
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
INGENIERÍA AMBIENTAL



PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERIA AMBIENTAL:

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DEL PLANTEL DE REFINERÍA,
RECOPE S.A., MOÍN-LIMÓN.

Realizado por:

CINDY ALEJANDRA UMAÑA LÓPEZ

Dirigido por:

Ing. SAMUEL CUBERO VARGAS, M.Sc.

CARTAGO, COSTA RICA

DICIEMBRE, 2011

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Ing. Samuel Cubero Vargas, M.Sc.
Director

Ing. Laura Quesada Carvajal
Lector 1

Ing. Federico Chaves Di Luca
Lector 2

DEDICATORIA

A mi hermana Sandra por enseñarme el valor de la excelencia y ser ejemplo de dedicación, a mis padres por su sacrificio y a mis sobrinos Alonso y Melissa por ser motivo de lucha cada día.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque cada reto puesto en mi camino me ha ayudado a crecer y a forjar mi carácter.

A don Samuel por ser mi guía y ayudarme a culminar esta etapa.

Al personal de RECOPE por su aporte en este proyecto y por su cálido y amable trato.

A David por su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	x
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Justificación.....	2
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Sistemas de generación de vapor.....	6
2.2. Generalidades Refinadora Costarricense de Petróleo S.A.	11
CAPÍTULO III.....	19
3. OBJETIVOS.....	20
CAPÍTULO IV.....	21
4. METODOLOGÍA.....	22
CAPÍTULO V.....	24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1. Implementación de indicadores de consumo energético para el área de generación de vapor.....	25
5.2. Elaboración de un manual de inspección y mantenimiento del área de vapor.....	34
5.3. Inventario de trampas para vapor del área de tanques de producto negro de la refinería.....	38
5.4. Diseño de un sistema de retorno de condesados para el área de tanques de producto negro.	42
5.5. Evaluación de la viabilidad financiera de las mejoras recomendadas en el sistema de vapor.	50
CAPÍTULO VI.....	57
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
6.1. Conclusiones.....	58
6.2. Recomendaciones.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Capacidad de almacenamiento de productos negros en el plantel de refinería RECOPE S.A.....	16
Tabla 5.1. Variables de medición para el cálculo de indicadores del sistema de vapor del Plantel de Refinería RECOPE S.A.....	26
Tabla 5.2 Indicadores energéticos del sistema de vapor del Plantel de Refinería RECOPE S.A....	27
Tabla 5.3 Generación de vapor en períodos de paro de planta de proceso, Plantel de Refinería, RECOPE.	42
Tabla 5.4 Distribución de vapor por área de acuerdo al producto almacenado, Plantel de Refinería, RECOPE.	43
Tabla 5.5 Distribución de vapor por equipos, Plantel de Refinería, RECOPE.	44
Tabla 5.6 Diámetros de tubería propuestos para el sistema de retorno de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.....	46
Tabla 5.7 Características de tanques colectores del sistema de retorno de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.....	48
Tabla 5.8 Características de las bombas del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.....	49
Tabla 5.9 Características de la tubería de retorno del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.....	49
Tabla 5.10 Estimación de ahorro por combustible del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.....	50
Tabla 5.11 Estimación de ahorro por consumo de agua del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE	51
Tabla 5.12 Estimación de ahorro por consumo de agua del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE	52
Tabla 5.13 Estimación de inversión en tubería y accesorios del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.	53
Tabla 5.14 Estimación de inversión en bombeo del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.....	54
Tabla 5.15 Estimación de inversión en tanques colectores del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.	54
Tabla 5.16 Estimación de reducción potencial de emisiones por consumo de combustible en generación de vapor, Plantel de Refinería, RECOPE.....	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1 Descarga de trampa de vapor termodinámica, área de asfaltos, Plantel Refinería RECOPE.	3
Figura 2.1 Elementos que componen un sistema de vapor.	6
Figura 2.2 Trampas para vapor de tipo balde invertido (A), flotador y termostática (B) y termodinámica (C).....	8
Figura 5.1 Índice de producción de vapor (kg/h) entre el volumen de agua consumido (kg/h), Plantel de Refinería RECOPE.	31
Figura 5.2 Índice de producción de vapor (kg/h) entre el consumo de combustible (kg/h), Plantel de Refinería RECOPE.	32
Figura 5.3 Índice de producción de vapor (kg/h) entre el consumo de energía eléctrica (kWh), Plantel de Refinería RECOPE.	33
Figura 5.4 Trampa para vapor tipo flotador en traza de tubería de crudo pesado, Plantel de Refinería RECOPE S.A.....	38
Figura 5.5 Trampas para vapor tipo flotador en bombas de trasiego de IFO, Plantel de Refinería RECOPE S.A.	39
Figura 5.6 Clasificación de trampas para vapor según su tipo, área de productos negros, Plantel de Refinería, RECOPE S.A.....	39
Figura 5.7 Clasificación de trampas para vapor según su área de instalación, Plantel de Refinería, RECOPE S.A.	40
Figura 5.8 Trampa para vapor tipo termodinámica instalada en calentador de asfalto, Plantel de Refinería RECOPE S.A.....	40
Figura 5.9 Diagrama de flujo del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería RECOPE.	45
Figura 5.10 Ubicación de tanques colectores de condensados del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería RECOPE.	47
Figura 5.11 Configuración de tanques colectores de condensado del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería RECOPE S.A.	48

