



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS “CAMILO CIENFUEGOS”  
FACULTAD DE CIENCIAS TECNICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**

**Utilización de condensado para la sustitución de agua  
técnica en la Planta de Tratamiento Cáustico en la  
Refinería de Cienfuegos S.A**

**Trabajo final en opción al Título Académico de  
Especialista en Tecnologías de Refinación de Petróleo**

**Autora: Ing. Diana Ivis Mendoza Valdivia**

**Matanzas, 2018**



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS “CAMILO  
CIENFUEGOS”  
FACULTAD DE  
CIENCIAS TECNICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E  
INGENIERÍA QUÍMICA**



**CENTRO POLITÉCNICO  
DEL PETRÓLEO  
SEDE CIENFUEGOS**

**Utilización de condensado para la sustitución de agua  
técnica en la Planta de Tratamiento Cáustico en la  
Refinería de Cienfuegos S.A**

**Trabajo final en opción al Título Académico de  
Especialista en Tecnologías de Refinación de Petróleo**

**Autora: Ing. Diana Ivis Mendoza Valdivia**

**Tutores: Esp. Ramiro Rodríguez Tabares**

**Dr. C. Jesús Luis Orozco**

**Matanzas, 2018**



# DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Diana Ivis Mendoza Valdivia, mayor de edad, vecino de Calle José Luis Robau 201 E/ Calle General Esquerra y Calle José María Heredia, Cruces, Cienfuegos, identificado con CI-92052336499, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del presente trabajo denominado:

## **Utilización de condensado para la sustitución de agua técnica en la Planta de Tratamiento Caustico en la Refinería de Cienfuegos S.A**

Hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos en formato, además de 2 copias impresas. Autorizo a la Universidad de Matanzas para que use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución que me correspondan como creador de la obra, objeto del presente documento. La presente autorización se hace extensiva no solo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también, para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, internet e intranet.

Manifiesto que la obra objeto de la presente autorización, es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma.

Para constancia se firma el presente documento a los 29 días del mes Octubre de 2018.

## **EL AUTOR**

---

Diana Ivis Mendoza Valdivia

## **Pensamiento**

*“El petróleo no es ni una cosecha ni una renta, sino el consumo continuo de un capital depositado por la naturaleza en el subsuelo. Todo capital que se consume y no se reproduce tiene su término”*

*Arturo Uslar Pietri*

## **Agradecimientos**

*A mi familia*

*Por apoyo incondicional que siempre me han brindado para llegar a cumplir mis metas*

*A mi novio*

*Que en este tiempo ha sido un gran apoyo para mí.*

*A mis compañeros trabajo y profesores del Centro Politécnico del Petróleo*

*Por siempre brindarme toda la información necesaria para llegar a mis resultados finales.*

*Al claustro de profesores de la especialidad en la universidad de Matanzas*

*Por toda la enseñanza y sabiduría brindada durante todo el periodo de aprendizaje.*

*A mis consultantes*

*Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas, Alexis González Martínez y Noxoly Díaz Stable, que siempre que necesite de su ayuda estuvieron presentes sin escatimar esfuerzo alguno.*

*A mis tutores Ramiro Rodríguez Tabares y Jesús Luis Orozco*

*Por hacerme un espacio en su agenda tan complicada y transmitirme sus conocimientos.*

***“Gracias a todo aquel que de una forma u otra ha contribuido a mi formación como profesional durante mi estancia en la Refinería de Cienfuegos S.A”***

## RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”, ubicada en la provincia de Cienfuegos. Este tiene como objetivo valorar el empleo de los condensados obtenidos en la refinería para el lavado del turbo combustible, este condensado proviene de la planta de aminas y de todas las plantas que integran la combinada. De esta forma garantizar un agua de lavado con mejor calidad para su utilización en los procesos tecnológicos y evitar deposiciones. En la actualidad el bloque de condensado no se encuentra en explotación. Este proyecto evalúa y caracteriza el agua de lavado actual y el condensado recuperado, en función de comparar sus parámetros de calidad y diagnosticar que con el uso de éste se obtengan mejoras en el producto final en cuanto a su calidad, ya que utilizando este como agua de lavado se evita que al producto final sean arrastradas impurezas mecánicas. El bloque de condensado fue diseñado y construido para recuperar todo el condensado proveniente del sistema. Se desarrolla un esquema definido de todo el proceso tecnológico desde la producción de vapor en las calderas hasta la planta de tratamiento caustico. Luego se realiza una evaluación económica dando a conocer los resultados obtenidos donde se garantiza un ahorro eficiente en el presupuesto de la industria.

Palabras Claves: Condensados, lavado, calidad, producto, evaluación, ahorro.

## **ABSTRACT**

The present work was carried out at the "Camilo Cienfuegos" Oil Refinery, located in the province of Cienfuegos. The purpose of this is to assess the use of the condensates obtained in the refinery for the washing of the fuel turbo, this condensate comes from the amines plant and from all the plants that make up the combined one. In this way guarantee a better quality wash water for its use in technological processes and avoid depositions. At present, the condensate block is not in operation. This project evaluates and characterizes the current washing water and the recovered condensate, in order to compare its quality parameters and diagnose that with the use of this one, improvements in the final product are obtained in terms of its quality, since using it as water of washing, mechanical impurities are prevented from being washed into the final product. The condensate block was designed and built to recover all the condensate coming from the system. A defined scheme of the entire technological process is developed from the steam production in the boilers to the caustic treatment plant. Then an economic evaluation is carried out, making known the results obtained where an efficient saving in the industry's budget is guaranteed.

Key words: Condensates, washing, quality, product, evaluation, saving.

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1. Análisis Bibliográfico .....	3
1.1 Generalidades sobre las características del agua técnica de lavado.....	3
1.1.1 Calidad del agua.....	4
1.1.2 Usos del agua en procesos industriales. ....	7
1.1.3 Agua químicamente tratada.....	8
1.1.4 Aguas agrias.....	9
1.2 Sistema de agua.....	10
1.2.1 Agua técnica.....	10
1.2.2 Aguas recirculantes .....	11
1.3 Condensado.....	12
1.3.1 Sistemas de recuperación de condensado Venteados vs. Presurizados. .....	12
1.3.2 Recuperación de condensado. ....	13
1.4 Impacto Positivo para la Seguridad y el Medio Ambiente. ....	13
1.5 Trampas de vapor.....	14
1.5.1 Tipos de trampas de vapor. ....	14
1.6 Efecto de las sales.....	16
1.6.1 Corrosión.....	16
1.7 Esquemas de lavado en procesos de refinación.....	20
1.8 Sistemas de separación. Consideraciones básicas.....	21
1.8.1 Principios de la separación.....	22
1.9 Conclusiones parciales .....	24
Capítulo 2. Materiales y Métodos .....	25

2.1 Descripción de flujo del proceso tecnológico. ....	25
2.1.1 Sección de lavado con agua.....	25
2.2.2 Función del agua de lavado.....	26
2.3 Características del turbo combustible JET A-1. ....	28
2.4 Caracterización y descripción del proceso de colección de condensado.....	29
2.4.1 Mediciones y periodo en que se realizan.....	31
2.5 Uso actual del condensado.....	31
2.5.1 Estimación del volumen de condensado que se obtiene. ....	32
2.6 Procedimiento de cálculos. ....	33
2.6.1 Cálculo de la cantidad de agua de lavado para lavar el turbo combustible.....	33
2.6.2 Procedimiento para el cálculo de la cantidad de condensado recuperado en plantas. ....	33
2.7 Procedimiento para los cálculos económicos.....	33
2.7.1 Procedimiento de cálculo para cuantificar el efecto económico debido a la sustitución de agua técnica por condensado recuperado. ....	33
2.7.2 Procedimiento de cálculo para determinar el efecto económico por concepto de sustitución del agua técnica por condensado.....	34
2.7.3 Procedimiento para determinar el costo operacional una vez reactivado el bloque de condensado.....	34
2.7.4 Procedimiento para determinar el costo de inversión del bloque de condensado y la nueva alineación hasta la planta de tratamiento cáustico....	35
2.7.5 Calculo para cuantificar una vez sustituido el agua de lavado actual por condensado y determinado el costo total de la reactivación del bloque de condensado que adquiere la empresa.....	35
2.8 Metodología de cálculo para el diseño de un tambor separador líquido-líquido. ....	35

2.9 Procedimiento para determinar el costo del módulo a instalar.....	37
Capítulo 3. Resultados y discusión .....	38
3.1 Proceso del lavado con agua. Parámetros Operativos. ....	38
3.2 El objetivo del siguiente cálculo es conocer la cantidad de agua requerida para el lavado del turbo combustible en la planta Merox. ....	39
3.3 Cálculo de la cantidad de condensado recuperado. ....	39
3.4 Evaluación económica de la propuesta tecnológica.....	41
3.4.1 Cálculos para cuantificar el ahorro económico debido a la sustitución de agua técnica por condensado recuperado para un año.....	41
3.4.2 Cálculo para determinar el efecto económico por concepto de sustitución del agua técnica por condensado. ....	43
3.4.3 Calculo para determinar el costo operacional una vez reactivado el bloque de condensado.....	43
3.4.4 Cálculo para determinar el costo de inversión del bloque de condensado y la nueva alineación hasta la planta de tratamiento cáustico. ....	46
3.6 Valoración de la instalación de un tambor separador líquido – líquido para la recuperación de turbo combustible. ....	47
3.5 Cálculo para determinar el costo del módulo a instalar. ....	48
3.6 Calculo económico para cuantificar el ingreso que aporta la recuperación del turbo combustible en el agua de lavado, teniendo en cuenta que este se recupera como diésel especial. ....	49
Conclusiones Generales .....	51
Recomendaciones.....	52
Bibliografía .....	53
Anexos .....	57

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria petrolera debe buscar alternativas que permitan hacer uso eficiente de los servicios industriales y las dirijan hacia la productividad y mayor calidad. Una de las alternativas es la recuperación de condensado, que permite disminuir el consumo de agua técnica y aumenta la calidad del producto final.

En abril de 2006 las empresas PDV S.A (Petróleos de Venezuela) y CUPET S.A (Cuba Petróleo) firmaron los acuerdos para constituir la empresa mixta PDV-CUPET S.A, e iniciándose la reactivación de la refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos". Con aras de elevar la producción y mejorar la calidad del turbo combustible se decide reactivar y poner en servicio la planta Merox, que está diseñada para un sistema de tratamiento con soda cáustica para producir aero-combustibles bajo especificación JP1, y diseñado para procesar 1 750 m<sup>3</sup>/d de queroseno, en lo adelante fracción Jet A-1.

La corriente de alimentación (fracción de Jet A-1) al sistema de tratamiento contiene un promedio máximo de acidez de 0,03 mg KOH/g por lo que requiere ser lavada con soda cáustica para extraer los ácidos nafténicos, fenoles, mercaptanos ligeros y otros ácidos orgánicos para cumplir con un valor máximo de acidez en el producto de 0,015 mg KOH/g (Saavedra, 2015).

El lavado con soda cáustica es completado con un sistema de purificación y filtrado, instalado aguas abajo de la etapa de extracción, cuyo objetivo es ajustar aquellas especificaciones de JP1 que no pueden ser corregidas con un tratamiento cáustico. El diseño aguas abajo consiste en un lavado con agua para extraer las sales sódicas (naftenatos de sodio, fenolatos y mercaptoalquilatos de sodio) contenidas en la fracción de Jet A-1, una filtración con sal de roca (mineral) para remover el agua libre de la fracción de Jet A-1 y por último una filtración con arcilla donde se eliminan los sólidos, la humedad residual, los compuestos surfactantes (jabones) y las emulsiones, según sea requerida para cumplir con la especificación JP1 en producto.

El depósito de sales de amonio, en los enfriadores puede producir corrosión acompañados de la deposición en las zonas frías (Gil y Fundora, 2009), impidiendo su funcionamiento, causando fugas, incendios. Además, causan fallos, parada de equipos importantes para el proceso, en particular los compresores, provocando la salida de línea de éstos con la

necesidad de intervenirlos reiteradamente para el mantenimiento con el consiguiente incremento de los costos de mantenimiento y operaciones.

El agua de lavado evita la acumulación de sales y la corrosión de las superficies de intercambio de calor, especialmente en las zonas donde hay interfaces de líquidos y gas y donde hay cambios bruscos de temperatura en las superficies de transferencia de calor. Para el lavado se requiere buscar nuevas fuentes de agua de lavado que satisfagan los requerimientos del proceso y en particular la calidad del agua.

Debido a los problemas mencionados anteriormente y basado en la situación actual sobre el uso del condensado recuperado, además en vista a mejoras económicas y de calidad para el producto final, es necesario sustituir el agua técnica de lavado por el condensado, ya que este contiene un menor volumen de sales, el cual es capaz de extraer mediante el proceso de lavado mayor cantidad de sales amoniacales e impurezas mecánicas. En tal sentido es necesario utilizar el condensado recuperado y garantizar una mejor agua de lavado que propicie una mejor calidad del producto final.

De acuerdo a lo anterior se identifica el siguiente **problema científico**:

¿Cómo disminuir el consumo de agua técnica empleada en el proceso de lavado del turbo combustible?

Según el problema identificado anteriormente se concibe la siguiente **hipótesis**:

Empleando los condensados obtenidos en el proceso de refinación, en el lavado del turbo combustible se logrará una disminución del consumo del agua técnica.

Para poner en práctica esta hipótesis se traza el siguiente **objetivo general**:

Valorar el empleo de los condensados obtenidos en la refinería para el lavado del turbo combustible.

Proponiéndose así los siguientes **objetivos específicos**:

1. Realizar un análisis bibliográfico sobre la recuperación de condensados y el lavado del turbo combustible en una refinería.
2. Caracterizar los condensados obtenidos en el proceso de refinación.
3. Valorar la reactivación del sistema de recuperación de condensado para el lavado del turbo combustible.
4. Valorar la factibilidad de un sistema de recuperación de turbo combustible en el agua de lavado.

## Capítulo 1. Análisis Bibliográfico

El presente trabajo es el resultado de una investigación bibliográfica sobre el uso del condensado recuperado para mejoras económicas y en la calidad del producto final.

### 1.1 Generalidades sobre el agua.

El agua, es el recurso más importante para la humanidad, esencial para todas las actividades sociales, económicas y ambientales, es la fuente de toda vida en la tierra, regula el clima y la temperatura del planeta, es de fácil y rápido acceso, y se piensa que es ilimitado, lo cual no es así, y por falta de preocupación sobre este recurso por parte de las personas, actualmente se ha convertido en un recurso escaso, amenazado y en peligro de desaparecer, ya que si bien, es un recurso potencialmente renovable debido al ciclo hídrico que ocurre en la naturaleza, la contaminación ambiental produce problemas en este proceso; el humo y los gases formados por las fábricas, industrias y automóviles se mezclan con el agua de la atmósfera convirtiendo la lluvia en lluvia ácida, y además, debido al uso de fertilizantes, muchos de los depósitos subterráneos; lagos y arroyos, que abastecen a poblaciones, animales acuáticos y plantas, se encuentran contaminados y cuesta demasiado trabajo y dinero remover sus impurezas.

