiencia (%)	43,78	
BSW (%)	2,59	0,28

Para el año 2021 se obtuvo información solo hasta el mes de abril.

En el flujo de entrada de agua; es decir, el porcentaje de BSW se encuentra entre 2,5 – 3,1%, al pasar por el proceso de desalación, el BSW disminuye entre 0,25% hasta 0,29%, lo cual se encuentra entre los límites permisibles (0,1 – 1%) e indica una excelente reducción de agua presente en el crudo. Pero al momento de analizar la sal presente en el crudo, es notorio el aumento anual que este ha tenido, pasando de 6,66 PTB en el año 2019, hasta llegar a 8,24 PTB en 2021.

3.2 Optimización en el Manejo de Químicos

En la Refinería La Libertad se procesan 23 000 bls diarios de crudo, en el cual se inyecta el demulsificante SR 1123 que tiene un costo aproximadamente de \$18 por galón, que se inyecta en una dosis de 4 ppm. Además se calculó el tiempo de residencia (aproximadamente de 3 a 36 horas) del fluido dentro del tanque desalador para tener una idea de cuánto tiempo se aplica este demulsificante, ya que es inyectado al inicio del proceso y es eliminado junto a la salmuera al final del desalado:

$$\text{tiempo de residencia} = \frac{\text{Volumen de la desaladora}}{\text{Volumen de crudo}}$$

Ec (3.1)

$$\text{tiempo de residencia} = \frac{26\,000\text{ bls}}{23\,000\text{ bls}}$$

$$\text{tiempo de residencia} = 1,13\text{ días} \approx 27\text{ horas}$$

Lo que indicó que para lograr que todo el combustible pase por la desaladora toma un tiempo aproximado de 27 horas. Para realizar la evaluación de la eficiencia del demulsificante se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Existencia de sal (PTB)
- Sólidos (%)
- Agua por destilación (%)

Para el análisis de estos parámetros se utilizaron datos del año 2019, 2020 y los cuatro primeros meses del año 2021.

Tabla 3.5 Parámetros de Evaluación del Demulsificante SR 1123, Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

Mes	Sal (PTB)		Sólidos (%)		Agua por Destilación (%)	
	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida
Enero	7,59	4,10	3,03	0,30	2,81	0,23
Febrero	7,94	4,08	3,41	0,37	3,18	0,29
Marzo	7,57	4,04	2,96	0,29	2,59	0,26
Abril	5,15	3,28	2,55	0,34	2,39	0,28
Mayo	4,72	3,02	3,24	0,26	2,95	0,22
Junio	6,76	4,26	3,71	0,38	3,31	0,30
Julio	6,35	3,79	3,12	0,27	2,89	0,21
Agosto	6,60	4,13	3,13	0,23	2,88	0,20
Septiembre	7,04	4,06	2,94	0,29	2,68	0,23
Octubre	6,84	3,9	3,1	0,24	3	0,24
Noviembre	6,87	3,82	3,42	0,30	3,39	0,24
Diciembre	6,5	4,28	2,6	0,2	2,4	0,2

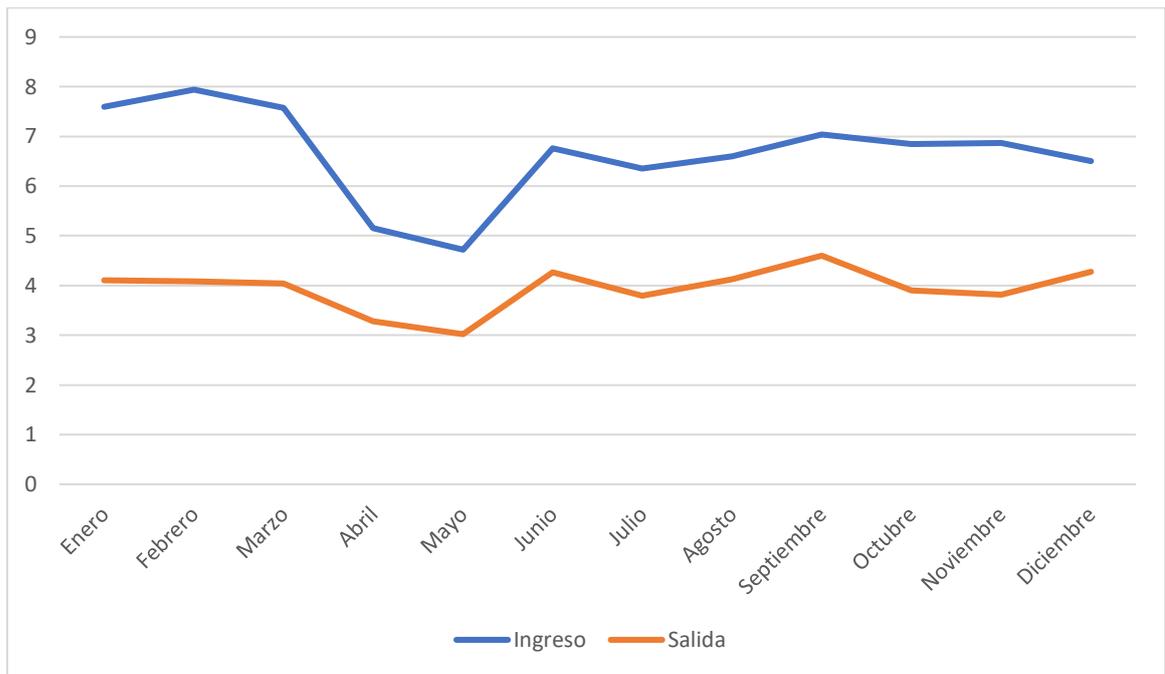


Figura 3.1 Ingreso y Salida de Sal (PTB), Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