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Vapor: estado gaseoso que adoptan los fluidos por acción del calor

Condesados: fluido producido a partir de la condensación del vapor de agua cuando este pierde energía.

Vapor vivo: es el vapor que todavía no ha realizado ninguno de los trabajos para los que fue generado

Vapor flash: es el vapor re-vaporizado resultante de descargar el condensado de una presión mayor a otra menor

Calderas: instalación industrial donde se produce el calentamiento y la evaporación del agua para producir vapor

Purgas de una caldera: es el procedimiento por el cual son eliminados los sólidos precipitados provenientes del agua de entrada a la caldera. Normalmente se consigue abriendo una válvula de gran paso en el punto más bajo, que elimine grandes cantidades de agua del fondo de la caldera y arrastre los sólidos.

Trampa para vapor: son equipos mecánicos que se utilizan para desalojar condensado de las líneas de distribución de vapor. Estas abren en presencia de condensado y cierran en presencia de vapor.

Presión: es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

Caudal: es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.

Sólidos disueltos: sólidos en solución que no se pueden remover por filtración

Poder calorífico: el poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible.

Productos negros: productos del extremo bajo (o pesado) del proceso de destilación del refinado de petróleo.

LPG: es la mezcla de gases condensables presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo. Es principalmente son una mezcla de propano y butano.

IFO 380: en una mezcla de combustibles destilados y residuales, que generan un combustible intermedio, esta mezcla se realiza con el fin de disponer de un combustible que se adapte mejor a las necesidades de manipuleo, bombeo y viscosidad para una adecuada operación de los distintos equipos de combustión. El IFO 380 se utiliza como combustible en calderas, motores estacionarios y grandes motores Diesel.

Crudo pesado: es cualquier tipo de petróleo crudo que no fluye con facilidad. Se le denomina "pesado" debido a que su densidad o peso específico es superior a la del petróleo crudo ligero. Crudo pesado se ha definido como cualquier licuado de petróleo con un índice API inferior a 20 °, lo que significa que su densidad es superior a 0.933

Fuelóleo: es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada, se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos

Asfalto: es un material viscoso de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo.

UB: nomenclatura empleada por RECOPE para identificar las calderas (B) de la unidad de utilidades (U).

UV: nomenclatura empleada por RECOPE para identificar los recipientes (V) de la unidad de utilidades (U).

UP: nomenclatura empleada por RECOPE para identificar las bombas (P) de la unidad de utilidades (U).

HHV: poder calorífico superior

Ton/h: tonelada métrica por hora.

RESUMEN

Este trabajo fue desarrollado para la Refinadora Costarricense de Petróleo S.A., compañía estatal de Costa Rica, que según la Ley N° 7356 se encarga de importar, refinar y distribuir el petróleo crudo y sus derivados para satisfacer la demanda nacional.

El proyecto tiene como objetivo principal contribuir al uso eficiente del vapor en el plantel de Refinería de RECOPE, con el fin de minimizar los impactos negativos que éste provoque sobre el ambiente.

Para su elaboración fue necesario recopilar datos de la configuración y el funcionamiento del sistema de vapor de la refinería, para ello se coordinó con el Departamento de Procesos de Refinación, la determinación de opciones de mejora económica y ambientalmente viables.