Se sabe que, el 97,5% de agua en la tierra se encuentra en los océanos y mares de agua salada, y únicamente el 2,5% restante es agua dulce. De este 2,5% de agua dulce, el 68,7% se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas más altas, las cuales se encuentran en estado sólido, un 30,1% se encuentra en aguas subterráneas y acuíferos profundos, y un 0,8% se encuentra como permafrost (capa en el subsuelo de la corteza permanentemente congelada), por lo tanto solo un 0,4% del agua dulce del mundo, circula por las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos, los cuales se depositan en lagos, lagunas y en otros cuerpos superficiales de agua. Por consiguiente, solo el 0,0001% del total de agua del planeta, corresponde a agua dulce en forma de ríos, arroyos, lagos, entre otros cuerpos superficiales, los cuales son el agua que realmente se encuentra disponible para todos los usos humanos directos. Cabe destacar, que la población mundial está creciendo a alrededor de 80 millones de personas al año, lo que implica una mayor demanda de agua dulce; de unos 64 mil millones de metros cúbicos anualmente. A nivel

mundial, la agricultura es por lejos el mayor consumidor de agua dulce, representa el 70% de las extracciones de agua dulce de los ríos, lagos y acuíferos, incluso hasta más del 90% en algunos países en desarrollo. Lo sigue el uso doméstico, urbano, con un rango de consumo del 10-20%, la industria con un 5-10% y la energía de refrigeración con 1-2%.

### **1.1.1 Calidad del agua.**

Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito.

Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.

Con respecto a la calidad del agua, un informe de Naciones Unidas (UNESCO, 2016) destaca que la calidad de la misma está disminuyendo en muchas regiones del mundo. Las cifras muestran que se está deteriorando rápidamente la diversidad de los ecosistemas y las especies vegetales y animales de agua dulce, con frecuencia, a un ritmo más acelerado que en el caso de los ecosistemas terrestres y marinos. El informe resalta que, para funcionar como es debido, el ciclo hidrológico del que depende la vida en la tierra necesita un medio ambiente saludable.

El contenido de oxígeno es una variable crítica del agua de lavado que depende del pH del agua de proceso. La presencia de oxígeno aumenta el potencial de corrosión debido a la picadura de cloruro y justo aguas abajo del punto de inyección del agua (Marín, 2010) (Campos, 2009). El oxígeno también aumenta la corrosión debido a sulfuros, especialmente a las concentraciones más bajas de bisulfuro (pH más bajo) presentes en el punto de inyección del agua. El oxígeno es un oxidante fuerte y reacciona con el ion bisulfuro para formar azufre elemental (Dickerson, 1992). En ciertas condiciones de pH y temperaturas más bajas, el azufre elemental es estable y hará que el ensuciamiento y la corrosión en este sistema sea agrio y húmedo (Fernández, 2004); (Lipesa, 2009). Sin embargo, en condiciones de pH por encima de 8 aproximadamente, el azufre elemental posteriormente reacciona con hidrosulfuro de amonio ( $\text{NH}_4\text{HS}$ ) en el agua agria para formar polisulfuro de

amonio, que puede actuar como un inhibidor de la corrosión aguas abajo en este sistema (Dominguez, 1987).

Normalmente las aguas residuales contienen hidrocarburos, materiales disueltos, líquidos en suspensión, fenoles, amoníaco y sulfuros. Dichas aguas proceden del vapor condensado, el agua de separación, la descarga procedente de la purga de torres de refinación, de calderas, el agua de lavado, las aguas procedentes del proceso de desalación del crudo, el agua de neutralización de residuos ácidos – alcalinos y otras aguas relacionadas con los procesos.

En estos procesos siempre se condensa vapor en presencia de gases con cantidades variables de sulfuro de hidrógeno o amoníaco, se producen corrientes conocidas como aguas ácidas.

Las aguas residuales procedentes de la producción de petróleo contienen gran variedad de sustancias químicas, metales pesados y otras toxinas. Según (Decoopman, 2002), estas aguas residuales sumamente contaminadas se vierten a balsas abiertas antes de pasar al alcantarillado. Los gases del petróleo de desecho son quemados en las chimeneas o directamente en las balsas.

El contenido de oxígeno del condensado o del agua de alimentación de la caldera debe ser revisado. El condensado puede ser aireado dependiendo de dónde y cómo se está almacenando. Si el condensado viene directamente de un tambor de evaporación, los niveles de oxígeno pueden estar por debajo en comparación con un tanque de condensado frío o en un manto de nitrógeno. El agua de alimentación de la caldera debe tomarse aguas abajo del purgador de aire o desaereador. Las aguas ácidas despojadas, sin embargo, son generalmente libres de oxígeno por lo que son también recomendadas para el lavado.

Los niveles de hierro deben ser bajos porque el hierro en el agua va a formar sulfuro de hierro insoluble y se podría depositar en los tubos y equipos. Los sólidos en suspensión se deben mantener al mínimo también. Las partículas pueden obstruir la boquilla de pulverización o la válvula dependiendo del diseño. Además de la principal fuente de agua, algunos lugares pueden tener una fuente alternativa de agua para su uso cuando la fuente principal no está disponible. La calidad de estas fuentes alternativas se debe revisar si son necesarios durante períodos prolongados (API, 2004).

✓ **Oxígeno disuelto.**

El oxígeno está presente en las aguas naturales en concentraciones entre 6 y 8 mg/l. Así como en la mayoría de las reacciones orgánicas y en los procesos de corrosión, por lo cual su medida y control es importante en los medios acuosos. La presencia de oxígeno en las aguas de lavado puede formar hidróxidos con iones hidrógeno elevando así los niveles de corrosión en el sistema por lo que se hace necesario el tratamiento de este para su eliminación (AENOR, 1997); (Ramalho, 2003).

✓ **Conductividad.**

Este indicador representa al contenido total de iones presente en el agua. En la práctica se acostumbra a relacionar la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. La prueba o determinación de conductividad no mide la presencia de ningún ion (átomo o grupo de átomos que llevan una carga eléctrica) en particular sino más bien una medida de la concentración total de iones (AENOR, 1997); (García y otros, 2008); (Ramalho, 2003).

✓ **Dureza total.**

El término Dureza se ha utilizado tradicionalmente para referirse a los cationes alcalinotérreos que se hayan disueltos en el agua. Cuando se denomina dureza total, se refiere a la concentración total de iones calcio y magnesio. También, se emplea el término dureza temporal para indicar la concentración de calcio y magnesio disueltos que precipitan en forma de carbonatos; lo cual ocurre cuando, por efecto del calentamiento del agua a ebullición, se desplaza el equilibrio y se favorece la conversión del hidrogeno carbonato,  $\text{HCO}_3^-$ , en carbonato,  $\text{CO}_3^{2-}$ . La concentración de iones calcio y magnesio que permanecen en solución luego de someterse a ebullición el agua es denominada dureza permanente. Los iones de alcalinotérreos presentes en el agua son producidos cuando ácidos disueltos en el agua entran en contacto con rocas calizas (Capote y Rojas, 2015).

✓ **Alcalinidad total.**

La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables; el valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final empleado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es

primariamente una función del contenido de carbonato, bicarbonato e hidróxido, se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos también pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos, u otras bases que estén presentes. La alcalinidad superior a las concentraciones de metales alcalinotérreos es significativa para determinar la aptitud de un agua para irrigación.

Las mediciones de alcalinidad se emplean en la interpretación y control de los procesos de tratamiento de aguas. Las aguas residuales domésticas tienen una alcalinidad menor, o ligeramente mayor, que la del agua de suministro. Los iones hidroxilo presentes en una muestra como resultado de disociación o hidrólisis de solutos reaccionan con adiciones de ácido estándar. En consecuencia la alcalinidad depende del pH de punto final empleado (Colectivo de autores, 2005); (Cáceres, 2013).

### **1.1.2 Usos del agua en procesos industriales.**

El uso del agua es crucial en muchos procesos industriales, el agua residual resultante es un potencial contaminante ambiental, si no se efectúa el tratamiento respectivo, de allí la importancia de un programa de control de vertimientos de cada tipo de agua industrial (Handewerk & Gary, 2006).

El control de la emisión de aguas industriales requiere conocimiento del volumen de agua utilizada por unidad de tiempo y de su calidad. Además, implica el conocimiento de las normas de calidad del agua que recibe la industria y la que desecha.

Según el uso, las aguas industriales proceden de plantas de tratamiento de agua, de calderas, de intercambiadores de calor y de procesos. Algunas industrias necesitan realizar un tratamiento al agua que reciben con el fin de obtener la calidad requerida para cada uso. A continuación se mencionan varios tipos de aguas residuales de diferentes procesos utilizados.

#### **✓ Sedimentación.**

Generalmente utiliza coagulantes como aluminio o sales de hierro. El material sedimentado y removido del fondo del tanque de sedimentación (lodo), contiene aproximadamente 8% de sólidos y 92% de agua. El agua resultante de este proceso puede recircularse a la operación inicial. La única pérdida de agua es la que contiene finalmente la torta de lodos, usualmente de 50 a 75% de su peso.

✓ **Ablandamiento.**

Consiste en la remoción de iones de calcio y magnesio que contiene el agua en un intercambiador de cationes o por tratamiento con cal y soda. El lodo sedimentado resultante contiene carbonato de calcio e hidróxido de magnesio. El material final después de reciclar el lodo puede tener una concentración de 25% de sólidos y 75% de agua.

✓ **Filtración.**

El lavado de filtros con corriente de agua limpia origina agua de desecho que contiene los sólidos retenidos en el filtro. Los filtros se utilizan también para separar el hierro precipitado del agua de pozo, la cual ha sido aireada para oxidar el ion ferroso o férrico. El agua utilizada para el lavado de estos filtros puede usarse nuevamente en esta operación.

✓ **Intercambio iónico.**

Utilizado para aguas blandas mediante un material de intercambio catiónico que remueve el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) y los reemplaza con sodio (Na). El material intercambiador generalmente es cloruro de sodio (NaCl) y el agua de desecho después de este proceso contiene  $\text{CaCl}_2$ , cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ) y el exceso de NaCl empleado (Dickerson, 1992).

✓ **Desmineralización.**

Emplea intercambiadores catiónicos y aniónicos que produce agua de calidad similar a la destilada. Los intercambiadores pueden ser de hidróxido de amonio, cáustico, ácido sulfúrico o ácido clorhídrico. El intercambiador catiónico reemplaza los cationes con hidrógeno; así se obtiene un agua ácida que requiere ser desgasificada para retirar el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

### **1.1.3 Agua químicamente tratada.**

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes con la adición de productos químicos gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas se conocen con el nombre de procesos químicos unitarios, entre los cuales se puede encontrar la precipitación química, desoxigenación química, intercambio iónico, electrodiálisis y osmosis inversa (De la Peña y otros, 2013); (García y otros, 2008).

✓ **Suavización por precipitación**

La suavización por precipitación consiste en la eliminación de los cationes formadores de incrustaciones por medio de la adición de reactivos químicos como hidróxido de calcio y de sodio, carbonatos de sodio y fosfatos, cuyos aniones forman sales insolubles con los cationes de calcio y magnesio. Estas sales son: carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, fosfato de calcio y fosfato de magnesio, las cuales son eliminados en los filtros y en las extracciones de los equipos. Estos métodos por precipitación tienen baja eficiencia no mayor del 70%, por lo cual se usa combinado con otros métodos (Peraza, 2009).

**1.1.4 Aguas agrias.**

Las aguas agrias son las aguas utilizadas en los procesos, provienen del vapor de despojamiento, del agua contenida en el crudo, del vapor usado en los eyectores, tambores y válvulas para evitar taponamiento, y del vapor de velocidad en los hornos; y contiene fenoles y sulfuro de hidrógeno. Esta es tratada para ser reutilizada o enviada a la unidad de tratamiento de efluentes. Esta agua tiene alto contenido en sulfuro de hidrogeno y amoniaco ( $H_2S$  y  $NH_3$ ). Una vez recolectada, es sometida a efecto de despojamiento para ser tratada. En el mejorador existen tres trenes de tratamiento de agua, donde es procesada en forma separada el agua fenólica de la no-fenólica. Los gases del proceso provenientes de aguas agrias y de la unidad de regeneración de aminas son enviados a la unidad de recuperación de azufre, donde el  $H_2S$  es transformado a azufre líquido por medio del proceso *Claus*, y el  $NH_3$  es destruido térmicamente (Urpí, 2007); (González, 2017).

Dentro de los problemas de corrosión, que se presentan en la refinación del petróleo, uno de los principales es el relacionado con los medios amargos generados en las torres de destilación de las plantas primarias. Los estudios que se han hecho tratando de apegarse a las condiciones de operación en las que se tienen medios amargos han aumentado en los últimos 10 años, en que las características de los crudos obtenidos han cambiado para dar como resultado ambientes corrosivos mucho más agresivos que antes. En cuanto al material, el acero al carbono es ampliamente utilizado como un material de construcción en muchas industrias debido a sus excelentes propiedades mecánicas y bajo costo, por lo que la evaluación del mismo puede aportar mucha información útil al campo del control de la corrosión en la industria. Por otro lado el agua amarga es un agua residual con contenido de

sulfuros y cloruros, entre otros componentes; este tipo de aguas resulta muy dañino para los equipos metálicos que se encuentran en contacto con ella, produciendo velocidades de corrosión muy importantes y que llevan a fallas o desgaste del material (Cruz, y otros, 2013).

Desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de los residuos ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas, ya que surgió la necesidad de deshacerse tanto de las excretas como de los restos de alimentación. Durante las últimas décadas de este siglo, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial (Espigares y otros, 2013).

Los problemas que presentan los residuales peligrosos son muy complejos. Normalmente, las aguas residuales contienen hidrocarburos, materiales disueltos, líquidos en suspensión, fenoles, amoníaco, sulfuros y otros compuestos. Dichas aguas proceden del vapor condensado, el agua de separación, la descarga procedente de la purga de torres de refrigeración y calderas, el agua de lavado, las aguas procedentes del proceso de desalación del crudo el agua de neutralización de residuos ácidos –alcalinos, y otras aguas relacionadas con los procesos.

## **1.2 Sistema de agua.**

### **1.2.1 Agua técnica.**

Con el objetivo de suministrar ininterrumpidamente el agua para las necesidades de producción de la refinería se prevé un tanque de acero que almacenan 10 000 m<sup>3</sup> de agua garantizando una reserva aproximadamente de 5 días con una demanda diaria de 1 530 m<sup>3</sup> /d.

Estos tanques reciben agua desde la Potabilizadora de Abreus, la entrada de agua es cuantificada mediante un hidrómetro, la estabilidad de este la garantiza un filtro que lo antecede.

Este sistema tiene la facilidad de incorporar como agua técnica las aguas pluviales almacenadas en las piscinas que pueden ser utilizadas para reposición de pérdidas en los

sistemas de recirculación y para la producción de vapor en la caldera (Colectivo de autores, 2015).