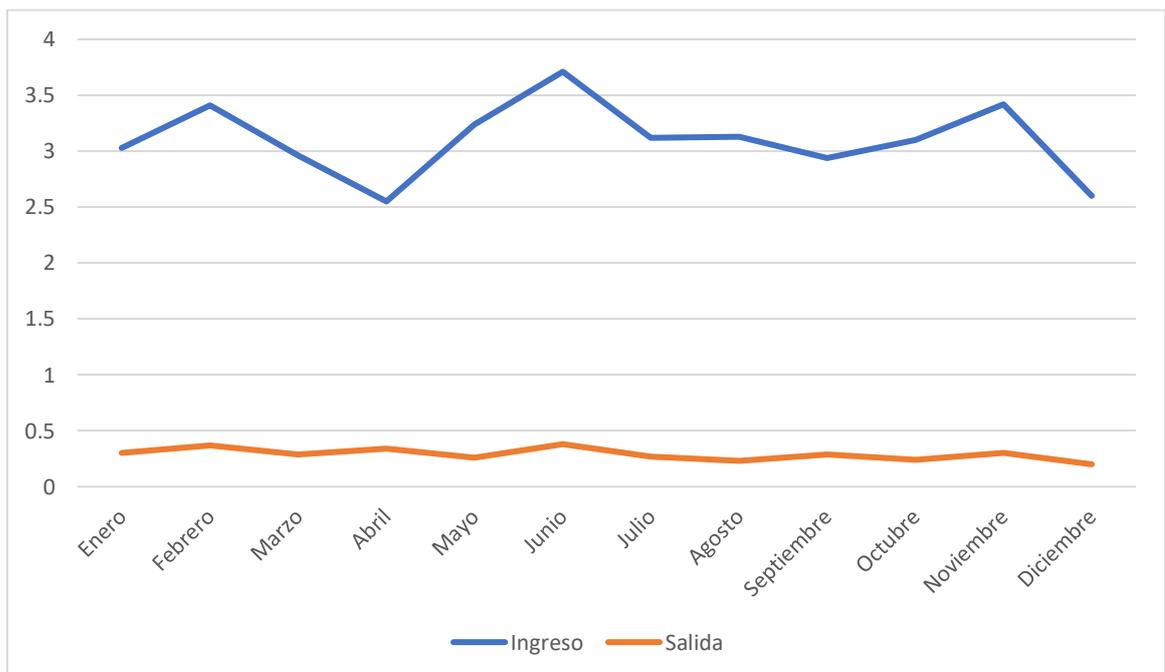


Figura 3.2 Ingreso y Salida de Sólidos (%), Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

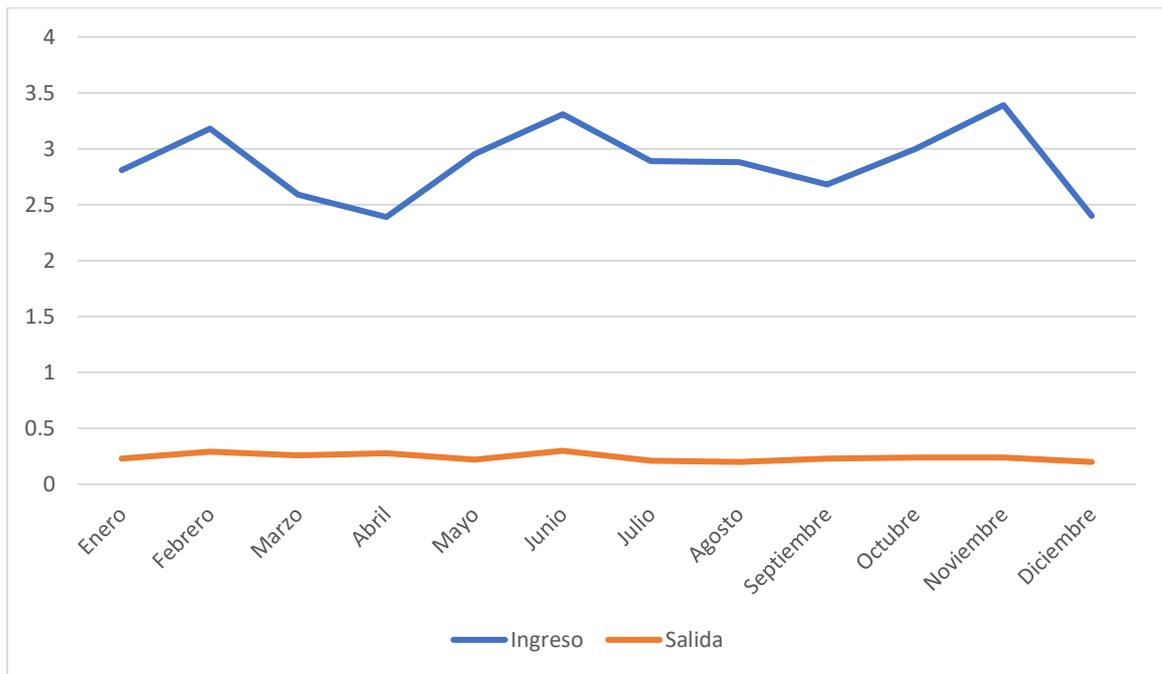


Figura 3.3 Ingreso y Salida de Agua por Destilación (%). [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

Tabla 3.6 Parámetros de Evaluación del Demulsificante SR 1123, Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

Mes	Sal (PTB)		Solidos (%)		Agua por Destilación (%)	
	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida
Enero	7,88	4,15	3,87	0,24	3,71	0,24
Febrero	7,44	4,34	2,84	0,21	2,67	0,20
Marzo	7,37	4,54	2,87	0,25	2,65	0,27
Abril	7,5	4,5	3,4	0,2	3,2	0,2
Mayo	*	*	*	*	*	*
Junio	6,20	4,35	1,60	0,21	1,45	0,20
Julio	6,51	3,89	1,68	0,22	1,48	0,20
Agosto	7,70	4,98	2,56	0,28	2,33	0,22
Septiembre	8,19	4,97	2,41	0,27	2,30	0,23
Octubre	8,21	4,74	2,70	0,33	2,66	0,28
Noviembre	7,86	4,55	2,13	0,23	2,10	0,23
Diciembre	7,80	4,47	2,22	0,26	2,13	0,23

Durante el mes de mayo de este año se paralizaron las actividades en todas las plantas de la refinería debido a la declaratoria de emergencia SARS-CoV-2.