Como principales resultados de este proyecto se obtuvieron: la implementación de indicadores de eficiencia energética y la elaboración del manual para el mantenimiento del área de vapor, ambas herramientas para un control sistematizado de la generación y distribución de vapor.

Además, se concluye con el diseño conceptual de un sistema para la recuperación de condensados del área de calentamiento de productos negros, por el que se proyectan ahorros cercanos a los 440.727,00 dólares anuales, y para el cual el período de recuperación de la inversión es de 0,9 años. Asimismo, permitiría la disminución del consumo anual de 683 toneladas de combustible, la reducción de 2.281 toneladas de emisiones de CO₂, y propiciará la reducción en el consumo de agua fresca en 108.950 m³.

ABSTRACT

This work was developed for Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE S.A.) Costa Rica's oil company that, according to Law N°7356, handles the import, refining and distributing of crude oil and its derivatives to meet domestic demand.

The project's main objective is to contribute to the efficient use of steam on site in order to minimize the impacts it causes on the environment.

For this project data was collected, about the configuration and operation of the steam system in the refinery, working side by side with the refining processes department, with was also consulted to determine options for improvement that were economically and environmentally viable.

The main results of this project are the implementation of energy efficiency indicators to monitor steam generation and creation of manual for the maintenance of the steam area. These tools will enable systematic control of steam generation and distribution.

In addition, this project concludes with the design of a condensate recovery system for the heating of heavy products area, generating savings close to \$ 440.727,00 per year, with a recovery of investment period of 0.9 years. This will also reduce fuel consumption by 683 tons per year, which implies a reduction of 2.281 tons of CO₂ emissions annually and facilitate the reduction of freshwater consumption by 108.950 m³ per year.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

La Refinadora Costarricense de Petróleo S.A. (RECOPE) es la compañía petrolera estatal de Costa Rica, según la Ley N° 7356 se encarga de importar, refinar y distribuir el petróleo crudo y sus derivados para satisfacer la demanda nacional. La empresa cuenta con varios planteles, siendo uno de ellos es el Plantel de Refinería ubicado en Moín en la provincia de Limón, en este se efectúan las principales operaciones de refinado.

Entre los productos que se almacenan en sus planteles se encuentran los llamados productos negros, que incluyen bunker, asfalto, IFO 380 y crudo pesado, a los cuales es necesario suministrar energía para disminuir su viscosidad de forma que el producto pueda fluir y manejarse fácilmente. Para cumplir con esta necesidad RECOPE ha instalado en el Plantel de Refinería Moín un sistema de generación y distribución de vapor, que suple la demanda para servicios calientes de las unidades de proceso y los requerimientos de vapor de tanques de almacenamiento de productos negros.

El sistema de vapor de RECOPE produce en promedio 20.700 kilogramos de vapor por hora (según datos entre julio 2010 y agosto 2011), de los cuales el 86% se destina a calentamiento de tanques y líneas de distribución y el 14% a las unidades de proceso. Para el año 2011, en el área de tanques la configuración del sistema de distribución de vapor es de tipo abierto, lo que significa que después de su uso el vapor es descargado al ambiente en forma de condensados o vapor flash.

Dado que los condensados son agua con una temperatura cercana a los 100 °C y contienen aditivos químicos propios de su tratamiento, su carácter oxidante puede corroer el medio con el que entra en contacto, creando un desgaste sobre los equipos cercanos y contaminación del suelo.

Por otro lado, al no aprovechar los condensados producidos hay altos consumos de agua fresca, cerca de los 17 mil metros cúbicos por mes, que se extraen del río Bartolo, provocando sobreexplotación del medio ambiente y agotamiento de los recursos naturales.

Para tratar estos volúmenes de agua y generar con ellos vapor se requiere de una gran cantidad de combustible, para ello RECOPE emplea aproximadamente 1000 metros cúbicos de bunker mensualmente en producción de vapor, los cuales generan emisiones contaminantes que contribuyen al calentamiento global, y su uso representa una carga para el medio ambiente desde el punto de vista de aprovechamiento de los recursos naturales debido a que esta es una fuente de energía no renovable.