### **1.2.2 Aguas recirculantes**

Las especificaciones que debe reunir un agua de enfriamiento varían mucho ya que dependerán de la fuente de uso industrial al que sean destinados así como de material del equipo de enfriamiento. En términos generales se pueden considerar que el agua de enfriamiento debe reunir las siguientes especificaciones generales:

- ✓ No debe ser corrosiva
- ✓ No debe formar incrustaciones
- ✓ No debe causar taponamiento ni depósitos orgánicos o inorgánicos en el equipo.

En la Refinería Cienfuegos S.A, el objetivo fundamental de este sistema es el enfriamiento de las aguas calientes que retornan a la planta después del enfriamiento de equipos y aparatos tecnológicos y recircularla nuevamente a los consumidores con los parámetros requeridos para ser utilizada.

Después del enfriamiento de equipos y aparatos, el agua caliente a  $42^{\circ}\text{C}$  y presión residual retorna a la planta (II sistema), directamente por la parte superior de las torre de enfriamiento entran primeramente al separador de aceite, sin embargo el agua que retorna (I sistema) previendo la separación de cualquier partícula de hidrocarburo que pueda venir emulsionada con el agua a causa de desperfectos en los equipos a los cuales enfría o en los procesos en los que interviene. En el separador de aceite se realizan dos operaciones para limpiar el agua; la evacuación de los hidrocarburos y del fango de petróleo, para volver a pasar por el proceso de enfriamiento al ponerse en contacto con el aire que atraviesa a contra corriente toda la superficie de la torre. Del Separador de aceite el agua continua hacia la cámara de recepción de agua caliente desde donde es succionada para ser enviada a la torre de enfriamiento.

Una vez que el agua enfriada a  $32^{\circ}\text{C}$  se colecta en las piscinas de ambas torres continúa por gravedad desde donde es bombeada a los consumidores del (I sistema) y (II sistema) (Robles, 2013); (Colectivo de autores, 2015).

### **1.3 Condensado**

El proceso de condensación es un cambio de fase de una sustancia del estado gaseoso (vapor) al estado líquido, suele tener lugar cuando el gas es enfriado hasta su punto de rocío. El líquido obtenido recibe el nombre de condensado. En la industria el condensado es un producto secundario de la transferencia de calor en un sistema de vapor. Se forma en el sistema de distribución debido a la inevitable existencia de radiación. También se forma en equipos de calentamiento y de proceso debido a la transferencia de calor del vapor a la sustancia que se desea calentar. Una vez que el vapor se condensa por haber cedido todo su calor, el condensado caliente se debe de remover inmediatamente. El condensado todavía es agua caliente con valor energético.

El paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura, generalmente se produce a presiones cercanas a la ambiental. Cuando se usa una sobre presión elevada para forzar esta transición, el proceso se denomina licuefacción. La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía, así el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético. El equipo industrial o de laboratorio necesario para realizar este proceso de manera artificial se llama condensador (Moris y otros, 2014).

Los sistemas de recuperación de condensados se pueden clasificar como Atmosféricos (venteados) y presurizados (cerrados) dependiendo si el condensado se recupera en un tanque abierto a la atmósfera o es enviado a un recipiente a presión directamente a la caldera.

#### **1.3.1 Sistemas de recuperación de condensado Venteados vs. Presurizados.**

En un sistema venteado de recuperación de condensados, se usa la presión a la entrada de la trampa de vapor o una bomba para llevar el condensado a un tanque colector abierto a la atmósfera, donde puede utilizarse como agua de alimentación a la caldera, precalentamiento u otras aplicaciones de agua caliente.

En un sistema presurizado de recuperación de condensado, éste se mantiene a una presión mayor a la atmosférica durante todo el proceso de recuperación. Generalmente, el condensado presurizado sirve como agua de alimentación a la caldera. Como tanto el vapor flash como el vapor vivo en el retorno vienen presurizados, pueden ser reusados en

aplicaciones como calderas de recuperación (que requieran un intercambiador) y sistemas en cascada.

Además de la presión, otra importante diferencia entre los sistemas venteados y presurizados es la temperatura a la que se recupera el condensado. En el sistema venteado, como el condensado es recuperado a presión atmosférica, la máxima temperatura que podrá tener es un valor un poco menor que 100 °C [212 °F] debido al *flash* que ocurre a dicha temperatura y a la pérdida de energía en la tubería de retorno y en los equipos (Revista TLV, 2018).

**El condensado puede ser reusado de varias formas distintas, por ejemplo:**

- ✓ Como agua caliente de alimentación, cuando el condensado caliente se regresa al deareador de la caldera.
- ✓ Como precalentamiento, en algún sistema de calentamiento compatible.
- ✓ Como vapor, si se reutiliza el vapor *flash*.
- ✓ Como agua caliente, para limpieza de equipos u otras aplicaciones.

**1.3.2 Recuperación de condensado.**

El condensado se produce después de que el vapor transfiere toda su energía térmica y se condensa en forma de agua, de todos modos, en el condensado queda una cantidad significativa de energía térmica. Cada unidad de condensado recuperado significa que se necesita una unidad menos de agua de reposición (Martínez, 2009).

**Retorno de condensado:**

- ✓ Reduce la energía (necesidad de vapor) en el desgasificador.
- ✓ Reduce el agua de reposición.
- ✓ Reduce los productos químicos para tratamiento del agua.
- ✓ Reduce el agua que va al desagüe.

**1.4 Impacto Positivo para la Seguridad y el Medio Ambiente.**

Reducir la cantidad de combustible necesario gracias a la recuperación de condensado equivale a menor contaminación del aire porque se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

Adicionalmente, las líneas de recuperación de condensado reducen las nubes de vapor, disminuyen el ruido generado por la descarga del condensado a la atmósfera y previenen la

formación de charcos de condensado en el piso, mejorándose así el ambiente de trabajo en la planta.

Dependiendo de la cantidad de condensado recuperado y reusado, otros beneficios pueden ser menor frecuencia de las purgas de caldera debido a mejor calidad del agua de alimentación, también menor corrosión en el sistema porque la calidad del agua es constante en toda la red (Revista TLV, 2018).

#### **Sistema abierto.**

El sistema abierto posee un sistema de tuberías de conducción que llevan el condensado desde las trampas de vapor hacia el tanque *flash* y/o desagüe; el tanque descarga el vapor a la atmósfera que ocasiona una pérdida de energía. Se emplea en sistemas en que el condensado es frío (71-82 °C) (Moris y otros, 2014).

#### **Sistema cerrado.**

Se diferencia del anterior en que posee un tanque *flash* cerrado; de esa manera no existe pérdida de energía por venteo. Este sistema es mucho más eficiente que el abierto y es empleado en aquellos equipos que posean un flujo de condensado de gran presión (alta temperatura 100 °C o más). En estos sistemas se obtiene vapor de expansión que puede ser utilizado en sistemas que empleen vapor de baja presión.

### **1.5 Trampas de vapor.**

Las líneas de condensado transportan flujo en dos fases por lo que se requiere instalar trampas de vapor para drenar los líquido que se forman por la condensación del vapor en tuberías y equipos. Mediante las trampas de vapor se evitan las perdidas por escape de vapor y se logra mantener una temperatura adecuada del proceso. Adicionalmente sirve para descargar el aire y los gases no condensables. Las trampas de vapor deben ubicarse según los requerimientos de cada uno de los procesos por donde circule condensado (Sánchez y otros, 2014); (Martínez, 2009).

#### **1.5.1 Tipos de trampas de vapor.**

- ✓ Mecánicas
- ✓ Termostáticas
- ✓ Termodinámicas

**Trampas mecánicas:** Funcionan bajo el principio de la diferencia de densidades entre el vapor y el condensado. El vapor que ingrese a la trampa se condensa y luego se descarga.

Las trampas de flotador y balde invertido son un ejemplo muy común donde el condensado y el vapor ingresan a la trampa, el vapor debido a su densidad cierra la válvula de salida hasta que el nivel de condensación dentro de la trampa permita que el flotador actúe la válvula lo que permite la salida del condensado (Martínez, 2009).

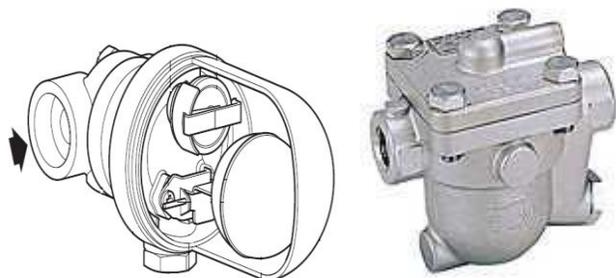


Figura 2.1 Trampas mecánicas.

**Trampas termostáticas:** Operan bajo el principio de diferencia de temperatura el cual es monitoreado por un termostato que compara constantemente la temperatura del condensado con el fin de aprovechar al máximo la temperatura del mismo dentro de los equipos.

Inicialmente el condensado permanece a igual temperatura que el vapor pero con el tiempo tiende a disminuir su temperatura, entonces abre la válvula de la trampa para efectuar el desalojo de condensado presente aguas arriba de la trampa (Martínez, 2009).

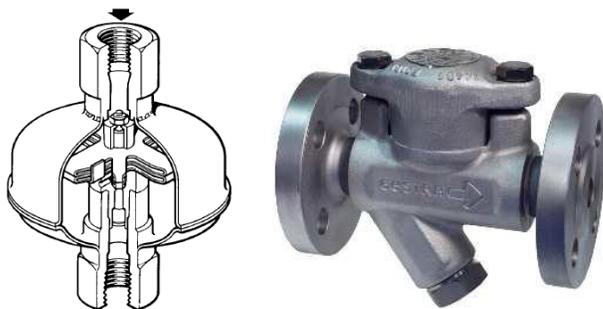


Figura 2.2 Trampas termostáticas.

**Trampas termodinámicas:** Estas trampas operan por diferencia en la velocidad del vapor y el condensado en la superficie de la línea. Normalmente las trampas termodinámicas son utilizadas para evacuar el posible condensado producido en los sistemas de vapor, mediante un disco interno que permite el paso del vapor el cual sella el paso de vapor utilizando el disco hasta que el condensado entra y levanta el disco permitiendo la descarga de condensado (Martínez, 2009).

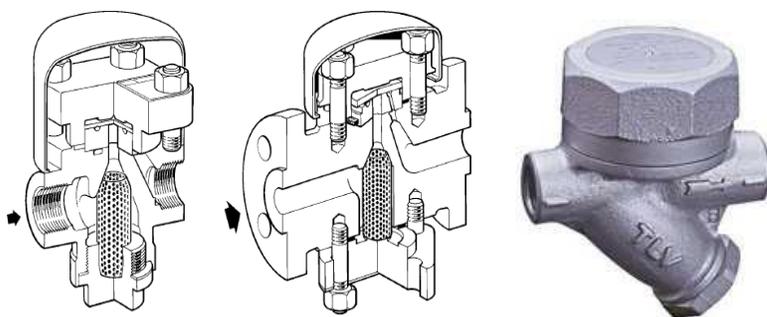


Figura 2.3 Trampas termodinámicas.

## 1.6 Efecto de las sales.

En los procesos de refinación del petróleo uno de los principales problemas, es el relacionado con la corrosión del acero en presencia de medios ácidos amargos ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), generados en los domos y los platos superiores de las torres de destilación y demás equipos. Debido a las diferentes condiciones de operación, a la variación en la concentración de los contaminantes, del pH, de los tratamientos químicos en las cargas de alimentación y en puntos estratégicos, se dificulta su control.

La corrosión es un problema costoso para muchos individuos y organizaciones de manera continua y diaria. Las investigaciones que se han llevado a cabo en la última década así lo demuestra, y corrobora el hecho de que la presencia de sales solubles contaminantes sobre la superficie causa corrosión de manera acelerada y reduce el periodo o tiempo de vida útil estimado de un recubrimiento protector.

En la actualidad no se ha podido controlar eficazmente el deterioro de los equipos, a continuación se presentan los tipos de corrosión siguientes:

### 1.6.1 Corrosión.

Se denomina corrosión al ataque destructivo que sufre un material, generalmente metálico, por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (atmósfera, suelo, agua, etc.). El término corrosión suele referirse normalmente al ataque de los metales, aunque otros materiales no metálicos, como las cerámicos y los polímeros, también pueden ser deteriorados por ataques químicos directos, pero en estos casos suele utilizarse el término degradación. La reacción que se produce en el fenómeno de la corrosión depende de la naturaleza química del entorno, y de la concentración efectiva de las especies reactivas. El

efecto de la corrosión es una alteración de las propiedades de los materiales afectados, que puede venir acompañada de una pérdida de las propiedades de los materiales afectados, como también de una pérdida de material (Gil y Fundora, 2009); (Feliu y Andrade, 1991).

Dentro de los diferentes tipos de corrosión que existen se ven las siguientes:

✓ **Corrosión localizada**

Es el tipo de corrosión que más abunda en sus distintas manifestaciones, es un ataque muy peligroso y difícil de controlar, ya que aunque la pérdida del material es menor, la acción es localizada y pueden aparecer poros y grietas en la superficie del metal que producen paradas e interrupciones en el proceso productivo y en ocasiones accidentes catastróficos. Se caracteriza por zonas anódicas y catódicas bien definidas, lo que trae consigo un intenso proceso de corrosión en la zona anódica. Entre ellas se pueden citar las siguientes:

✓ **Corrosión galvánica: por contacto**

Es un proceso electroquímico en el que un metal se corroe preferentemente cuando está en contacto eléctrico con un tipo diferente de metal (más noble) y ambos metales se encuentran inmersos en un electrolito o medio húmedo. Esta es una de las más comunes que se pueden encontrar. Es una forma de corrosión acelerada que puede ocurrir cuando metales distintos (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito; por ejemplo, una solución conductiva. Esta forma es la que producen las Celdas Galvánicas. Sucede que cuando la reacción de oxidación del ánodo se va produciendo se van desprendiendo electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila (el ánodo) y así se va produciendo el desprendimiento paulatino de material desde la superficie del metal.

✓ **Por celdas de concentración**

La corrosión de celda de concentración de oxígeno puede demostrarse, colgando verticalmente un pedazo de lámina delgada de acero en un vaso picudo de agua. La corrosión se producirá con mayor rapidez en torno al fondo de la lámina de acero que cerca de la superficie. Esto se debe a que el aire se disuelve en la superficie del agua y se difunde hacia abajo. Por consiguiente, en la parte superior de la lámina metálica, la concentración de oxígeno será mayor y esa zona se hace catódica. A mayores distancias bajo la superficie del agua, disminuye la concentración de oxígeno y el acero se vuelve anódico.

✓ **Corrosión intercrystalina**

En una microestructura metálica los límites de grano son zonas vulnerables a la corrosión. Átomos ajenos o impurezas que no se pueden integrar en la estructura cristalina debido a su tamaño excesivo, se agrupan localmente en concentraciones considerables, aun cuando el análisis general sólo muestra trazas del elemento correspondiente. Además, de heterogeneidad mecánica se produce una heterogeneidad electroquímica.

Debido a eso la corrosión se inicia habitualmente en el límite de grano y penetra hacia el interior de la pieza afectada. Se ha observado que las microestructuras fuertemente deformadas son menos susceptibles a este tipo de corrosión a las estructuras recristalizadas de grano grueso.