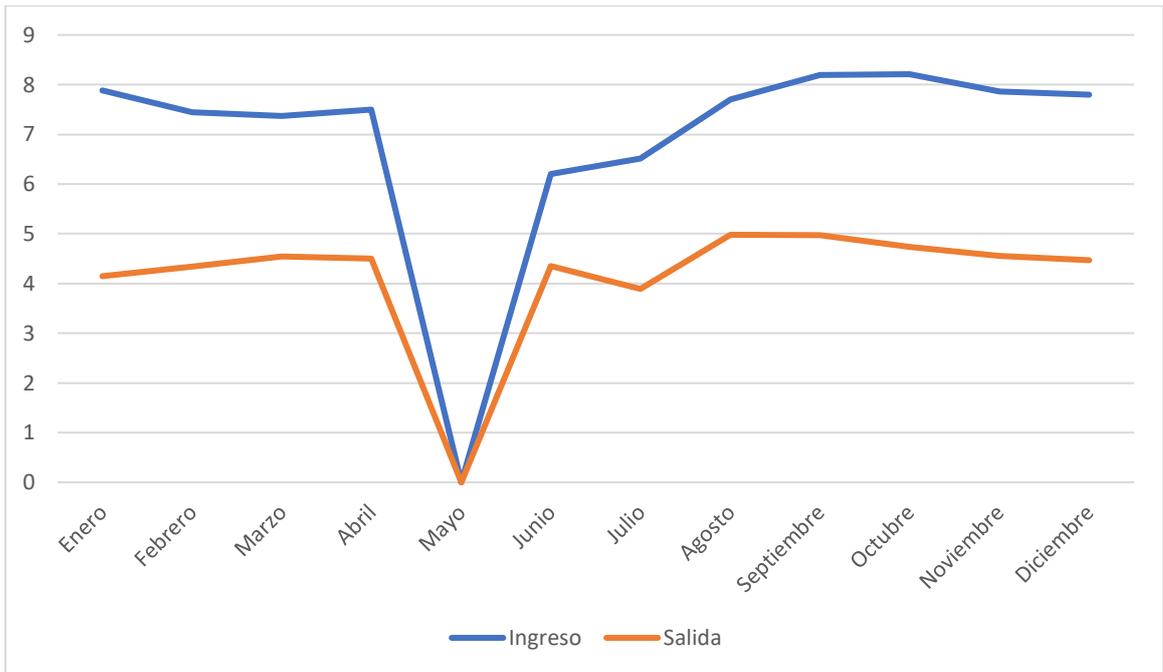


Figura 3.4 Ingreso y Salida de Sal (PTB), Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

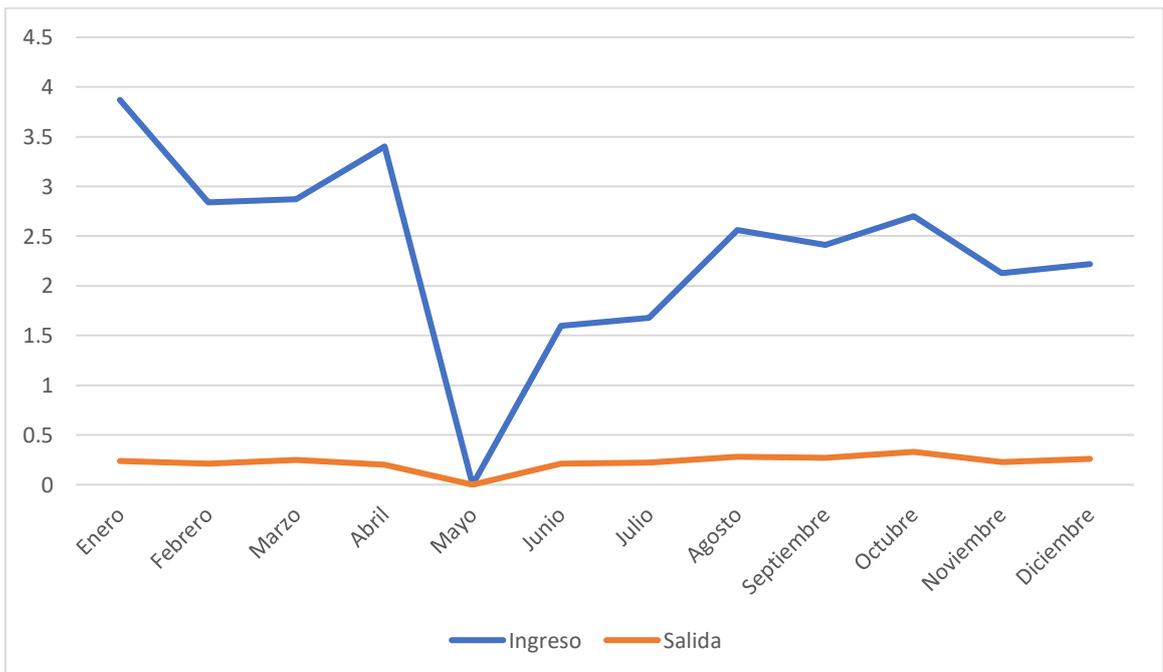


Figura 3.5 Ingreso y Salida de Sólidos (%), Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

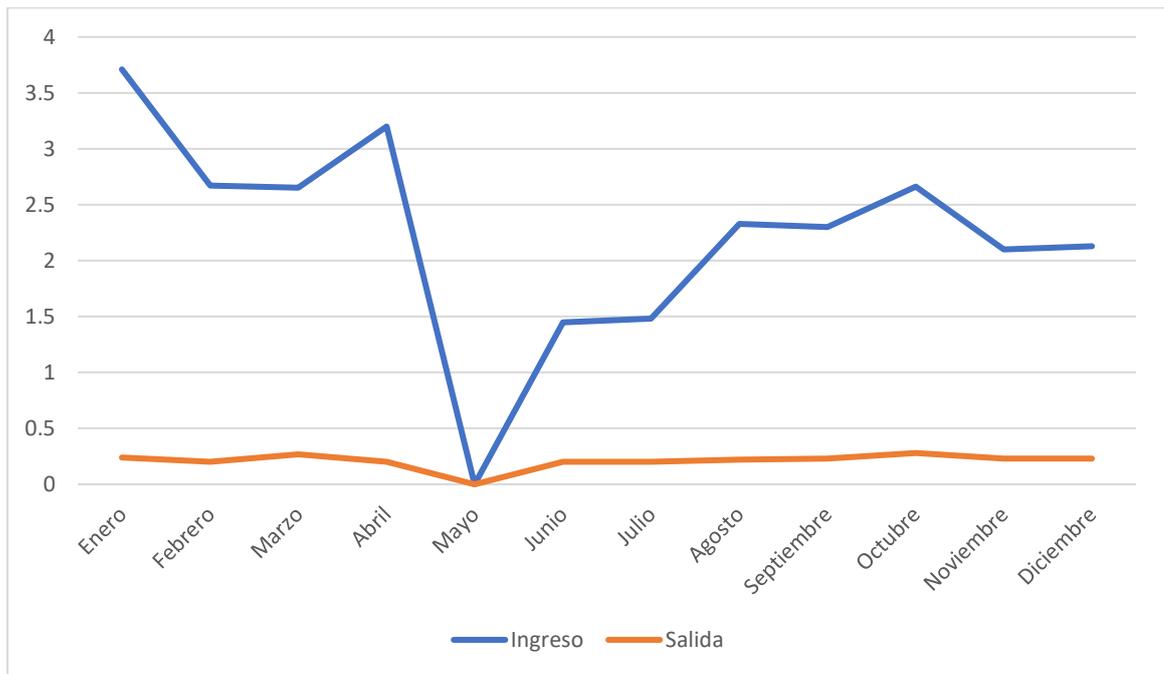


Figura 3.6 Ingreso y Salida de Agua por Destilación (%). [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