Además de la problemática ambiental, RECOPE enfrenta pérdidas económicas por el uso no eficiente del vapor, las fugas y las bajas eficiencias de transferencia de calor en los equipos son las principales razones del problema. Conjuntamente, la ausencia de un sistema de retorno de condensados hace que se pierda la oportunidad de aprovechar la energía de estos, ya que son generalmente agua de alta pureza a temperatura moderadamente alta.

El reingreso de condensados al sistema de generación de vapor conlleva dos beneficios principales; el primero es la disminución del combustible necesario en calderas, ya que el aumento de la temperatura de entrada del agua al generador hace que el calor necesario para la evaporación disminuya; y el segundo es el ahorro en aditivos químicos en el tratamiento de agua para calderas, debido a que los condensados retornan en forma de agua tratada que conserva las propiedades necesarias para el ingreso al sistema.

De la misma forma, otro aspecto problemático que genera el sistema abierto es el riesgo para la integridad física de los trabajadores ya que, como se muestra en la figura 1.1 los condensados se descargan directamente al ambiente.



Figura 1.1 Descarga de trampa de vapor termodinámica, área de asfaltos, Plantel Refinería RECOPE.

Las condiciones expuestas fundamentan la necesidad de la empresa de encontrar soluciones integrales a la problemática del sistema de vapor del Plantel de Refinería y este trabajo busca presentar opciones que ayuden a optimizar su funcionamiento y minimicen el impacto negativo sobre el medio ambiente.

Las principales actividades que se desarrollarán para alcanzar los objetivos propuestos son:

1. Implementar el uso de indicadores de consumo energético para el área de generación de vapor.
2. Elaborar un manual de inspección y mantenimiento para el área de vapor.
3. Realizar un inventario de trampas para vapor del área de tanques de producto negro de la refinería.
4. Proponer el diseño conceptual de un sistema de retorno de condensados para el área de tanques de producto negro.
5. Evaluar de la viabilidad financiera de las mejoras recomendadas en el sistema de vapor.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas de generación de vapor

2.1.1. Generadores de vapor

Los sistemas de vapor tienen dentro de su configuración gran cantidad de elementos en cuanto a operación y control, dentro de ellos se cuentan:

- ✓ Calderas
- ✓ Controladores de temperatura y presión
- ✓ Válvulas de seguridad
- ✓ Válvulas reguladoras de flujo
- ✓ Bomba de alimentación
- ✓ Tanque de condensados
- ✓ Trampas de vapor
- ✓ Redes de distribución
- ✓ Equipos consumidores
- ✓ Sistemas de recuperación de calor

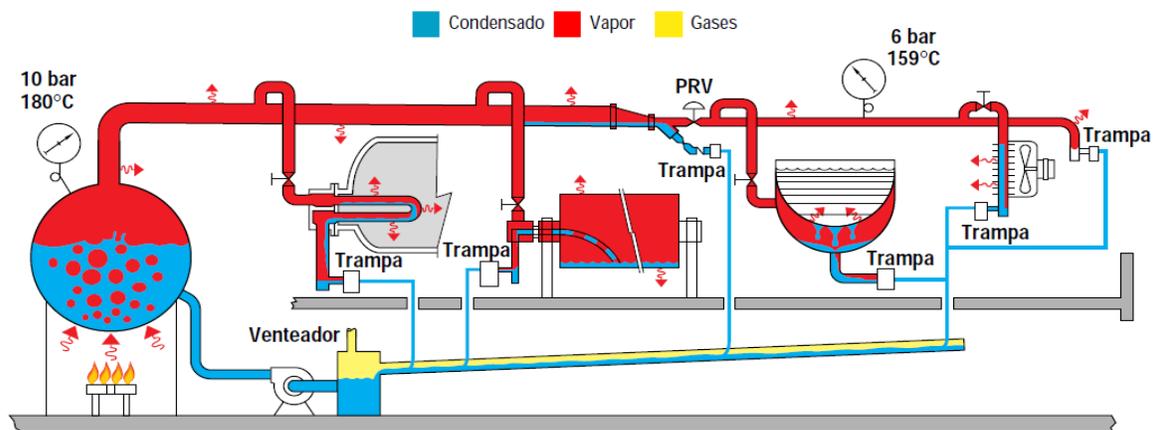


Figura 2.1 Elementos que componen un sistema de vapor.¹

Las calderas o generadores de vapor son equipos que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan o calientan el agua para aplicaciones industriales, una vez evaporada ésta es transportada por sistemas de vapor que permiten el aprovechamiento de su energía (Compañía Suramericana de Seguros S.A., 2002).