Los materiales con base cobre se ven generalmente poco afectados por la corrosión intercrystalina. En tubos de S28 y S76 la mínima adición de arsénico para prevenir la deszincificación tiene un doble efecto al contrarrestar la corrosión intercrystalina.

✓ **Corrosión selectiva: exfoliación**

La corrosión por exfoliación es una corrosión subsuperficial que comienza sobre una superficie limpia, pero se esparce debajo de ella y difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar.

Capas completas de material son corroídas y el ataque es generalmente reconocido por el aspecto escamoso y en ocasiones ampollado de la superficie.

Al final del ataque, una muestra tiene la apariencia de un mazo de barajas en el cual algunas de las cartas han sido extraídas. Este mecanismo es bien conocido en las aleaciones de aluminio y se combate utilizando aleaciones y tratamientos térmicos. La corrosión por disolución selectiva se produce al efectuarse la remoción de uno de los elementos de una aleación siendo el ejemplo más común la eliminación del zinc en aleaciones de cobre-zinc, conocido con el nombre de deszincificación. Este fenómeno corrosivo produce un metal poroso que tiene propiedades mecánicas muy pobres y obviamente la solución a este caso es el empleo de aleaciones que no sean susceptibles a este proceso.

✓ **Corrosión por picadura**

La corrosión picadura es la más frecuente de los tipos de corrosión, ya que se presenta en todo tipo de materiales y es la causa de destrucción de materiales pasivables como los aceros inoxidable. Las causas más frecuentes son inclusiones metálicas y no metálicas, depósitos de productos de corrosión y ruptura de las capas pasivas por agentes oxidantes

fuertes como el hierro ( $\text{Fe}^{+3}$ ) y los halógenos. Crecen en sentido de la gravedad y requieren de un período de incubación.

✓ **Corrosión por sulfuro de hidrogeno húmedo**

Existen cuatro tipos de daños relacionados que se producen en ambientes húmedos en presencia de  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ , que se relacionan con la absorción e infiltración de hidrógeno en los aceros.

Ampollas provocadas por el hidrógeno: Se forman como resultado del proceso de corrosión del sulfuro sobre la superficie del acero, los átomos de hidrógeno se difunden en el acero en alguna discontinuidad como inclusiones o defectos de laminación. Los átomos de hidrógeno se combinan para formar moléculas, que al ser demasiado grandes para difundirse, aumentan la presión hasta el punto que se produce una deformación local, formando una ampolla. El hidrógeno es del proceso de corrosión, no de la corriente del proceso.

Grietas inducidas por hidrógeno: Las ampollas de hidrógeno se pueden formar a diferentes profundidades desde la superficie del acero, en el medio o cerca de la soldadura. En algunos casos pueden formarse grietas que se vinculan entre sí, al estar dispuestas a profundidades ligeramente diferentes y cercanas, teniendo una apariencia como pasos de escaleras.

Agrietamiento por tensión de sulfuro: Agrietamiento del metal bajo la acción combinada de la tensión tracción y la acción de la corrosión en presencia de agua y  $\text{H}_2\text{S}$ . Esta puede iniciar en la superficie en zonas muy localizadas de alta dureza y zonas afectadas por el calor.

✓ **Corrosión por HCl**

El HCl acuoso causa corrosión general y localizada, esta corrosión se asocia con el punto de rocío en los vapores que contienen agua y cloruro de hidrógeno que se condensan de la corriente del proceso. El HCl (ac) se puede formar debajo de los depósitos de cloruro de amonio o de sales de clorhidrato de amina en intercambiadores y tuberías. Los depósitos absorben fácilmente el agua de la corriente de proceso o de inyección de agua de lavado. El cloruro de hidrógeno es normalmente no corrosivo en el proceso de corrientes secas, pero se vuelve muy corrosivo donde el agua está disponible para formar ácido clorhídrico. Este mecanismo de degradación se controla monitoreando la concentración de ácido clorhídrico (HCl), la temperatura y composición de la aleación.

La contaminación industrial y atmosférica son las mayores fuentes de sales solubles. Todas las sales solubles en agua no son removidas del acero durante el proceso de preparación de la misma y pueden provocar ampollamiento osmótico del recubrimiento.

### **1.7 Esquemas de lavado en procesos de refinación.**

En la refinación de petróleo, se emplean grandes cantidades de agua para lavar los materiales indeseados de la corriente del proceso, para enfriamiento y producción de vapor, y en los procesos de reacción. Entre los contaminantes principales que se encuentran en los efluentes de las refinerías de petróleo tenemos: aceites y grasas, amoníaco, compuestos fenólicos, sulfuros, ácidos orgánicos, y cromo y otros metales. Se pueden expresar estos contaminantes en términos de su Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el contenido de Carbono Orgánico Total (COT). Además, existe el potencial para contaminar el agua superficial, el suelo y el agua freática debido a las fugas o derrames de las materias primas o productos. La purga del agua de enfriamiento, el agua de lavado o de limpieza, el escurrimiento e infiltración de los patios de tanques, almacén de tubos, áreas de entrega de productos, y módulos de procesamiento, también pueden causar la degradación de las aguas superficiales y freáticas.

Las refinerías generan grandes cantidades de desechos sólidos; los principales son las partículas catalíticas de las unidades de desintegración, finos de coque, sulfuros de hierro, medios de filtración, y diferentes lodos de la limpieza de los tanques, separadores de aceite y agua, y sistemas de tratamiento de las aguas servidas (Scherr, 1991).

Los sistemas de inyección de agua de lavado se configuran, ya sea con uno o múltiples puntos de inyección. La decisión de utilizar un único o múltiples puntos a menudo depende de la configuración de la tubería de entrada (API, 2004).

Para los sistemas desequilibrados, no simétricos, existen múltiples puntos de inyección, que pueden asegurar que el agua se está distribuyendo en cada una de las corrientes de entrada. Múltiples puntos de inyección tienden a estar en la línea de entrada de cada boquilla de entrada (un enfriador por aire puede tener múltiples entradas). Sin embargo, la fiabilidad con múltiples puntos de inyección puede ser pobre, ya que pequeños ramales son más propensos a ser tapados con mayor facilidad.

El tiempo de contacto para la eliminación de los cloruros de la fase de vapor también es limitado, mientras que el punto de inyección único es generalmente mucho más aguas arriba y permite un mayor tiempo de contacto.

Para sistemas equilibrados, simétricos, un único punto de inyección puede ser utilizado, ya que el agua se distribuya por igual y el agua tendrá más tiempo de contacto con la fase de vapor. Sin embargo, algunos usuarios optan por un sistema de inyección múltiple para sistemas equilibrados

Las velocidades de flujo del agua a cada punto de inyección deben ser suficientes para que el agua líquida al menos el 25% permanezca después de la inyección. Para un sistema desequilibrado, puede ser difícil para evaluar el flujo del proceso a través de cada punto de entrada y por lo tanto más difícil de determinar la cantidad de agua necesaria en cada punto de inyección. El material de construcción de las tuberías y de los enfriadores de aire también podría influir en la selección ya que los materiales de aleación son generalmente más tolerantes de la distribución de agua de mala calidad cuando se considera corrosión por hidrogeno sulfuro de amonio ( $\text{NH}_4\text{HS}$ ).

Es recomendado la implementación en los puntos de inyección de atomizadores o boquillas de pulverización para la inyección de agua en la corriente de proceso ya sea a corriente o en contracorriente. El diseño debe asegurar que se consiga un buen contacto con la corriente de vapor del proceso y se evita el choque directo sobre la pared de la tubería.

Los sistemas de inyección de agua de lavado intermitentes deben tener un cierre positivo del agua cuando no esté en uso. Una pequeña cantidad de agua que se escapa puede producir altas tasas de corrosión. El cierre total se realiza generalmente mediante doble bloqueo y válvulas de purga. Si el agua de lavado se usa rara vez, se recomienda la instalación de una válvula de corte (API, 2004).

## **1.8 Sistemas de separación. Consideraciones básicas.**

Prácticamente cada proceso requiere de algún tipo de separación de fases. El término separador es aplicado a una gran variedad de equipos usados para separar mezclas de dos o más fases. Estas mezclas pueden estar formadas por: una fase vapor y una líquida; una fase vapor y una sólida; dos fases líquidas inmiscibles (aceite/agua); una fase vapor y dos líquidas o alguna otra combinación de las anteriores.

El diseño apropiado de los separadores es de suma importancia, debido a que estos tipos de recipientes son normalmente los equipos iniciales en muchos procesos. Un diseño inadecuado puede crear un cuello de botella que reduzca la capacidad de producción de la instalación completa (PDVSA, 1995).

### **1.8.1 Principios de la separación.**

En el diseño de separadores es necesario tomar en cuenta los diferentes estados en que pueden encontrarse los fluidos y el efecto que sobre éstos puedan tener las diferentes fuerzas o principios físicos. Los principios fundamentalmente considerados para realizar la separación física de vapor, líquidos o sólidos son: el momento o cantidad de movimiento, la fuerza de gravedad y la coalescencia. Toda separación puede emplear uno o más de estos principios, pero siempre las fases de los fluidos deben ser inmiscibles y de diferentes densidades para que ocurra la separación (PDVSA, 1995).

### **1.8.2 Tipos de separadores.**

Los equipos de separación, como su nombre lo indica, se utilizan en la industria petrolera para separar mezclas de líquido y gas. Un separador es un recipiente cerrado que trabaja a presión en el cual se separan dos otras fases del fluido producido por los pozos. Cuando se separan dos fases son líquidos y gas, y cuando se separan tres fases son gas, petróleo y agua.

Los separadores se pueden clasificar de varias maneras, dependiendo de las fases que separan, de la forma, de la posición, de la utilización o condiciones de trabajo, entre otros. En cuanto a las fases que separan pueden ser bifásicos o trifásicos, serán bifásicos si solamente separan gas y líquido, y trifásicos si separan gas, petróleo y agua. Los bifásicos son más comunes y los trifásicos se usan generalmente donde "ay crudos livianos y no se presentan emulsiones. En cuanto a la forma pueden ser cilíndricos o esféricos. Los cilíndricos son los más comunes pero los esféricos son bastante usados en campos de gas y cuando deben trabajar a presiones altas. En cuanto a posición, esto se refiere a los separadores cilíndricos, pueden ser verticales y horizontales, estos últimos pueden ser de un solo cilindro o dos. Los verticales se usan cuando hay una relación gas – líquido (RGL) más bien baja y en pozos que puedan tener producción de arena, los "horizontales de un solo tubo se usan cuando se tienen RGL altas pero una tasa líquida estable, y los de dos tubos pueden manejar más fácil producciones altas, dan más tiempo de reposo al líquido

para extraerle el gas y pueden manejar más fácil relaciones gas - líquido altas. De acuerdo a su utilización, en una batería hay separadores de prueba, y generales y separadores de alta y baja presión, estos dos últimos existen cuando a una batería llegan pozos con presiones bastante altas y se requieren dos o más etapas de separación, cada una a una presión menor que la anterior ( Villamizar , 2011).

Según ( Castillo, 2011), en la actualidad, existen varios métodos de separación que se basan en diferencias entre las Propiedades físicas de los componentes de una mezcla, tales como: Punto de Ebullición Densidad, Presión de Vapor, Punto de Fusión, Solubilidad

**Los Métodos más conocidos son:**

✓ **Filtración**

El procedimiento de filtración consiste en retener partículas sólidas por medio de una barrera, la cual puede consistir de mallas, fibras, material poroso o un relleno sólido.

✓ **Decantación**

Consiste en separar componentes que contienen diferentes siempre y cuando exista una diferencia significativa entre las densidades de las fases. Se efectúa vertiendo la fase superior (menos densa) o la inferior (más densa).

✓ **Evaporación**

El procedimiento de Evaporación consiste en separar los componentes más volátiles exponiendo una gran superficie de la mezcla. El aplicar calor y una corriente de aire seco acelera el proceso.

✓ **Destilación**

Consiste en separar los componentes de las mezclas basándose en las diferencias en los puntos de ebullición de dichos componentes.

Para el caso de estudio de este trabajo se realiza un profundo análisis en (Branan, 2002), donde se estudia la metodología necesaria a utilizar para el diseño de un tambor separador líquido-líquido.

## **Conclusiones parciales**

1- En la refinación de petróleo, se emplean grandes cantidades de agua para lavar los materiales indeseados de las corrientes del proceso, el uso racional y adecuado de este tipo de agua redundará por lo tanto en la economía de estas industrias.

2- El diseño de los sistemas de separación es de mucha importancia, debido a que estos tipos de recipientes son normalmente los equipos iniciales en muchos procesos o contribuyen a la recuperación de productos deseados. Un diseño inadecuado puede crear un cuello de botella que reduzca la capacidad de producción de la instalación completa.

## Capítulo 2. Materiales y Métodos

En cada proceso tecnológico de la industria es necesario utilizar agua de lavado debido a la necesidad de obtener una calidad adecuada en el producto final. Para ello es necesario conocer el proceso tecnológico de las unidades donde se requiere sustituir el agua técnica por condensado recuperado. Además, en este capítulo se describe la metodología a utilizar para desarrollar el problema planteado.

### 2.1 Descripción de flujo del proceso tecnológico.

Para visualizar más fácilmente el flujo del proceso de la unidad, se ha dividido en cuatro secciones:

- ✓ Sección de tratamiento cáustico.
- ✓ Sección de lavado con agua.
- ✓ Sección de tratamiento con sal.
- ✓ Sección de tratamiento con arcilla.

#### 2.1.1 Sección de lavado con agua.

La fracción de Jet A-1 que abandona el tratador cáustico D-01, es conducida por presión, hacia el lavador D-02. Previamente, recibe la corriente de agua de lavado impulsada por las Bombas P-03A/B, a un caudal de 7,2 m<sup>3</sup>/h y una presión de descarga de 10 bar. Se emplea Agua de proceso (agua suavizada del Título 52) disponible en el límite de batería de la unidad a una presión de 4 bar y 30 °C. Ambas corrientes pasan a través de una válvula mezcladora e ingresan al Lavador D-02. La caída de presión a través de la válvula de mezcla, se ajusta convenientemente para producir el mezclado de las fases y su íntimo contacto. Por diseño se trabaja a una relación hidrocarburo/agua (HC/Agua) de 10/1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, aproximadamente.

El control de caudal de agua, está vinculado a través del Sistema de Control Distribuido (DCS) con el control de caudal de queroseno, para poder controlar en forma automática esta relación.

La mezcla ingresa al lavador, por la parte superior y en él, se produce la separación de las fases por diferencia entre sus pesos específicos (0,8 vs 1). El equipo tiene una malla interna (ecualizador) para favorecer la coalescencia de las gotas. Cuenta también con un control de nivel de interface, que produce la descarga de la fase acuosa, hacia el sistema de tratamiento de efluentes. La fracción de Jet A-1 sale del lavador, por la parte superior extrema a la conexión de entrada, a una presión de 6.2 bar.