Tabla 3.7 Parámetros de Evaluación del Demulsificante SR 1123, Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

Mes	Sal (PTB)		Solidos (%)		Agua por Destilación (%)	
	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida	Ingreso	Salida
Enero	7,99	5,24	2,67	0,25	2,52	0,24
Febrero	8,20	4,21	2,76	0,31	2,52	0,27
Marzo	8,32	4,72	2,730	0,27	2,52	0,27
Abril	8,43	4,85	2,20	0,30	2,52	0,27

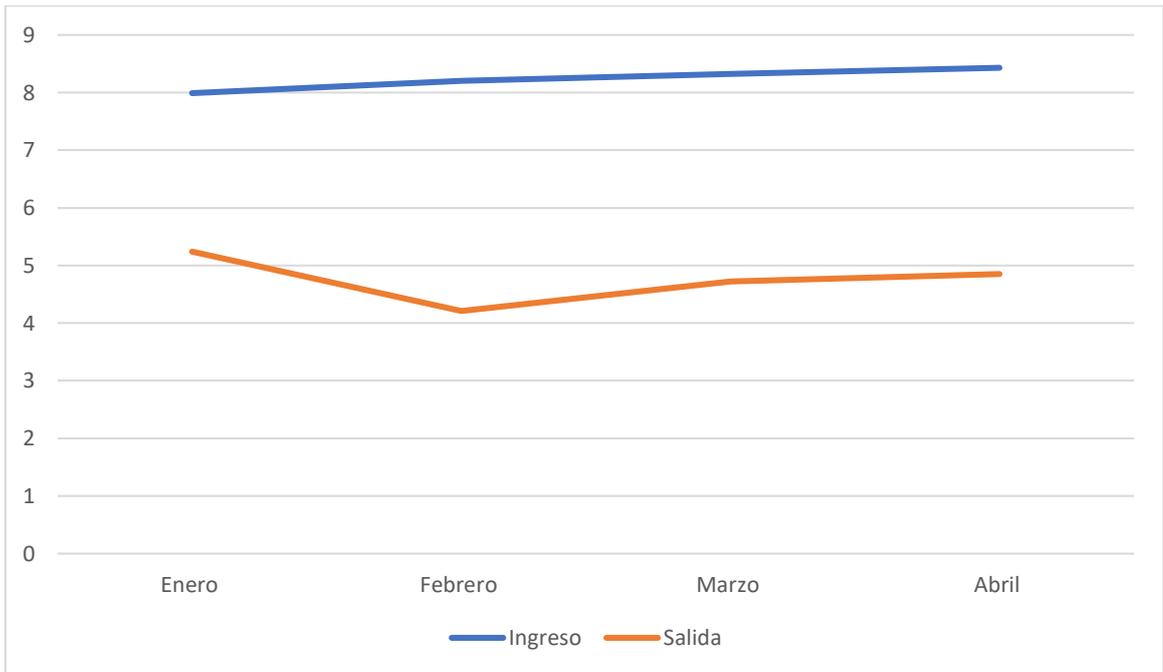


Figura 3.7 Ingreso y Salida de Sal (PTB), Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

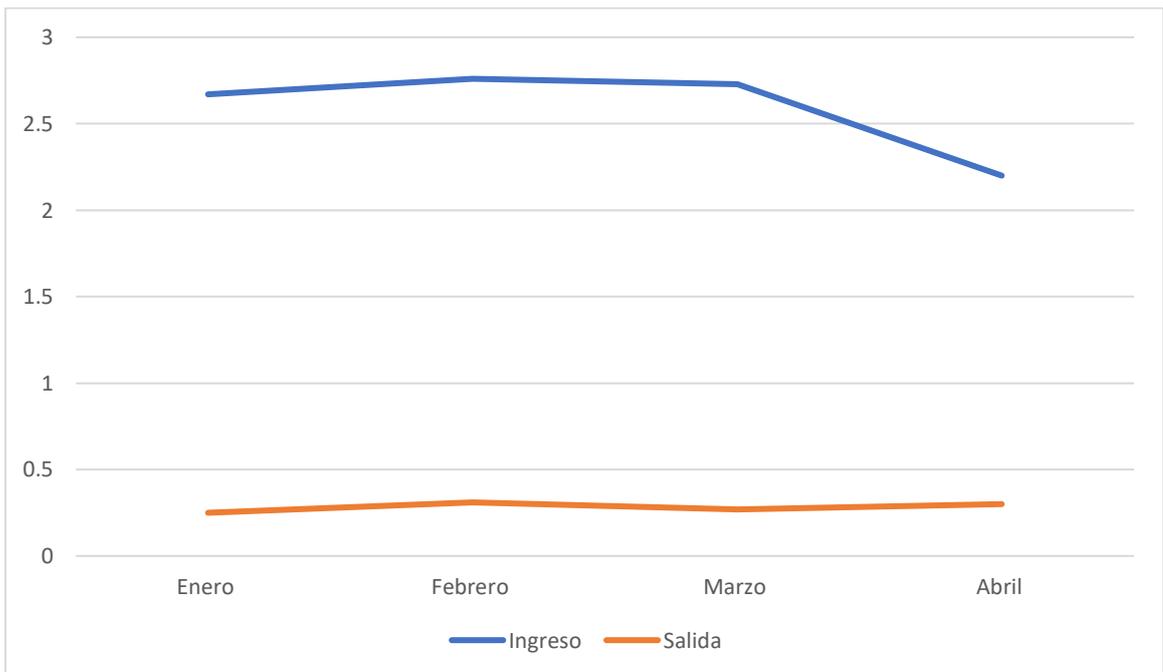


Figura 3.8 Ingreso y Salida de Solidos (%), Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