¹ Fuente: Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados. Manual N-101S. Armstrong International.

El vapor es un fluido gaseoso cuya temperatura es inferior a su temperatura crítica. Cuando este se enfría se condensa y se vuelve líquido, comúnmente conocido como “condensados”. Normalmente estos condensados contienen una gran cantidad de calor que puede ser empleada en la realimentación a la caldera una vez que haya sido degasificada para eliminar los gases disueltos como el oxígeno (SISTEAGUA, s.f.).

El condensado de vapor es usualmente agua de alta pureza a una temperatura moderadamente alta, por lo que es necesario recuperar la máxima cantidad que sea posible para volver a utilizarla en la caldera (Soto, 1996).

El retorno de condensados se hace con el fin de ahorrar: calor, agua de reposición, productos químicos usados para el tratamiento de agua y para reducir el combustible empleado en la caldera. Sin embargo, cuando hay peligro de que el agua de alimentación de la caldera reciba condensado contaminado, éste se debe desechar por medio de un sistema de control automático (Soto, 1996).

La recolección de condensados debe hacerse de forma que la tubería no interfiera con la operación de las trampas para vapor. Además este puede ser presurizado o no, y se dice que un sistema de condensados presurizado puede ahorrar a una planta industrial como mínimo de un 15% a un 35% los costos de combustible, cuando lo comparamos con un sistema de condensados convencional venteado a la atmósfera (Villacrés, s.f.).

2.1.2. Distribución del vapor

El sistema de distribución de vapor es un enlace importante entre la fuente generadora del vapor y el usuario. Este debe proporcionar vapor de buena calidad en las condiciones de caudal y presión requeridas, y debe realizarlo con las mínimas pérdidas de calor y atenciones de mantenimiento (Compañía Suramericana de Seguros S.A., 2002).

Normalmente en las líneas de distribución de vapor se colocan materiales aislantes para mejorar la eficiencia de los procesos de distribución, esto ayuda a mantener la temperatura de las líneas de trasiego y los equipos (Fiberglass, 2009). La instalación de aislantes puede reducir las pérdidas de calor de un 85% a un 90%, no obstante, su presencia no evita por completo la formación de condensado, ya que por cualquier recipiente o tubería por la que

pase el vapor estará sujeto a la pérdida de calor hacia la atmósfera. En este caso, es importante que posterior a su formación, estos condensados sean evacuados del sistema para que este funcione con la mayor eficiencia posible (Soto, 1996).

La trampa para vapor tiene como función básica permitir la formación de condensados en los sistemas de calentamiento para su posterior drenado fuera del equipo (Doty, 2009). Además, propicia el enlace de los sistemas, por lo tanto es vital para la operación (Soto, 1996). Estas representan la mayor oportunidad de conservación de energía, o en su caso podrían ser el punto de mayor desperdicio de vapor. Su

Existen diferentes tipos de trampas para vapor, estos se agrupan en 3 grandes categorías:

1. Trampas mecánicas.
2. Trampas termostáticas.
3. Trampas termodinámicas.

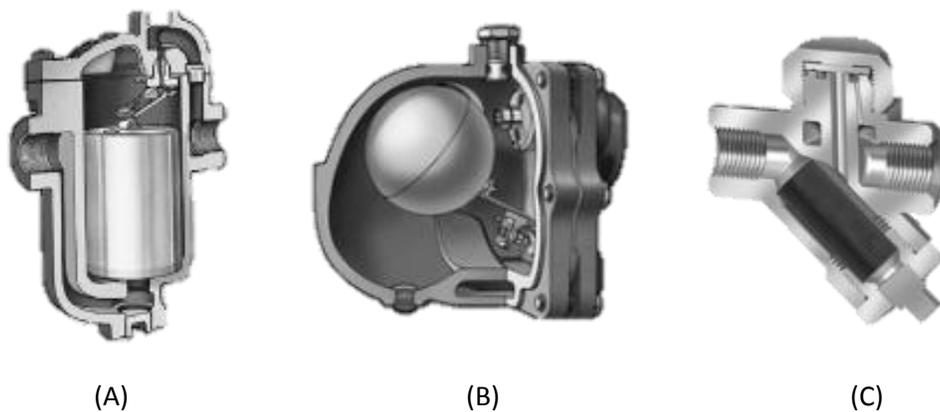


Figura 2.2 Trampas para vapor de tipo balde invertido (A), flotador y termostática (B) y termodinámica (C).²