En esta sección, los restos de soda y naftenato de sodio arrastrados con la corriente de la fracción de Jet A-1, proveniente del tratador cáustico D-01, son disueltos en la fase acuosa, simplemente por un mecanismo de disolución.

### **2.2.2 Función del agua de lavado.**

La función de la unidad de lavado con agua D-02 es eliminar los rastros de sosa cáustica nafténicas, de jabones y de las emulsiones estables provenientes del contactor con sosa cáustica D-01.

El flujo de agua de lavado se regula a fin de mantener una relación de flujo fija respecto al flujo de queroseno a tratar que se alimente a la unidad. La válvula de control de flujo regula el flujo de agua medida por el transmisor de flujo en función del flujo de queroseno a tratar medido por el transmisor de flujo según una relación establecida desde la sala de control. Esta relación se establece de manera tal de mantener una alcalinidad máxima en el agua purgada por la Unidad de lavado con agua D-02 en un valor cercano a 500 ppm en masa de hidróxido de sodio.

El agua de lavado se mezcla dentro con el queroseno proveniente del contactor con soda cáustica antes de pasar a través de la válvula mezcladora.

Esta válvula transforma la pérdida de presión en el fluido en la energía necesaria para la dispersión del agua de lavado en la fase continua del hidrocarburo. La caída de presión en la válvula es controlada desde la sala de control sobre la base del grado de arrastre de soda y de jabones en el queroseno que sale de la unidad de lavado con agua.

La mezcla de queroseno y agua salen de la unidad de lavado con agua por la parte superior del recipiente, por la parte opuesta respecto a la entrada de la mezcla hidrocarburo y agua.

En el recipiente, la mayor densidad del agua respecto a la fracción de Jet A-1 permite la separación de las gotas acuosas de la fase continua de hidrocarburo. Para asegurar la máxima separación de fases, ha sido instalado en el interior del recipiente un tabique separador de gotas (coalescente) en acero inoxidable y recubierto en polifloruro.

El agua alcalina es descargada y enviada al sistema de tratamiento de residuales de la refinería.

La unidad de lavado con agua presenta 4 llaves principales instalados en varios niveles, 700 mm, 550 mm, 400 mm y 250 mm a partir del fondo del recipiente. Estas llaves permiten individualizar y eliminar las emulsiones estables producidas por la saponificación de los ácidos nafténicos con la sosa cáustica que hayan llegado a este recipiente proveniente del contactor con soda cáustica D-01.

**Tabla 2.1 Características del agua de lavado actual.**

<b>Parámetros</b>	<b>Normas</b>
Temperatura del agua fría (T)	30 °C
pH	7 - 9
Dureza total (D.T)	0,25 mg/L
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	30 mg/ L
Cloruros (Cl)	4,5 mg/ L
Sales totales	220 mg/ L, Máximo
Cobre (Cu)	0,02 mg/ L
Hierro total (Fe. T)	0,09 mg/ L
Hidrocarburos	0
A. Total (A.T)	4,25 mg/ L

(Refinería Cienfuegos S.A, 2016)

### 2.3 Características del turbo combustible JET A-1.

Es un combustible para aviación a partir de cortes de keroseno requiere la utilización de un proceso en etapas continuas de tratamiento con el objetivo de satisfacer en particular las especificaciones de acidez, contenido de mercaptano y de otros parámetros entre los cuales está la presencia de agua libre y de sólidos en suspensión. Junto a la fracción de keroseno derivada del corte medio de la torre de destilación a presión atmosférica de la Refinería, con un rango de ebullición comprendido entre los 160 °C y los 260 °C, existe una cantidad de compuestos que destilan en ese intervalo de temperatura, entre los cuales se encuentran los ácidos nafténicos, los mercaptanos y otros compuestos que son considerados como impurezas para el uso de la fracción como combustible para aviación.

El combustible para aviación debe satisfacer en otros requisitos como el contenido máximo de aromáticos, el punto de congelación, el punto de humo, el color y el *WSIM*, estando este último relacionado al contenido de agua libre (Refinería Cienfuegos S.A, 2016).

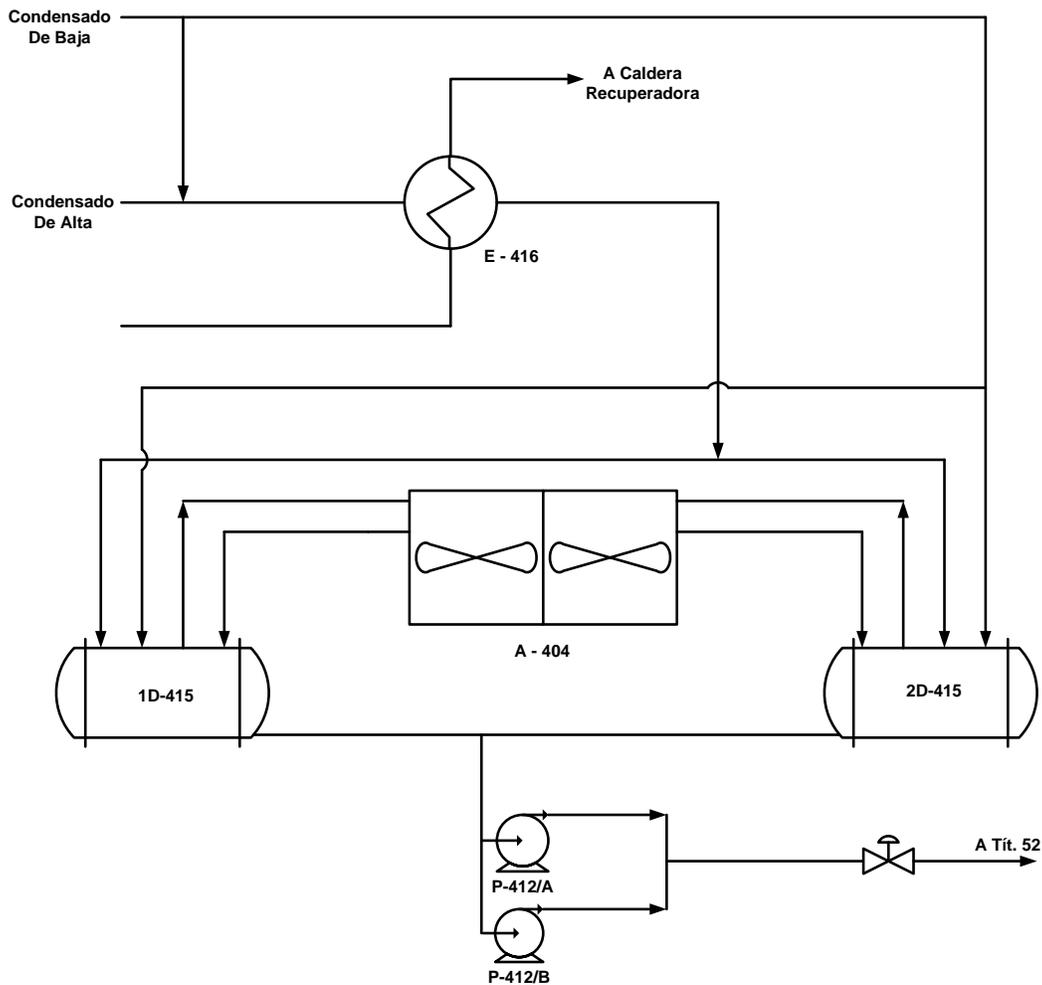
**Tabla 2.2 Especificaciones de calidad del turbo combustible JET A-1. Fuente**

(Unión CubaPetróleo, 2016)

<b>Índices de calidad</b>	<b>U/M</b>	<b>Valor específico</b>
Apariencia visual		Claro, brillante, libre de sedimentos, sólidos en suspensión
Acidez total	mg (KOH)/g	0,011 máximo
Aromáticos	% v/v	22,5 máximo
Azufre mercaptano	% m/m	0,0026 máximo
Azufre total	% m/m	0,30 máximo
Temperatura de inflamación	°C	40,7 mínimo
Densidad 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	775,0 -839,6
Temperatura de congelación	°C	-50,0 máximo
Viscosidad a -20 °C	mm <sup>2</sup> /s	7,817 máximo
Punto de humo E	mm	21,0 mínimo
Energía	MJ/kg	42,84 mínimo
Corrosión al cobre	clasificación	1 máximo
Temperatura de ensayo	°C	260 mínimo
Conductividad eléctrica	pS/m	50-600
Hidroprocesados y sintéticos	mg/ L	17,0 – 24,0
Estabilidad térmica (JFTOT)		≤ 1
Microseparómetro (MSEP)		90 mínimo

## 2.4 Caracterización y descripción del proceso de colección de condensado.

Este es el área donde se recolecta el condensado de vapor de las plantas del circuito cerrado. El bloque en estudio está constituido inicialmente por un intercambiador de calor de tubo y coraza E-416 el cual recibe condensado de alta desde las secciones 100, 300, 200, 400 y la planta de aminas (los cuales se mezclan previamente) que pasan por la coraza, mientras que por los tubos va agua de enfriamiento del segundo sistema, y el condensado de baja que igualmente sale de las secciones antes mencionadas, ambos van a los tambores 1,2 D-415, de ahí al enfriador por aire A-404 para enfriarse a 35 °C, donde mantienen una recirculación, de ahí es bombeado hasta caldera (Título -52).



**Figura 2.1** Bloque de condensado

A continuación se presentan tablas con las características operacionales y constructivas de los equipos que conforman el bloque de condensado.

**Tabla 2.3 Características operacionales y constructivas de la bomba.**

Bombas	Voltaje (volt)	N(kW)	rpm	Capacidad (m <sup>3</sup> /h)	I(A)	P. descarga (kgf/cm <sup>2</sup> )
P-01-412, R	440	17	3550	27	28,5	6,49

**Tabla 2.4 Características operacionales y constructivas de los intercambiadores.**

Intercambiadores		E-416	E-418
Tipo de fluido	Tubos	Agua tratada	Condensado
	Carcaza	C. de vapor	Agua
T. Entrada (°C)	Tubos	148	133
	Carcaza	40	32
T. Salida (°C)	Tubos	110	40
	Carcaza	70	42
Presión (atm)	Tubos	4	2
	Carcaza	4	3
Diámetro (m)		0,5	0,5
Longitud (m)		3	3
Nro. de cuerpo		1	1
Nro. de pasos		2	2
Cantidad de tubos		136	136

**Tabla 2.5 Características operacionales y constructivas de los tambores.**

Tambores	Tipo de fluido	T. Trabajo (°C)	P. Trabajo (atm)	Dn	Hn	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
1,2D-415	Condensado de vapor	104	0,20	1,60	4,54	7,26	8,0

**Tabla 2.6 Características operacionales y constructivas de los enfriadores.**

Enfriadores	T. Entrada (°C)	T. Salida (°C)	P. Trabajo (atm)	Voltaje (Volt)
1,2 A-404	70	45	4,5	440

#### **2.4.1 Mediciones y periodo en que se realizan.**

Las mediciones realizadas para el condensado se efectúan en la planta mediante un toma muestra, para verificar la presencia de hidrocarburos, estos se detectan visualmente ya que son capaces de detectarse por la diferencia de densidad así sea mínima la concentración de estos hidrocarburos, estas muestras son importante ya que en caso de presentar hidrocarburos, estos pueden provocar el ponche del algún intercambiador y de esta forma mezclarse la fracción que se encuentre intercambiando con el condensado. Estas muestras se realizan cada una hora, es decir 12 muestras por cada turno.

**Tabla 2.7 Características del condensado actual.**

Parámetros	Normas
Dureza total (Dt)	0,03 ppm
Alcalinidad total (At)	1,02 mg/ L
Cloruros (Cl)	3,49 mg/ L
Conductividad	31,9 $\mu$ S/cm
Cobre (Cu)	0
pH	5,06
Hierro (Fe)	0,03 mg/ L
Temperatura (T)	35 (°C)
Presión (P)	4 – 5 (atm)

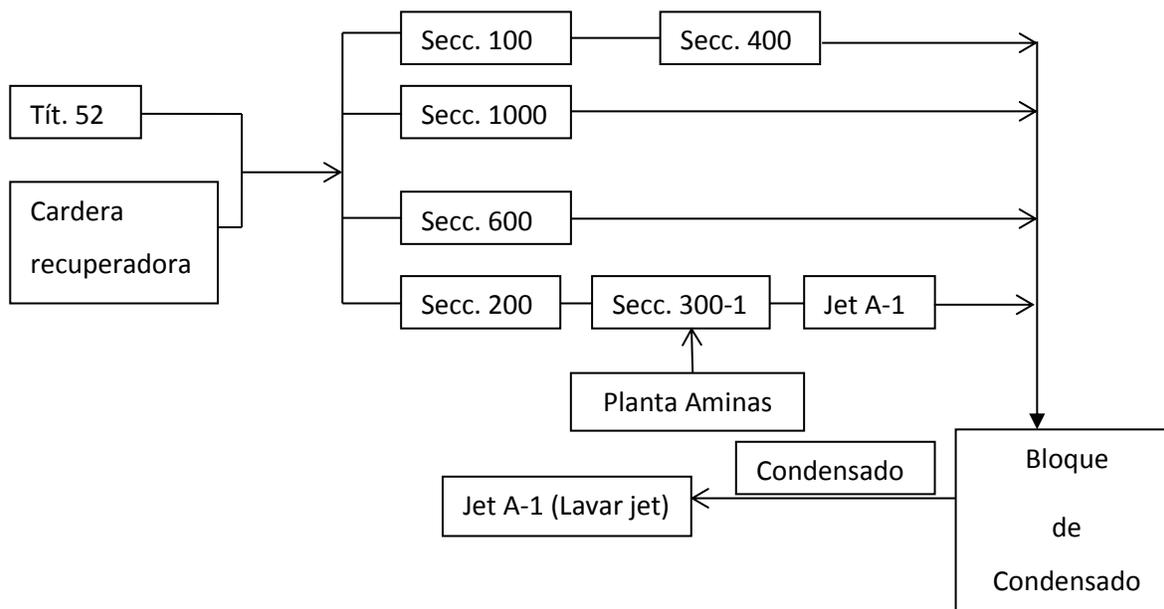
(Refinería Cienfuegos S.A, 2016)

#### **2.5 Uso actual del condensado.**

Actualmente en la refinería el condensado de vapor es utilizado para el lavado en el tope de la torre 300-1 para eliminar las sales de amonios, en la desaladora para el lavado del crudo, se utiliza también para la reposición de aminas, esto es que en caso que pierda agua la

amina se le repone con condensado, y el resto del condensado se utiliza en el sistema I y II de agua de enfriamiento.

**El condensado proviene de todas las áreas de la combinada:**



**Figura 2.2 Esquema de lugar de origen del condensado y destino final**

### 2.5.1 Estimación del volumen de condensado que se obtiene.

La estimación del volumen de condensado se realiza mediante la sumatoria de todo lo que sale de la combinada más la nueva planta de aminas, estos valores se cuantifican mediante dos placas de orificio, una situada a la salida de la planta de aminas y la otra está situada entre los hornos y la desaladora, sección 600.

Mediante estas placas de orificio se puede observar la cantidad de condensado recuperado. Para este caso de estudio se tuvo en cuenta una estadística para un mes, teniendo en cuenta que no hubo parada de planta para el tiempo que se tomó como muestra.