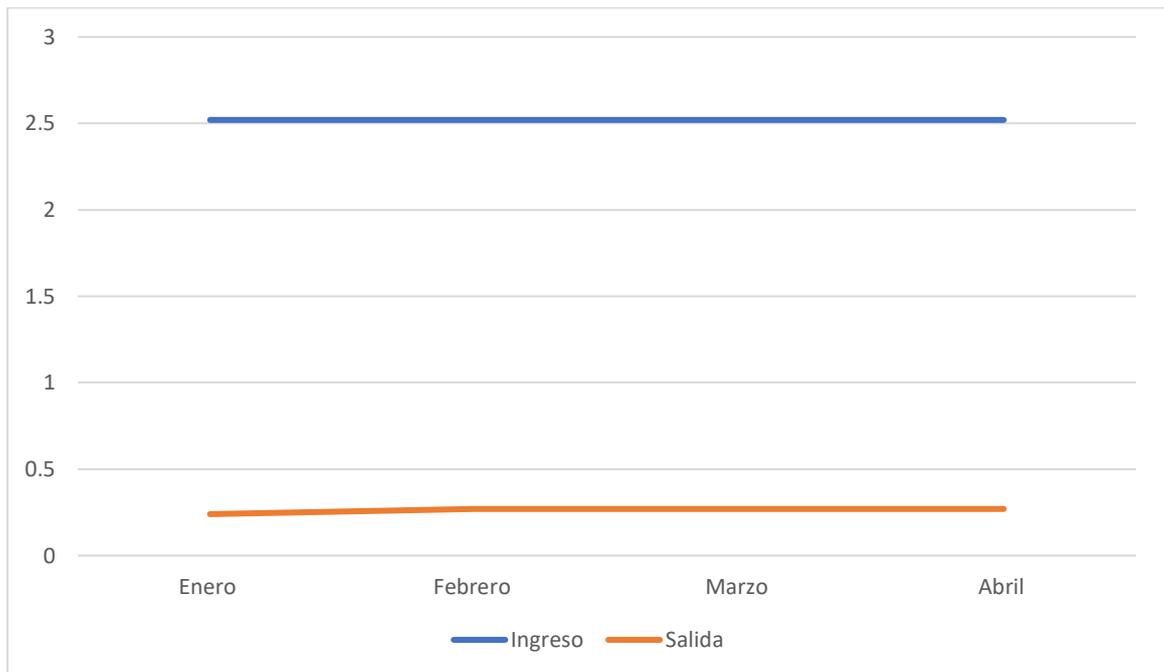


Figura 3.9 Ingreso y Salida de Agua por Destilación (%). [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

Según los porcentajes de BSW y agua por destilación, el demulsificante debería desempeñarse de manera eficiente dentro del desalador en cuanto al rompimiento de emulsiones, ya que se encuentran dentro del límite permisible de niveles de agua en la salida del crudo (0,1 – 1%). Aunque su disminución no haya sido más de la mitad de sales presentes en el crudo, el demulsificante no tuvo un efecto contrario al deseado. Además, para el año 2020 la producción sufrió una caída, generando que el demulsificante haya tenido una mayor concentración y, por lo tanto, un menor efecto en el rompimiento de emulsiones, lo que aumento la presencia de sales (menor eficiencia del proceso).

En base a la información recolectada acerca de otros demulsificantes aplicados en la refinería Shushufindi, que muestran características similares o superiores al producto usado en la planta Parsons, no es recomendable su aplicación. Según el análisis de los procesos químicos de la Refinería La Libertad, el uso de dichos químicos para este crudo podría resultar tanto en un mejor rompimiento de emulsiones, como en el fortalecimiento de la emulsión (reemulsión) generando una reducción de la calidad de desalado del petróleo, ya que cada demulsificante es creado en base al tipo de crudo obtenido.

3.3 Optimización de la Temperatura en el Proceso de Desalado

Durante el análisis de la calidad de desalado en los dos últimos cuatrimestres del año 2020 y el primer cuatrimestre del año 2021, se encontró la relación directa que tiene con la variación de temperatura en la eficiencia del proceso de desalación, que se mostrará en la siguiente tabla:

Tabla 3.8 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

Mes	Eficiencia de desalado (%)	Temperatura de operación (° C)
Enero	45,98	96,68
Febrero	48,61	96,07
Marzo	46,63	96,95
Abril	36,31	98,19
Mayo	36,02	93,77
Junio	36,98	94,48
Julio	40,31	93,13
Agosto	37,42	92,71
Septiembre	42,33	91,53
Octubre	42,98	93,85
Noviembre	44,39	92,15
Diciembre	34,15	92

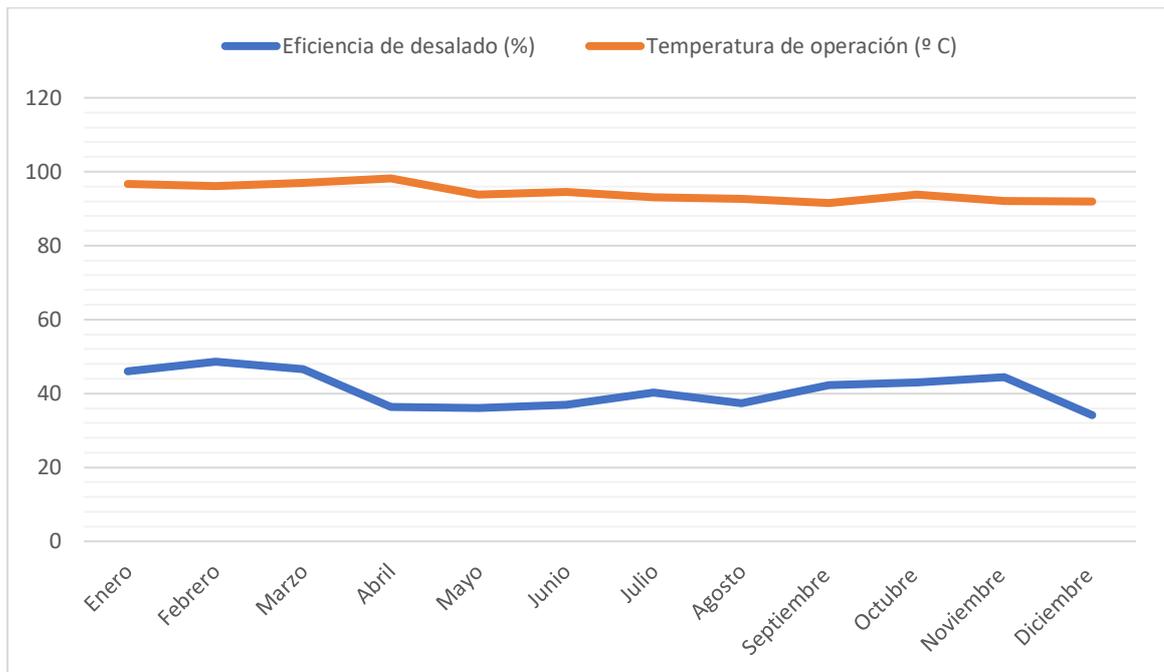


Figura 3.10 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

Tabla 3.9 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

Mes	Eficiencia de desalado (%)	Temperatura de operación (° C)
Enero	47,33	91,67
Febrero	41,67	91,62
Marzo	38,40	89,61
Abril	40	89
Mayo	*	*
Junio	29,84	91,84
Julio	40,25	90,94
Agosto	35,32	91,35
Septiembre	39,32	93,25
Octubre	42,27	90,62
Noviembre	42,11	89,30
Diciembre	42,69	89,32

Durante el mes de mayo de este año se paralizaron las actividades en todas las plantas de la refinería debido a la declaratoria de emergencia SARS-CoV-2.

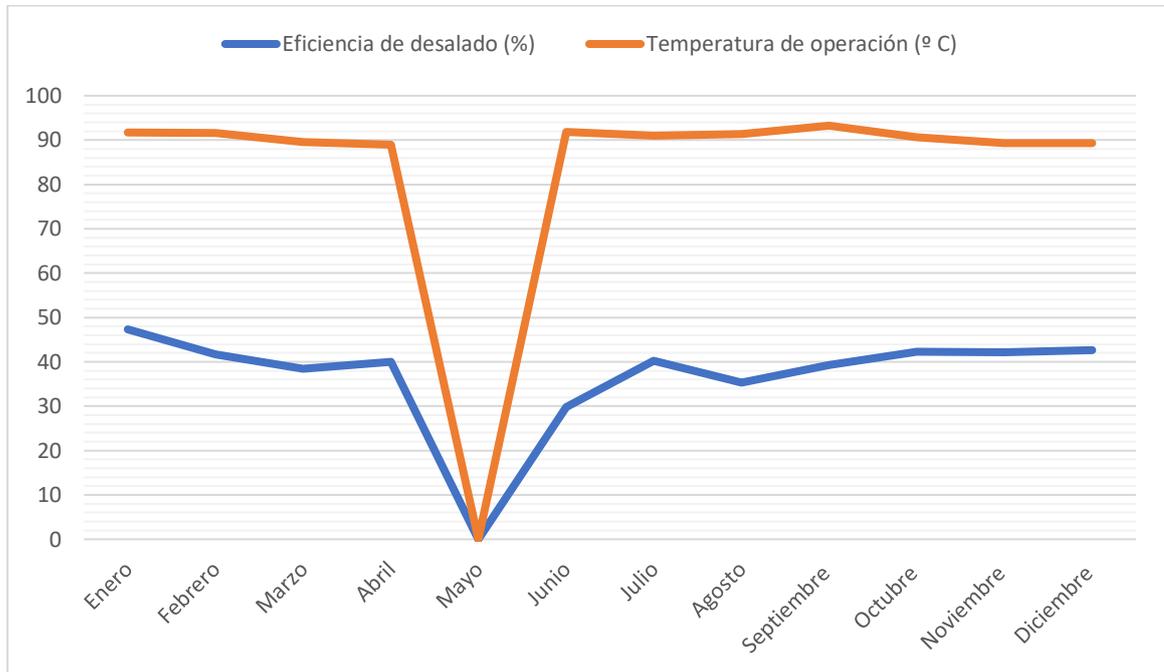


Figura 3.11 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons, Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

Tabla 3.10 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons Primer Cuatrimestre, Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

1er Cuatrimestre, Año 2021		
Mes	Eficiencia de desalado (%)	Temperatura de operación (° C)
Enero	34,42	90,52
Febrero	48,66	98,68
Marzo	46,27	98,48
Abril	45,80	97,10

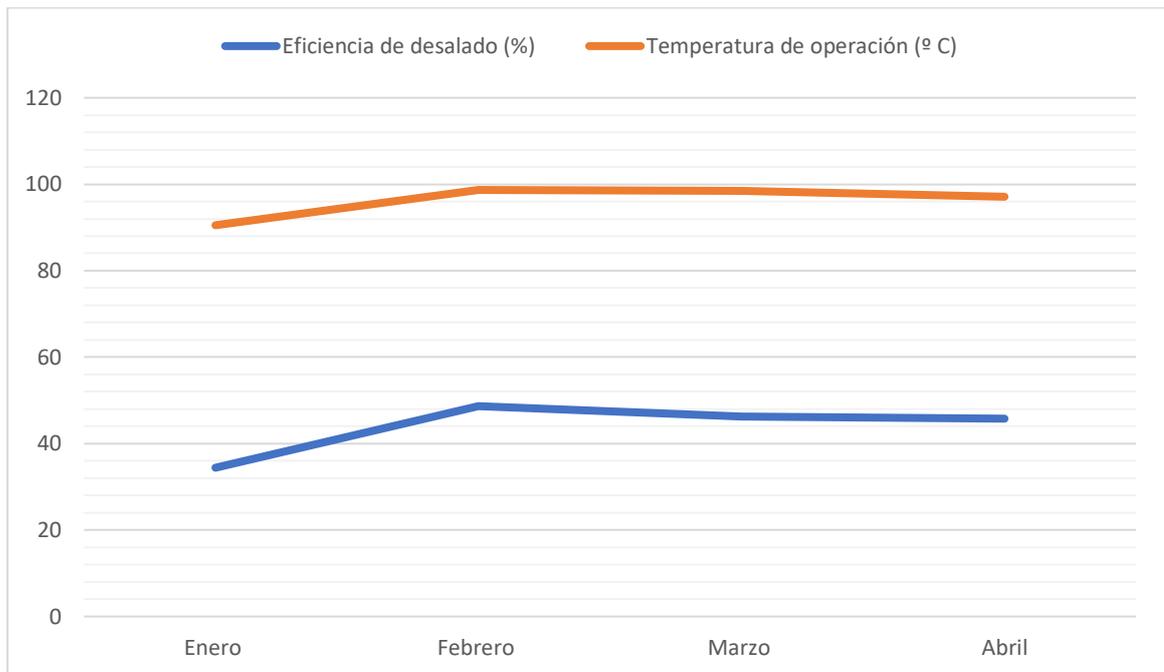


Figura 3.12 Eficiencia y Temperatura de Operación de la Desaladora de la Unidad Parsons Primer Cuatrimestre, Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

Durante el año 2019 y 2020 se mantuvo una temperatura entre 92 - 98° C y 90 - 91° C respectivamente, lo cual permitió llegar a una eficiencia de 40,32% y 39,83% promediando los doce meses de cada año (mayo del 2020 tuvo paralización de producción); mientras que, a partir de febrero hasta abril, la temperatura rondaba los 98° C y la eficiencia aumento notoriamente, entre los tres últimos meses promediados, un 7,74%. Esto indicó una clara mejora en los parámetros de desalación del crudo, aunque desde el 2019 hasta 2021 hubo un aumento de los niveles de sal presente en el petróleo obtenido en la provincia de Santa Elena.