## **2.6 Procedimiento de cálculos.**

### **2.6.1 Cálculo de la cantidad de agua de lavado para lavar el turbo combustible.**

Según (Refinería Cienfuegos S.A, 2016), se establece que el agua de lavado es el 10% del inyector de turbo combustible a la unidad. La planta está diseñada para operar al 100% a 72,9 m<sup>3</sup>/h, pero por limitación de materia prima proveniente de la destilación atmosférica (sección 100) de la combinada es necesario operar al 70%.

$$\text{Creq. agua} = \text{I. turbo} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * \left( \frac{10\% \text{ I. agua}}{100\% \text{ volumen}} \right) \quad (2.1)$$

Donde:

Cantidad requerida de agua (Creq agua)

Inyector de turbo combustible (I. turbo)

Inyector de agua (I. agua)

### **2.6.2 Procedimiento para el cálculo de la cantidad de condensado recuperado en plantas.**

$$\text{C. R} = \text{C. V. intercambio} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * \text{C. R} (\%) \quad (2.2)$$

Donde:

Condensado recuperado (C.R)

Condensado de vapor (C.V. intercambio)

## **2.7 Procedimiento para los cálculos económicos.**

### **2.7.1 Procedimiento de cálculo para cuantificar el ahorro económico debido a la sustitución de agua técnica por condensado recuperado.**

Para determinar el efecto económico que representa el uso de los condensados como agua de lavado se determina la cantidad de agua que estos sustituyen y el costo de adquisición de la misma.

$$A. Ec = G. agua * C. agua \quad (2.3)$$

Donde:

Ahorro económico (A.Ec)

Gasto de agua técnica (G. agua) CUC

Costo agua técnica (C. agua) CUC

**2.7.2 Procedimiento de cálculo para determinar el efecto económico por concepto de sustitución del agua técnica por condensado.**

$$Efcto. Ec = A. Ec + A. Insumo + A. Electricidad \quad (2.4)$$

Donde:

Efecto económico (Efcto.Ec)

Ahorro económico del agua (A. Ec)

Ahorro de insumos (A. Insumo)

Ahorro de electricidad consumida (A. Electricidad)

**2.7.3 Procedimiento para determinar el costo operacional una vez reactivado el bloque de condensado.**

$$C. O = G. E \quad (2.5)$$

Donde:

Costos operacionales (C.O)

$$Gasto de electricidad (G.E)= G_{Ener.} + G_{DemE}. \quad (2.6)$$

Donde:

G<sub>Ener.</sub>: Gasto por concepto de energía eléctrica consumida.

G<sub>DemE.</sub>: Gasto por demanda contratada.

**2.7.4 Procedimiento para determinar el costo de inversión del bloque de condensado y la nueva alineación hasta la planta de tratamiento cáustico.**

$$C.I = M.Rbq + A.enlc \tag{2.7}$$

Donde:

Mantenimiento y restablecimiento del bloque condensado (M.Rbq)

Accesorios de enlace del bloque condensado a la planta Merox (A.enlc)

**2.7.5 Calculo para cuantificar el beneficio que adquiere la empresa una vez sustituido el agua de lavado actual por condensado y determinado el costo total de la reactivación del bloque de condensado.**

**Ecuación de Beneficio**

$$B = Efcto.Ec - C.I - C.O \tag{2.8}$$

Donde:

Beneficio (B)

Efecto económico (Efcto.Ec)

Costo de inversiones (C.I)

Costo operacional (C.O)

**2.8 Metodología de cálculo para el diseño de un tambor separador líquido-líquido.**

El tiempo de residencia de una mezcla en un recipiente es una función de la velocidad de separación o sedimentación de las gotas de la fase más pesada a través de la fase más ligera. La mayoría de los sistemas trabajan satisfactoriamente con tiempos de residencia entre 30 minutos a una hora, pero este debe ser calculado. Los pasos para el cálculo se muestran a continuación:

1. Calcúlese el tiempo de retención

$$T = 0.1\left(\frac{\mu}{\rho_b - \rho_t}\right) \tag{2.9}$$

Donde:

Tiempo de retención (T), h.

Viscosidad de la fase continua ( $\mu$ ), cp.

Gravedad específica de la fase fondo ( $\rho_b$ )

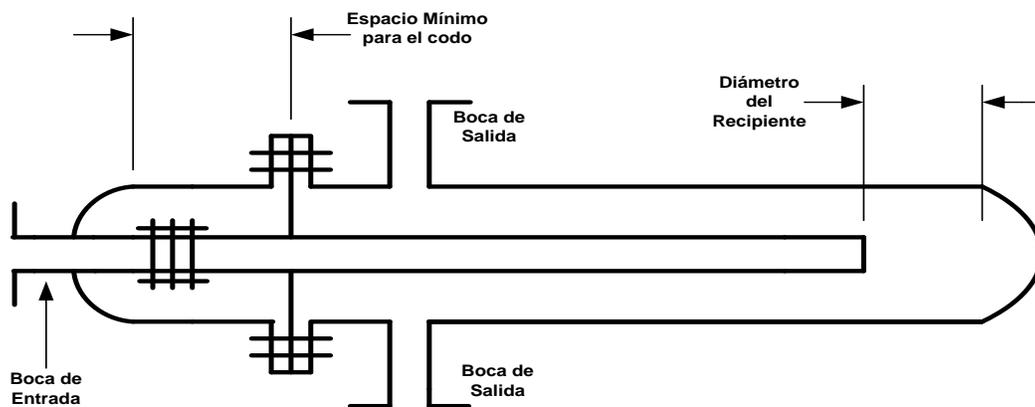
Gravedad específica de la fase arriba ( $\rho_t$ )

2. Asígnese una razón de longitud a diámetro de 5 y dimensionese un tanque para poder absorber el tiempo requerido de retención.

$$L/D=5 \quad (2.10)$$

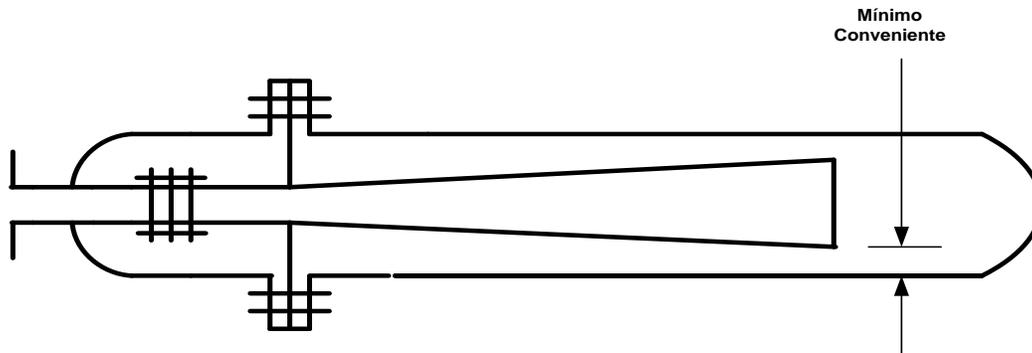
3. Colóquese las toberas de admisión y de salida en uno de los extremos y un cono interno plano.

Aun cuando este procedimiento de diseño es empírico, hay cierta razón de ser detrás de él. La relación entre la viscosidad y la diferencia en las gravedades específicas de las fases corresponde a las de las ecuaciones de la velocidad terminal de asentamiento, en la región de la ley de Stokes, y de velocidad de asentamiento libre de partículas isométricas. Así mismo, con las dimensiones del tanque y con el cono se reconoce que la forma de la turbulencia creada por las toberas que descargan hacia adentro los líquidos se despliega en un ángulo cuya pendiente es alrededor de 1 a 5.



**VISTA LATERAL RECORTADA**

**Figura 2.2 Separador con toberas de admisión y salida en uno de los extremos (Branan, 2002).**



**VISTA SUPERIOR RECORTADA**

**Figura 2.3 Separador con cono interno plano (Branan, 2002).**

### **2.9 Procedimiento para determinar el costo del módulo a instalar.**

Para determinar el costo del módulo a instalar, se hace mediante el procedimiento recomendado por (Turton y Whiting, 1997), mediante el software Capcost, el cual requiere para obtener el costo de los parámetros siguientes.

- ✓ Diámetro
- ✓ Longitud
- ✓ Presión máxima de operación
- ✓ Tipo de material (acero al carbono)

De ahí, se obtiene el valor de la inversión, ya conociendo este valor se actualiza el costo para el año 2017 mediante la ecuación siguiente:

$$\frac{\text{Costo actual}}{\text{Costo inicial}} = \frac{\text{CEPCI actual}}{\text{CEPCI inicial}} \quad (2.11)$$

## Capítulo 3. Resultados y discusión

En el presente capítulo se realizan los cálculos correspondientes a la unidad donde será utilizado el condensado, se presenta la cantidad de agua requerida para el lavado del turbo combustible y la cantidad de condensado recuperado. Además, se realiza el diseño de un tambor separador y se estima el cálculo económico del efecto que causa este ahorro de agua técnica para la industria.

Cada año será de 11 meses teniendo en cuenta las paradas que puedan haber durante 1 año.

1 año de 11 meses equivale a 335 días.

### 3.1 Proceso del lavado con agua. Parámetros Operativos.

La unidad de lavado con agua ha sido proyectada para un flujo de fracción JET A-1 de 72,9 m<sup>3</sup>/h y para un flujo normal de inyección de agua fresca de 7,3 m<sup>3</sup>/h. Este último flujo puede ser regulado más o menos del valor normal en función a la eficacia del tratamiento y la concentración de sodio en el queroseno a la salida del contactor con sosa cáustica.

El flujo de adición de agua fresca es establecido fundamentalmente en función de dos parámetros:

- ✓ La alcalinidad máxima en el agua de desecho que se purga continuamente por la unidad de lavado con Agua en el tambor D-02; se debe mantener aproximadamente en el valor de 500 ppm en masa de hidróxido de sodio.
- ✓ El contenido de Sodio en el queroseno derivado del contactor con sosa cáustica en el tambor D-01.

La concentración de sodio en el queroseno que llega a la Unidad de Lavado con Agua D-02 puede ser estimada de 50 a 100 ppm en masa de hidróxido de sodio. El flujo continuo de agua de lavado en la unidad D-02 para remover este contenido de sodio es de 7,3 m<sup>3</sup>/h. Para un lavado eficaz del queroseno se recomienda la utilización de agua desmineralizada o condensado de vapor.

### **3.2 El objetivo del siguiente cálculo es conocer la cantidad de agua requerida para el lavado del turbo combustible en la planta Merox.**

Según (Refinería Cienfuegos S.A, 2016) establece que el agua de lavado es el 10% del inyector de turbo combustible a la unidad. La planta está diseñada para operar al 100% a 72,9 m<sup>3</sup>/h, por lo que es necesario un inyector de agua de 7,3 m<sup>3</sup>/h, pero por limitación de materia prima proveniente de la destilación atmosférica (sección 100) de la combinada es necesario operar al 70%.

$$\text{Cantidad de turbo} = 72,9 * (0,7) = 51,03 \text{ m}^3/\text{h}$$

Utilizando ecuación 2.1

$$C. \text{ req agua} = I. \text{ turbo} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * \left( \frac{\% \text{ I. agua}}{\% \text{ volumen}} \right)$$

$$\text{Cantidad requerida agua} = 51,03 * \left( \frac{10}{100} \right) = 5,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Cantidad requerida agua} = 5,10 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{24\text{h}}{\text{d}} * 335 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 41\,004 \text{ m}^3/\text{año}$$

La cantidad de agua necesaria para lavar el turbo combustible es de 41 004 m<sup>3</sup>/año.

El volumen de agua siempre estará en función de la cantidad de materia prima a tratar y es parte de la eficiencia de este portador.

### **3.3 Cálculo de la cantidad de condensado recuperado.**

Los condensados de vapor provienen de todas las plantas de la combinada y es cuantificado mediante placas de orificio como se menciona en el capítulo anterior. Estas placas permiten precisar que en la planta de aminas se logra recuperar un aproximado de 3,83 m<sup>3</sup> y con respecto al condensado recuperado en las demás plantas de la combinada un aproximado de 7,66 m<sup>3</sup>. En la Tabla 3.1 se muestra un resumen estadístico del comportamiento medio del condensado recuperado en estas plantas.

**Tabla 3.1 Análisis estadístico sobre la cantidad de condensado recuperado en plantas. (Ver Anexo 1)**

	<b>Planta amina</b>	<b>Combinada</b>
Media	3,83	7,66
Mediana	3,8	7,6
Desviación estándar	0,39	0,37
Coefficiente de variación	0,16	0,18

Con el objetivo de poder valorar si los condensados obtenidos reúnen los requisitos de calidad necesarios para ser utilizados como agua de lavado se realiza una caracterización de los mismos (Tabla 3.2) y se comparan con los parámetros de calidad que debe reunir el agua técnica de lavado utilizada en la actualidad (Tabla 3.3)

**Tabla 3.2 Análisis estadístico de los parámetros del condensado. (Ver Anexo 2)**

	pH	Fe (mg/L)	D.T (mg/L)	Conductividad μS/cm	A.T (mg/L)	Cl (mg/L)
Media	5,06	0,09	0,03	31,93	6,38	3,56
Mediana	5,04	0,07	0,03	31,70	6,41	3,49
Desviación estándar	0,08	0,08	0,01	1,39	0,29	0,28
Coefficiente de variación	3,05	1,01	1,10	1,14	0,12	0,21

En la tabla anterior se puede observar que los parámetros de calidad analizados presentan muy poca variabilidad, aspecto muy positivo para el proceso pues se cuenta de forma estable con agua para el lavado de buena calidad.

**Tabla 3.3 Características del agua de lavado vs condensado recuperado.**

Parámetros	Agua de lavado	Condensado
pH	7 – 9	5,06
Dureza total (Dt)	0,25 mg/L	0,03 mg/L
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	30 mg/L	-
Cloruros (Cl)	4,5 mg/L	3,49 mg/L
Sales totales	220 mg/L, máximo	-
Cobre (Cu)	0,02 mg/L	-
Hierro total (Fe. T)	0,09 mg/L	0,03 mg/L
Hidrocarburos	-	-
A. Total (A.T)	4,25 mg/L	1,02 mg/L
Conductividad	375 μS/cm	319 μS/cm
Temperatura	30 °C	35 °C

Teniendo en cuenta la comparación realizada en la tabla y de acuerdo a los valores obtenidos en ensayos del laboratorio, se puede observar que el condensado tiene mejor calidad para el lavado del turbo combustible.

Debido a la sumatoria realizada mediante las placas de orificios para cuantificar el volumen de condensado que se recupera con el objetivo de sustituir el agua técnica por el condensado, se conoce que el volumen de vapor de intercambio en las plantas es de 11,5 m<sup>3</sup>/h aproximadamente, de este se recupera como condensado el 95% ya que el otro 5% se considera pérdida del sistema y otros usos puntuales.