Con la adición del calentador vertical, la eficiencia de desalado de crudo llegaría a un 60 a 80% ya que se alcanzaría el rango de la temperatura de diseño de la desaladora (240 - 300° F) sin comprometer los porcentajes finales de solidos (0,21 -0,29%) ni el agua de inyección (0,20 – 0,27).

Los costos de los nuevos equipos implementados dependerán única y exclusivamente del poder adquisitivo y características específicas que la empresa encargada del proyecto requiera, ya que pueden optar por un diseño industrial con una inversión que rondaría los \$120 000 contando una mayor garantía y durabilidad

de los equipos; o un diseño artesanal que sería el más económico ya que los precios se reducirían aproximadamente a la mitad (\$40 000), claro está que también las estructuras serían de menor calidad. Cabe recalcar que, para el diseño de este sistema, se debe considerar que las características del crudo y condiciones del lugar no serán constantes, como se dio a notar en el análisis del año 2019 al 2021.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mejorar la calidad de crudo y rendimiento dentro de la refinería de mayor rentabilidad en la costa ecuatoriana es prioridad. Con las ideas propuestas en los capítulos anteriores se puede lograr de manera eficiente un aumento en la desalación del crudo y con esto permitir obtener derivados de manera más sencilla, además de evitar daños de corrosión y demás problemas en infraestructuras de la Refinería La Libertad debido a la presencia de sal.

Se logro eficientemente un análisis detallado de las condiciones actuales en las que trabaja el sistema desalador, incluyendo las propuestas estudiadas, de las cuales una presentaba un riesgo muy elevado e innecesario, mientras que la otra es totalmente viable, la instalación de un calentador vertical, el cual podría lograr aumentar el rendimiento de la desaladora en un 20% aproximadamente. Sin embargo, debido a las condiciones en las cuales se encuentra el Ecuador, no se contó con el apoyo de ciertas empresas especializadas en el diseño de calentadores, por lo que no se pudo realizar un análisis económico exacto de los precios en el mercado y una selección específica del tipo de calentador requerido.

4.1 Conclusiones

- El sistema desalador, siendo la primera etapa en el proceso de la Refinería La Libertad, cuenta con un funcionamiento del 80% en lo que respecta a su capacidad y solo un 40% aproximadamente en el desalado de crudo.
- Las condiciones actuales de trabajo del sistema desalador, merman la capacidad de desalado ya que el diseño de este desalador no es el adecuado debido a que idealmente debe funcionar con un ingreso diario de 26 000 bls, a una temperatura y presión de 115° C – 148° C y 300 psig respectivamente.
- Una sustitución o aumento de químicos debe realizarse solo si en el crudo hay cambios en los valores de sus propiedades, ya que estos están diseñados específicamente para el petróleo obtenido en ese territorio.

- La temperatura afecta directamente en la eficiencia de desalado, teniendo en cuenta que para el año 2020 se mantuvo una temperatura aproximada de 91° C y se logró una eficiencia apenas del 39%; mientras que, para los meses de febrero, marzo y abril del año 2021, en los cuales la temperatura se mantuvo en 98° C, la eficiencia aumentó en un 8% llegando a valores totales de 47%.

4.2 Recomendaciones

- Rediseñar del sistema desalador en base a condiciones actuales de trabajo y teniendo en cuenta futuras intervenciones debido a cambios en las propiedades del crudo.
- Investigar acerca de las mejores opciones de calentadores, ya que esto ayudará a reducir costos significativos y aumentar la eficiencia sin comprometer el diseño ya establecido.
- Realizar instalación de calentador vertical para optimizar el proceso de desalado.
- Antes de realizar cambios en lo que respecta al tratamiento químico, en el área de demulsificantes, dispersantes de parafinas, entre otros, se requiere conocer las condiciones del sector en el cual se lo desea aplicar y bajo qué condiciones aumenta o disminuye su eficiencia, para que a su vez el cambio a realizar no conlleve a problemas de sobretratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2019). *Promedio mensual de resultados de analisis del crudo desalado en las unidades de proceso 2019*.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2020). *Promedio mensual de resultados de analisis del crudo desalado en las unidades de proceso 2020*.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2021a). *Información Desaladora*. 5.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2021b). *Promedio mensual de resultados de analisis del crudo desalado en las unidades de proceso 2021*. 2.
- American Petroleum Institute. (1994). *Specification for Vertical and Horizontal Emulsion Treaters* (Fourth Edi). https://docuri.com/download/api-12l-specification-for-vertical-and-horizontal-emulsion-treaters-1994_59c1cc5cf581710b2861d2ab_pdf
- Anglo Ecuadorian Oilfields, L. (1972). *Operating & Maintenance Instructions*.
- Banco Central del Ecuador. (2019). *REPORTE DEL SECTOR PETROLERO IV Trimestre de 2019*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP201906.pdf>
- Benavides Astudillo, X. M., & Nuñez Pepinos, S. E. (2011). *Estudio Técnico Económico del Tratamiento Químico para la Deshidratación de Crudo en el Campo Shushufindi*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4077/1/CD-3843.pdf>
- David Guillermo, T. P. (2019). *Evaluación y Formulación de Demulsificante Para el Petróleo Ecuatoriano*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18388>
- Martínez Villarreal, F. L. (2006). *Control de Corrosión en Topping Plant*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2374>
- Montalván, F. J., & López, L. E. (2018). *Representación Gráfica del Comportamiento de la Viscosidad Cinemática en Emulsiones de Crudo Pesado* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4612>
- Ortega Rivera, L. C. N. E. (2011). *ANALISIS DE FALLAS EN DESALADORAS ELECTROSTATICAS Y SOLUCIONES* [Escuela Superior de Ingeniería Química e

Industrias

Extractivas].