Sustituyendo Ec. 2.2

$$C.R \left( \frac{m^3}{h} \right) = C.V \text{ intercambio} \left( \frac{m^3}{h} \right) * C.R (\%)$$

Donde:

Condensado recuperado (C.R)

Condensado de vapor de intercambio (C.V)

$$C.R \left( \frac{m^3}{h} \right) = 11,5 \frac{m^3}{h} * 95\% = 10,92 \text{ m}^3/h$$

$$C.R = 10,92 \frac{m^3}{h} * \frac{24h}{d} * 335 \frac{d}{año} = 87\,796,8 \text{ m}^3/año$$

La cantidad de condensado recuperado para 1 año en todo el sistema de recuperación es de 87 796,8 m<sup>3</sup>.

### **3.4 Evaluación económica de la propuesta tecnológica.**

#### **3.4.1 Cálculos para cuantificar el ahorro económico debido a la sustitución de agua técnica por condensado recuperado para un año.**

Sustituyendo Ec. 2.3

$$A.Ec = G. \text{ agua} * C. \text{ agua}$$

Donde:

Ahorro económico (A.Ec)

Gasto de agua técnica para el lavado: 41 004 m<sup>3</sup>/año (G. agua)

Costo agua técnica \$1,55 CUC/m<sup>3</sup> (C. agua)

$$A. Ec = 41\ 004 \frac{m^3}{año} * \left(1,55 \frac{CUC}{m^3}\right) = 63\ 556,20 \frac{CUC}{año}$$

$$A. Ec = 63\ 556,20 \text{ CUC/año}$$

La refinería tiene gastos de 63 556,20 CUC/año por concepto de utilización de agua técnica en el lavado del turbo combustible. Teniendo en cuenta que se sustituya el agua por el condensado este sería un ahorro para la industria, además una mejora en la calidad del producto final, como consecuencia de la utilización de un agua tratada de mejor calidad que el agua técnica normalmente usada.

El agua que se utiliza para lavar procede del tratamiento en el título 52 (caldera), ahí se encuentra un tambor llamado suavizador, el cual se usa para dar tratamiento al agua con cloruro de sodio, pero teniendo en cuenta que si se usa el condensado recuperado, este proceso de tratamiento para el agua con destino a la Merox se evitaría lo cual implica una extensión de vida para el tambor, ya que en este se continuará tratando agua pero con otros fines.

Para que el agua técnica obtenga la mayor calidad se requiere de un tratamiento adicional, que en caso de estudio se elimina por la recuperación y reutilización del condensado como agua tratada. Para la utilización de agua de la planta en estudio solo se utiliza la sal consumida, que también se convierte también en un ahorro de recursos.

**Tabla 3.4 Ahorro total para la preparación del agua tratada para un año.**

<b>Producción anual</b>	<b>U/M</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo CUC</b>
Agua Tratada	m <sup>3</sup>	41 004,00	63 556,20
Electricidad consumida	MWh	257 354,73	37 010,18
Sal consumida	kg	21 942,28	6 245,62
<b>Total</b>			<b>106 812</b>

### **3.4.2 Cálculo para determinar el efecto económico por concepto de sustitución del agua técnica por condensado.**

Sustituyendo Ec. 2.4

$$\text{Efcto. Ec} = \text{A. Ec} + \text{A. Insumo} + \text{A. Electricidad}$$

Donde:

Efecto económico (Efcto.Ec)

Ahorro del agua (A. Ec)

Ahorro de insumos (A. Insumo)

Ahorro de electricidad consumida (A. Electricidad)

$$\text{Efcto. Ec} = 63\,556,20 \text{ CUC} + 37\,010,18 \text{ CUC} + 6\,245,62 \text{ CUC}$$

$$\text{Efcto. Ec} = 106\,812 \text{ CUC/año}$$

### **3.4.3 Calculo para determinar el costo operacional una vez reactivado el bloque de condensado.**

Trabajando en Ec. 2.5

$$\text{C. O} = \text{G. E}$$

Donde:

Costos operacionales (C.O)

$$\text{Gasto de electricidad (G.E)} = \text{GGener.} + \text{GDemE.}$$

Donde:

GGener.: Gasto por concepto de energía eléctrica consumida.

GDemE.: Gasto por demanda contratada.

$$\text{GGener.} = 60 \text{ kW} * 24 * \frac{0,14381 \text{ CUC}}{\text{kWh}} * 30 \text{ dias} * 11 \text{ meses} = 68\,338,51 \text{ CUC/año}$$

$$\text{GDemE.} = 60 \text{ kW} * \frac{6 \text{ CUC}}{\text{kW}} * 11 \text{ meses} = 3\,960 \text{ CUC/año}$$

Resolviendo Ec. 2.6

$$\text{G. E} = 72\,298,51 \text{ CUC/año}$$

Precio del kW/h: 0,14381 CUC

$$\text{C. O} = 72\,298,51 \text{ CUC/año}$$

**Tabla 3.5 Cantidad de accesorios necesarios y precios para el enlace del bloque de condensado con la unidad Jet A-1.**

<b>Materiales</b>	<b>U/M</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (CUC)</b>	<b>Importe</b>
Tuberías	M	Φ 80	60	9,44	566,4
Válvulas	U	Φ 80	2	165,76	331,52
Cheque	U	-	1	183,09	183,09
<b>Total</b>	-	-	-	-	<b>1 081,01</b>

**Tabla 3.6 Costo del mantenimiento y restablecimiento del bloque de condensado.**

<b>Descripción del trabajo</b>	<b>Costo Mano Obra (CUC)</b>	<b>Costo Materiales (CUC)</b>	<b>Total</b>
Cortar intercambiador E-01-416 p/reentubar	156,40	0,00	156,40
Recuperación placas y corte de plancha para bafles E-01-416, δ 5 mm	312,81	7 649 ,66	7 962,47
Desarme y reentubado del mazo intercambiador E-01-416	588,40	123,14	711,54
Fabricar bafles separadores y tirantes, y recuperar placa fija y móvil	739,13	6 455,26	7 194,39
Armar intercambiador E-01-416	262,90	0,00	262,90
Encasquillar cárter de bombas	287,96	105,45	393,41
Fabricación de racores para sistema de enfriamiento	82,32	31,40	113,56
Fabricación de empujadores de bombas	20,06	30,78	50,84
<b>Subtotales</b>	<b>2 449,98</b>	<b>14 395,53</b>	<b>16 845,51</b>
Trabajos de mantenimiento y reparación del intercambiador E-01-416	162,66	0,00	162,66

Capítulo III. Resultados y discusión

	26,78	0,00	26,78
	243,88	0,00	243,88
Montaje y prueba hidráulica E-01-416	214,19	27,88	242,07
Reparación de bombas P-01-412 y P-01-412/R	181,40	3 794,11	3975,51
Continuación de reparación de bombas P-01-412 y P-01-412/R	6,70	1,72	8,42
Continuación de reparación de bombas P-01-412 y P-01-412/R	155,52	50,32	205,84
Puesta en marcha bloque de condensado	75,21	0,00	75,21
Montaje de vasos de lubricación	13,21	5,07	18,28
Empaquetar y ajustar prenses de válvulas manuales entrada y salida de agua E-01-416	78,86	68,95	147,81
<b>Subtotales</b>	<b>1 158,41</b>	<b>3 948,05</b>	<b>5 106,46</b>
Reparación de motores de las bombas P-01-412 y P-01-412/R	244,22	61,82	306,044
Revisión eléctrica del motor PM-01-412	40,30	0,00	40,30
Montaje de los motores P-01-412 y P-01-412/R, Conexión	151,31	0,00	151,31
<b>Subtotales</b>	<b>435,83</b>	<b>61,82</b>	<b>497,65</b>
Montaje de sistema de enfriamiento bombas	428,16	1 292,0	1 720,16
Montar tubería desde E-01-416 a descarga de P-01-412/R (Rec, #26)	162,59	38,43	201,02
Cambiar válvulas a P-01-412 para reactivar bloque condensado	162,59	54,49	217,08
<b>Subtotales</b>	<b>753,34</b>	<b>1 384,92</b>	<b>2 138,26</b>
Montaje de aislamiento en el E-01-416	144,04	171,72	315,76
<b>Subtotales</b>	<b>144,04</b>	<b>171,72</b>	<b>315,76</b>
<b>Total</b>	<b>4 941,6</b>	<b>19 962,04</b>	<b>24 903,64</b>

### **3.4.4 Cálculo para determinar el costo de inversión del bloque de condensado y la nueva alineación hasta la planta de tratamiento cáustico.**

$$C. I = M. Rbq + A. enlc$$

Donde:

Mantenimiento y restablecimiento del bloque condensado (M.Rbq)

Accesorios de enlace del bloque condensado a la planta Merox (A.enlc)

$$C. I = 24\ 903,64 \text{ CUC/año} + 1\ 081,01 \text{ CUC/año}$$

$$C. I = 25\ 984,65 \text{ CUC/año}$$

### **3.5 Calculo para cuantificar una vez sustituido el agua de lavado actual por condensado y determinado el costo total de la reactivación del bloque de condensado que adquiere la empresa.**

**Ecuación de Beneficio**

$$B = \text{Efcto. Ec} - C. O - C. I$$

Donde:

Beneficio (B)

Efecto económico (Efcto.Ec)

Costo de inversiones (C.O)

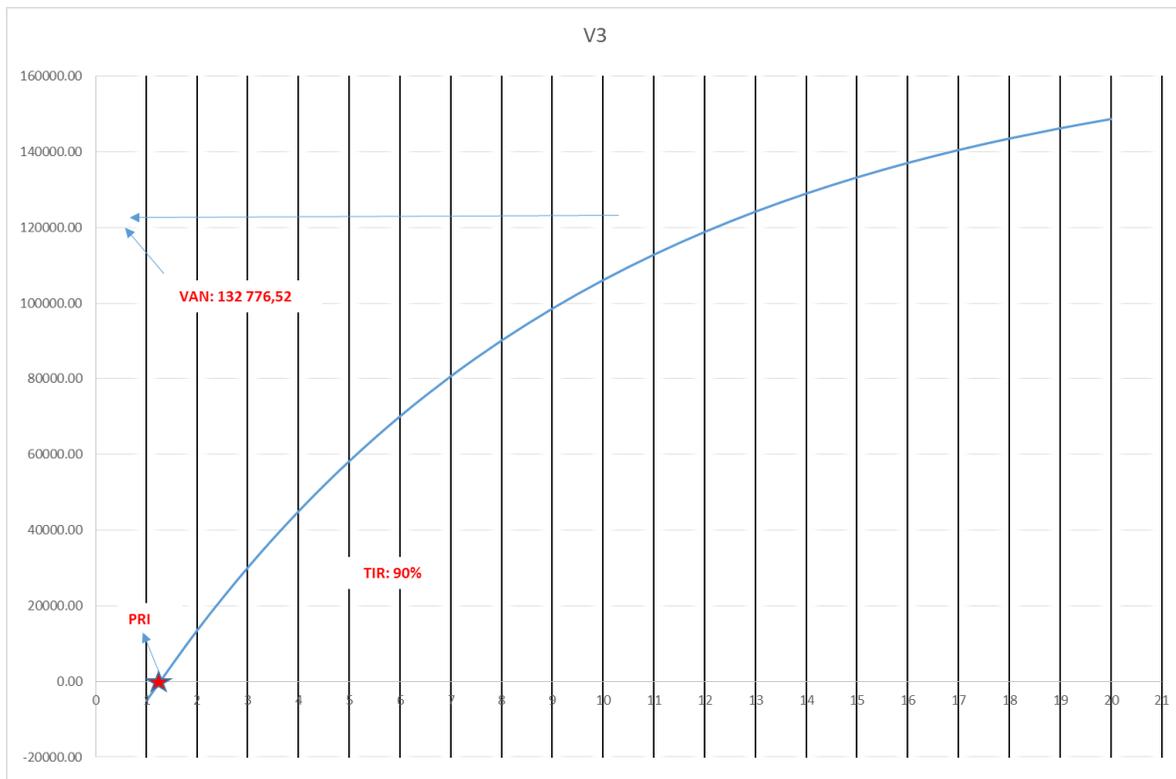
Costo operacional (C.I)

$$B = 106\ 812 \text{ CUC} - 72\ 298,51 \text{ CUC} - 25\ 984,65 \text{ CUC}$$

$$B = 8\ 528,84 \text{ CUC/año}$$

La refinería tiene un beneficio económico de 8 528,84 CUC/año.

A continuación se muestra el Grafico 3.1, el cual representa un análisis económico realizado para los beneficios de la recuperación del bloque de condensado. (Ver Anexo 3)



**Figura 3.1 Resultado de la evaluación económica.**

El gráfico representa la evaluación económica realizada y muestra que el gasto de inversión es significativamente pequeño en cuanto a los beneficios obtenidos, por lo que se observa un período de recuperación de la inversión de un año, y por tanto la tasa interna de retorno es el 90%. Hay que tener en cuenta el elevado precio del agua (1,55 CUC/m<sup>3</sup>), así como los costos de los insumos para el tratamiento del agua, para esta empresa, lo que sin dudas influye de forma muy marcada en las evaluaciones, tanto para el análisis de las inversiones, como para el análisis de las pérdidas de proceso.

### **3.6 Valoración de la instalación de un tambor separador líquido – líquido para la recuperación de turbo combustible.**

(Ver Anexo 4)

1. Cálculo del tiempo de retención

$$T = 0,1 \left( \frac{\mu}{\rho_b - \rho_t} \right)$$

Donde:

$$\mu=1,002$$

$$\rho_b=997,13$$

$$\rho_t=803,3$$

$$T = 0,1 \left( \frac{1,002}{0,997 - 0,803} \right)$$

$$T = 0,52 \text{ h}$$

2. Cálculo del volumen

$$V = F \left( \frac{m^3}{h} \right) * T (h)$$

Donde:

Flujo (F, m<sup>3</sup>/h)

Volumen (V, m<sup>3</sup>)

$$V = 7,2 \left( \frac{m^3}{h} \right) * 0,52 (h)$$

$$V = 3,72 m^3$$

3. Calculo de la relación L/D

$$L/D = 5$$

Esta relación L/D se halló mediante un tanteo y error, donde:

$$L= 5,05 \text{ m}$$

$$D= 1,10 \text{ m}$$

### **3.5 Cálculo para determinar el costo del módulo a instalar.**

$$\frac{\text{Costo actual}}{\text{Costo inicial}} = \frac{\text{CEPCI actual}}{\text{CEPCI inicial}}$$

Donde:

$$\text{CEPCI 2017: } 567,5$$

CEPCI 1996: 382

De acuerdo al uso del *software Capcost*, se obtiene que Costo 1996 sea de \$ 20 697, por tanto:

$$\text{Costo 2017} = \frac{\text{CEPCI 2017}}{\text{CEPCI 1996}} * \text{Costo 1996}$$

$$\text{Costo 2017} = \frac{567,5}{382} * \$ 20 697$$

$$\text{Costo 2017} = \$30 747,5$$

$$\text{Amortizacion} = \frac{\text{Costo de inversion}}{\text{anos de vida util}}$$

$$\text{Amortizacion} = \frac{30 747,5 \text{ CUC}}{20 \text{ años}}$$

$$\text{Amortizacion} = 1 537,38 \text{ CUC}$$

**3.6 Calculo económico para cuantificar el ingreso que aporta la recuperación del turbo combustible en el agua de lavado, teniendo en cuenta que este se recupera como diésel especial.**

Volumen de turbo que se recupera:  $0,012 \text{ m}^3/\text{h} = 96,48 \text{ m}^3/\text{año}$

Precio del diésel especial: 95,4878 CUC/Bbl

$$1 \text{ Bbl} = 6,2898 \text{ m}^3$$

Por tanto:

La recuperación de turbo combustible aporta 1 464,78 CUC/año.