[https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25707/Analisis de fallas en desaladoras electrostaticas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25707/Analisis%20de%20fallas%20en%20desaladoras%20electrostaticas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Priego Feria, O., & Zamudio López, G. (2009). *Teoría de Deshidratación* [Universidad de las Américas]. <http://www.oilproduction.net/files/TeoriaDeshidratacion.pdf>

Salguero Villafuerte, F. R., & Zurita Cadena, C. A. (2009). *Estudio de Factibilidad para la Optimización de las Facilidades de Producción de la Estación Pichincha, Correspondiente al Campo Libertador* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1914>

Schlumberger. (n.d.). *emulsión* | *Oilfield Glossary*. Retrieved May 22, 2021, from <https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/e/emulsion>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Lista de Correcciones de Fallas. [Anglo Ecuadorian Oilfields, 1972]

Localización y corrección de fallas	
Posibles Causas	Corrección
Daño en el bushing de entrada o aislador de electrodos	<ul style="list-style-type: none"> En caso de que exista daño en el puerto, será necesario abrir la caja contenedora, desconectar del transformador, inspeccionar si existen quemaduras en la superficie y reemplazarlo. Si no está dañado, se lo tiene que remover para realizar una limpieza por capas y luego vaciar el tanque para realizar la instalación.
Nivel alto de agua en desaladora	Chequear el nivel usando las válvulas y asegurar que se encuentre entre 18 y 24 in (fondo del tanque).
Capa de lodo	Si la capa de lodo se encuentra por encima de dos válvulas, será necesario reducir el nivel del agua e incrementar el uso de químicos. Si durante el tiempo de 8 a 12 horas la costra no ha disminuido, se realiza un cambio de agua.
Exceso de agua de inyección	Si existe alguna desconfiguración del sistema operativo u otra falla en válvulas de control, se debe expulsar toda el agua, una vez resuelto el problema técnico se procede con la inyección de agua hasta establecer el límite nuevamente.
Presión elevada en la válvula mezcladora	Para esto se necesitará abrir completamente la válvula, permitir que el voltaje se reestablezca de manera continua e incrementar de 5 a 10 psi paulatinamente, hasta alcanzar la presión de diseño.
Interrupción en el flujo del crudo	En caso de que el flujo del crudo pare, existirán bajos niveles de crudo por lo que se apagará todo el sistema automáticamente, ya que es posible que haya alojamiento de vapores en la parte superior del tanque. Una vez alcanzado el nivel

	mínimo de operación, la energía será reestablecida.
Vaporización en desaladora	Se corta la energía a bajos niveles de crudo, se reducirá temperatura o incrementará presión.
Interrupción de la fuente de poder	Una vez reestablecida la energía será necesario realizar un chequeo de la unidad.
Daño en la fuente de poder del transformador	Cambiar.
Daño en la fuente de poder del bushing	Cambiar.

APÉNDICE B

Resultados de Análisis de Crudo Desalado Año 2019. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019]

Mes	Parámetros	Planta Parsons	
		Ingreso	Salida
Enero	Sal (PTB)	7,94	4,8
	Eficiencia (%)	48,61	
	BSW (%)	3,41	0,37
Febrero	Sal (PTB)	7,59	4,10
	Eficiencia (%)	45,98	
	BSW (%)	3,03	0,30
Marzo	Sal (PTB)	7,57	4,04
	Eficiencia (%)	46,63	
	BSW (%)	2,96	0,29
Abril	Sal (PTB)	5,15	3,28
	Eficiencia (%)	36,31	
	BSW (%)	2,55	0,34
Mayo	Sal (PTB)	4,72	3,02
	Eficiencia (%)	36,02	
	BSW (%)	3,24	0,26
Junio	Sal (PTB)	6,76	4,26
	Eficiencia (%)	36,98	
	BSW (%)	3,71	0,38
Julio	Sal (PTB)	6,35	3,79
	Eficiencia (%)	40,31	
	BSW (%)	3,12	0,27
Agosto	Sal (PTB)	6,60	4,13
	Eficiencia (%)	37,42	
	BSW (%)	3,13	0,23
Septiembre	Sal (PTB)	7,04	4,06
	Eficiencia (%)	42,33	
	BSW (%)	2,94	0,29
Octubre	Sal (PTB)	6,84	3,9
	Eficiencia (%)	42,98	
	BSW (%)	3,1	0,24
Noviembre	Sal (PTB)	6,87	3,82

	Eficiencia (%)	44,39	
	BSW (%)	3,42	0,30
	Sal (PTB)	6,5	4,28
Diciembre	Eficiencia (%)	34,15	
	BSW (%)	2,6	0,2

Resultados de Análisis de Crudo Desalado Año 2020. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020]

Mes	Parámetros	Planta Parsons	
		Ingreso	Salida
Enero	Sal (PTB)	7,88	4,15
	Eficiencia (%)	47,33	
	BSW (%)	3,87	4,15
Febrero	Sal (PTB)	7,44	4,34
	Eficiencia (%)	41,67	
	BSW (%)	2,84	0,21
Marzo	Sal (PTB)	7,37	4,54
	Eficiencia (%)	38,40	
	BSW (%)	2,87	4,54
Abril	Sal (PTB)	7,5	4,5
	Eficiencia (%)	40	
	BSW (%)	3,4	0,2
Mayo	Sal (PTB)	*	*
	Eficiencia (%)	*	
	BSW (%)	*	*
Junio	Sal (PTB)	6,20	4,35
	Eficiencia (%)	29,84	
	BSW (%)	1,60	0,21
Julio	Sal (PTB)	6,51	3,89
	Eficiencia (%)	40,25	
	BSW (%)	1,68	0,22
Agosto	Sal (PTB)	7,70	4,98
	Eficiencia (%)	35,32	
	BSW (%)	2,56	0,28
Septiembre	Sal (PTB)	8,19	4,97
	Eficiencia (%)	39,32	
	BSW (%)	2,41	0,27
Octubre	Sal (PTB)	8,21	4,74
	Eficiencia (%)	42,27	
	BSW (%)	2,70	0,33
Noviembre	Sal (PTB)	7,86	4,55
	Eficiencia (%)	42,11	
	BSW (%)	2,13	0,23

Diciembre	Sal (PTB)	7,80	4,47
	Eficiencia (%)	42,69	

Resultado de Análisis de Crudo Desalado Año 2021. [Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2021b]

Mes	Parámetros	Planta Parsons	
		Antes	Después
Enero	Sal (PTB)	7,99	5,24
	Eficiencia (%)	34,42	
	BSW (%)	2,67	0,25
Febrero	Sal (PTB)	8,20	4,21
	Eficiencia (%)	48,66	
	BSW (%)	2,76	0,31
Marzo	Sal (PTB)	8,32	4,72
	Eficiencia (%)	46,27	
	BSW (%)	2,73	0,27
Abril	Sal (PTB)	8,43	4,85
	Eficiencia (%)	45,80	
	BSW (%)	2,20	0,30