Teniendo en cuenta el monto en CUC obtenido por la recuperación del turbo y el monto de la amortización, es claro que no se llega a recuperar toda la inversión. Para este caso no es imprescindible esta recuperación total ya que además de la economía, se tiene presente que el agua no arrastra partículas de hidrocarburo al proceso de tratamiento de residuales, lo que es esencial para el medio ambiente.

## **Conclusiones Parciales**

1. El volumen de agua está en función de la cantidad de materia prima a tratar y define la eficiencia de este portador, en tal sentido la cantidad de agua necesaria para lavar el turbo combustible es de 41 004 m<sup>3</sup>/año.
2. De acuerdo con el estudio se logran recuperar 11,5 m<sup>3</sup> de condensado aproximadamente, sin embargo, solo el 95% resulta efectivo pues el otro 5% se considera pérdida del sistema y otros usos puntuales.

## Conclusiones Generales

- 1- El estudio realizado sobre la calidad del agua tratada y del condensado demuestra que las características químicas del condensado respecto al agua reúnen mejores condiciones técnicas para los objetivos que se persiguen en los procesos tecnológicos.
- 2- Poniendo en explotación el sistema de recuperación de condensado se logra sustituir 10,92 m<sup>3</sup>/h de agua técnica, de ellos solo se utilizarán 5,1 m<sup>3</sup>/h para el tratamiento del turbo combustible y por ende disminuir los costos de operación.
- 3- Con la evaluación técnica económica se evidencia que la utilización del condensado recuperado genera un ahorro económico de 8 528,84 CUC/año.
- 4- Con la instalación del módulo propuesto se indica que la refinería tiene un ingreso de 1 464,7 CUC/año.

## **Recomendaciones**

- 1- Poner en marcha el bloque de condensado.
- 2- Utilizar el condensado recuperado en el proceso tecnológico propuesto.
- 3- Aplicar el condensado en procesos tecnológicos similares en instalaciones existentes.
- 4- Valorar el estudio de la reactivación de la planta de tratamiento de condensado para evitar cualquier contaminación con hidrocarburos.

## Bibliografía

1. AENOR. 1997. *Análisis de aguas en vertidos industriales. Medioambiente*. Madrid : s.n., 1997. Vol. 1.
2. API (2004). Recommended Practice 932-B. *Design, Materials, Fabrication, Operation, and Inspection Guidelines for Corrosion Control in Hydroprocessing Reactor Effluent Air Cooler (REAC) Systems*. . Washington : s.n., 2004.
3. Bishop, B. P. 2007. *Corrosion Management in Gas Processing Facilities*. s.l. : Seminar Bahrain, 2007
4. Campos González, Kende Enrique. 2009. *Actualización de la filosofía de control de la corrosión de las unidades de destilación atmosférica y al vacío, coquificación retardada y recuperación de gases*. Barcelona : Universidad de Oriente, Barcelona, 2009.
5. Capote, Tarcisio J. y Rojas, Jesús R. 2015. *Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato*. 2015; Vol 46 (1-2015, Revista del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Rangel”, Vols. 46 (1-2), pág. 18.
6. Colectivo de autores. 2005. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. República de Colombia : IDEAM, 2005, pág. pg.2.
7. García, Ileana, y otros. 2008. No 4, s.l. : Instituto de Oceanología, CITMA, Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros (CIEC), 2008, Serie Oceanológica.
8. Carl R. Branam. 2002. *A manual of quick, accurate solutions to everyday process engineering problems, RULES OF THUMB FOR CHEMICAL ENGINEERS*. Carl R. Branam. Third edition. 2002. pág. p 135. Vol.II.
9. Castillo Arteaga, María Guadalupe. 2011. *Métodos de Separación de Mezclas*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Una ciencia para todos. México, México : s.n., 2011.
10. Colectivo de autores. 2005. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. República de Colombia : IDEAM, 2005, pág. pg.2.
11. Cruz, E.V Reyes, y otros. 2013. *Aguas amargas colectadas de la industria del petróleo*. México : Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo, 2013.
12. Decoopman, F. 2002. *Water Treatment. In Petroleum Refining III Conversion Process*. Paris : Edited by Pierre Leprince. Editions TECHNIP, 2002. págs. pp. 639-667. ISBN 2-7108-0779-03 Series ISBN 2-7108-0686-X.

13. De la Peña, María Eugenia; Ducci, Jorge; Zamora, Viridiana. 2013. *Tratamiento de Aguas Residuales en México*, 2013.
14. Dickerson, Richard E. 1992. *Reacciones inorgánicas. Principios de química*. s.l. : Reverté, 1992. págs. p- 387-416. ISBN 84-291-7175-4.
15. Dominguez Dominguez, Jorge A. 1987. *Corrosion y proteccion de metales*. La Habana : ENPES, 1987.
16. Espigares Garcia, M. y Pérez López, J. A. 2013. *Aguas residuales. Composición*. Lima : Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 2013, Industrial Data. Revista de investigacion. ISSN: 1560-9146.
17. Feliu. S y Andrade, M.C. 1991. *Corrosión en la industria química*. Madrid : s.n., 1991. pág. p.157. Vol. I.
18. Fernández González, Franco. 2004. *Programa de monitoreo y reporte de las variables operacionales que influyen en la corrosión de líneas y equipos de las unidades de Destilación Atmosférica y al Vacío*. Caracas, Venezuela : Universidad Simón Bolívar, 2004.
19. Cáceres, Luis Fernando. 2013. *Determinación de Alcalinidad en aguas naturales y residuales*. 2013.
20. García, Ileana, y otros. 2008. *Instituto de Oceanología, CITMA, Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros (CIEC)*. No 4, 2008, Serie Oceanológica.
21. Gil Fundora, Silvia y Francisco Martín, Wilfredo. 2009. *Fundamentos de la corrosión y proteccion de los metales*. Cienfuegos : Universidad de Cienfuegos, 2009.
22. Gil Fundora, Silvia. 2008. *Tipos de corrosión* . Cuba : Universidad de Cienfuegos, 2008.
23. González Estrada , María Claudia. 2017..*Análisis Operacional del Departamento de Hidrotratamiento de Reficar S.A.* 2017.
24. Handewerk, H.J and Gary G.H. 2006. *Petroleum Refining. Technology and Economics*. Fourth. New York : Marcel Dekker, 2006. pág. 49. ISBN: 0-8247-0482-7.
25. Lipesa, Mercadeo. 2009. *Tecnología básica sobre la corrosión en las refinerías y plantas petroquímicas*. México : LIPESA, México, 2009.
26. Lluch Urpí, José. 2007. *Tecnología y margen de refino. Instituto superior de la Energía*. 2007.
27. Marín Galvín, Rafael. 2010. *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. La habana : EMACSA, 2010.

28. Marrero Águila, Rigoberto. 2011. *Fundamentos de la Corrosión y Protección de Metales*. La Habana : Grupo de Corrosión e Ingeniería de Materiales, CUJAE, 2011. Tema II.
29. Martínez Herranz, Míriam. 2009. *Sistema de Recuperación de Condensados*. Valencia, 2009.
30. Moris Sánchez, Jonathan Felipe, Vega Alarcón, Luis y Torres Titus, José. 2014. *Sistemas y usos de vapor en la Refinería Aconcagua S.A.* 2014.
31. PDVSA. 1995. *Manual de diseño de proceso separación física tambores separadores, MDP-03-S-01. Principios básicos*. s.l. : PDVSA, 1995.
32. Peraza Barrios, Alejandro . 2009. *Suavización del agua a través de la Precipitación de carbonato de calcio Obtenida por las reacciones de reducción Electroquímica de protones y de oxígeno*. 2009.
33. Pérez Garrido, Claudia, León Rodríguez, Frida María y Delgadillo García , Graciela Ruth. 2013. *Tratamiento de aguas. Manual de laboratorio*. Universidad nacional autónoma de México. Facultad de estudios superiores Cuautitlán. 2013.
34. Ramalho, Rubens Sette. 2003. *Tratamiento de agua residuales*. 1ª. México : s.n., 2003.
35. Refinería de Cienfuegos S.A. 2015. *Manual de Operaciones de la Planta de Abasto de agua y Tratamiento de residuales*. Cienfuegos : Refinería de Cienfuegos S.A, 2015.
36. Refinería Cienfuegos S.A. 2016. *Manual Operaciones para la planta de tratamiento caustico de Jet A-1. RF-DO- M-17-05*. Cienfuegos : Refinería de Cienfuegos S.A, 2016.
37. Revista TLV. 2018. [En línea] 12 de 10 de 2018. <https://www.tlv.com/global/LA/corporate-profile/>.
38. Saavedra Pérez., Nery. 2015. *Propuesta de un sistema de lavado y remoción de sales en el proceso de Hidrotratamiento del Diesel*. Cienfuegos : Universidad de Matanzas, 2015.
39. Sánchez Ramírez, Javier Eduardo y Mejía Fajardo , Amanda del pilar. 2005. *Análisis del sistema de recuperación de condensado en la áreas de vapor y energía del complejo industrial Barrancabermeja*. Colombia : Universidad Industrial de Santander, 2005.
40. Robles García, Marina. 2013. *Reutilización de aguas residuales*. s.l. : Escuela Técnica Superior de Ingenieros, 2013.
41. Scherr, R. 1991. *Impact of Clean Air Act Amendment on Refinery Planning and Construction*. San Antonio, Texas. : National Petroleum Refiners Association, 1991. Ponencia presentada en la 89a Reunión Anual de la National Petroleum Refiners Association.
42. Turton R, Bailie C y Whiting W, Shaeiwitz J. 1997. *Design of Chemical Processes*. New Jersey : s.n., 1997.

43. Unión CubaPetróleo. 2016. *OC-MM 01/C 06*. 2016. Catalogo de especificaciones del turbo combustible.
44. UNESCO. 2016. *Agua y empleo*. Paris : UNESCO, 2016. ISBN 978-92-3-300045-2.
45. Villamizar , Julio A. 2011. Separadores de la industria petrolera. s.l. : SENA, 2011.

## Anexos

### Anexo.1

	<b>Control estadístico del condensado recuperado para un mes</b>	
	<b>Planta de aminas</b>	<b>Combinada</b>
	3.8	7.6
	3.7	8.2
	4.2	8.1
	4.5	7.2
	4.1	7.6
	3.8	7.9
	3.4	8.3
	3.9	8.2
	3.5	7.2
	3.6	7.2
	3.4	7.6
	4.2	7.9
	3.9	7.4
	3.4	7.6
	3.1	7.9
	3.2	8.1
	4.1	7.2
	3.7	7.6
	3.4	7.9
	4.2	8.2
	3.9	8.1
	3.6	7.8
	3.9	7.2
	3.7	7.9
	4.2	7.2
	4.4	7.2
	4.6	7.5
	3.5	7.2
	3.9	7.4
	3.5	7.5
	4.3	7.5
<b>Promedio</b>	3.825806452	7.658064516
<b>Mediana</b>	3.8	7.6
<b>Coefficiente de variación</b>	0.155578715	0.182628319
<b>Desviación estandar</b>	0.385545278	0.369480891

## Anexo.2

	Parametros del condensado					
	pH	Fe	D.t	Conductividad	A.t	Cloruros
	5.02	0.23	0.023	30.1	6.1	3.49
	5	0.13	0.023	30.9	6.3	3.4
	5	0.19	0.011	32.3	5.96	4.07
	5.12	0.14	0.037	30.2	6.7	3.49
	5.03	0.21	0.037	32.1	6.2	3.35
	5.04	0.25	0.034	32.2	6.52	3.49
	5	0.12	0.029	31.3	6.42	3.85
	5.02	0.28	0.032	33.2	6.8	4.07
	5.02	0.19	0.042	36.3	6.78	4.07
	5.01	0.02	0.053	33.6	6.23	4.01
	5	0.01	0.038	31.4	6.96	3.28
	5.09	0.07	0.033	31.9	6.12	3.58
	5.02	0.02	0.023	33.3	6.68	3.64
	5.09	0.03	0.033	30.7	6.65	3.64
	5.07	0.01	0.034	30.8	6.5	3.07
	5.06	0.01	0.025	33.7	5.98	3.12
	5.07	0.06	0.029	32.5	6.56	3.64
	5.03	0.01	0.028	31.4	5.97	3.07
	5.05	0.03	0.036	30.4	6.04	3.46
	5.06	0.07	0.032	32.9	5.9	3.85
	5.01	0.04	0.043	31.7	6.41	3.28
	5.01	0.02	0.041	32.1	6.27	3.28
	5.08	0.09	0.037	33.8	6.34	3.57
	5.06	0.03	0.032	31.3	5.97	3.64
	5	0.06	0.045	30.6	6	3.71
	5.4	0.08	0.041	30.2	6.33	3.64
	5	0.01	0.038	31.7	6.45	3.47
	5.2	0.07	0.045	34.6	6.54	3.47
	5.06	0.09	0.039	30.9	6.36	3.47
	5.05	0.02	0.074	31.9	6.46	3.1
	5.06	0.2	0.023	31.2	6.48	3.28
	5.16	0.07	0.019	31.8	6.55	3.88
	5	0.04	0.021	30.7	6.94	4.05
<b>Media</b>	5.06	0.0878788	0.0342424	31.93030303	6.3778788	3.56
<b>Mediana</b>	5.04	0.07	0.034	31.7	6.41	3.49
<b>Desviación estandar</b>	0.0775513	0.0797558	0.0113469	1.398098005	0.2949127	0.2992804
<b>Coefficiente de variación</b>	3.0452657	1.0066972	1.1045751	1.144103393	0.1242011	0.2122312



<b>Datos</b>	
Costo Inv.	25984.65
Costo Rep. Y Matto	24903.64
Costo Equipamiento	1081.01
Gastos Operación Sin Mtto	95398.51
Gastos Operación Con Mtto	104114.78
Mantenimiento.	8716.27
Tasa de interés	12%
Ahorro Agua (CUC/Año)	63516.00
Ahorro Insumos (CUC/Año)	161882.33
Ahorro Total (CUC/Año)	225398.33
Vida útil (años)	20

**Anexo.4**

Volumen	T. retención	Longitud	Diametro	L/D	Área	Radio
3.72	0.52	0.2755556	3	0.091852	13.5	1.5
3.72		7.44	1	7.44	0.5	0.5
3.72		0.93	2	0.465	4	1
3.72		0.2755556	3	0.091852	13.5	1.5
3.72		0.11625	4	0.029063	32	2
3.72		5.5897821	1.1	5.08162	0.6655	0.55