Las trampas mecánicas son aquellas que funcionan detectando las diferencias de densidad que existen entre el vapor y el condensado. Entre ellas, se pueden señalar las trampas combinadas de flotador y las trampas de balde invertido. Las trampas termostáticas son aquellas que funcionan detectando la diferencia de temperatura entre el vapor y los

² Fuente: Catálogo en línea de equipos Armstrong International: <http://www.armstronginternational.com>

condensados que se han enfriado, son de tipo bimetálico. Las trampas termodinámicas son válvulas cíclicas las cuales operan con el principio de diferencia entre flujo de vapor y el flujo del condensado sobre la superficie. Al entrar el vapor este viene con una velocidad mayor y el disco que usan como válvula se cierra, luego éste se abre al presentarse la baja velocidad del condensado (González, 2010).

Las trampas para vapor pueden presentar distintos tipos de fallas, según Soto (1996):

- Falla de posición cerrada: provoca la inundación de condensados, sin embargo suele pasar desapercibida en las tuberías de vapor, pues es interna.
- Falla en la posición abierta: genera pérdidas de vapor vivo, es una falla evidente si no se cuenta con un sistema de retorno de condensados.
- Operación deficiente: resulta en pérdidas de vapor, es difícil determinar el grado de deficiencia en este caso.

La ineficiente remoción del condensado produce principalmente dos efectos. Primero, si el condensado no es evacuado del sistema y continúa por las tuberías eso provoca un decaimiento de la temperatura por lo tanto una reducción del potencial de transferencia de calor, volviendo deficiente el proceso. El segundo es la generación de golpes de ariete en las tuberías, este fenómeno se produce cuando el líquido queda atrapado entre paquetes de vapor, este es arrastrado por el vapor a una velocidad mayor a la del mismo y cuando alcanza una obstrucción (válvula o codo) produce un impacto considerable en las tuberías y equipos instalados (Doty, 2009).

Otra función de las trampas para vapor es remover el aire que entra en el proceso cuando ocurre un cierre y además evacuar algunos gases que se forman en la ebullición del agua, estos dos factores pueden provocar un aumento de presión en el sistema y tornarlo menos eficiente (Doty, 2009).

El mantenimiento de las trampas para vapor es una de las principales herramientas para mantener el sistema operando de forma eficiente. Este suele ser laborioso, debido a que no siempre se cuenta con el asesoramiento adecuado y el trabajo se vuelve confuso a la hora de

determinar si la trampa está funcionando adecuadamente o no. No obstante, según Kreith (2007) existen ciertos puntos que son esenciales en un programa de mantenimiento:

- El establecimiento de un comité de mantenimiento que cuente con los conocimientos técnicos.
- Un análisis detallado de la situación de la planta, que corresponda a un período de tiempo adecuado a las operaciones de esta.
- Un grupo de trabajo en mantenimiento a tiempo completo.
- Equipo adecuado para la evaluación de las trampas para vapor.
- Numeración e identificación de los equipos que conforman el sistema de vapor.

2.1.3. Indicadores de rendimiento energético en sistemas de vapor

Un indicador es un dato o conjunto de datos que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso o de una actividad. Los indicadores son necesarios para poder mejorar, mostrarán los puntos problemáticos del proceso y nos ayudarán a caracterizarlos, comprenderlos y confirmarlos. Toda unidad debe contar con un conjunto entrelazado de indicadores para las diferentes perspectivas con las cuales interactúa (Universidad de Granada, 2007).

El principal indicador en este caso es el costo de generación de vapor (MetroGAS, 2010), ya que permite visualizar las pérdidas económicas que se generan en un sistema de vapor mal configurado o que se encuentre en malas condiciones de operación.

Este es un parámetro muy importante ya que refleja la eficiencia en función de su utilización. Este valor adquiere mayor significado cuando se presenta en forma de índices de costos, que lo relacionen con datos productivos, los cuales pueden darse en términos mensuales o anuales e indicar la eficiencia del sistema respecto a otros períodos de operación.

Los parámetros más importantes a tomar en cuenta para realizar el cálculo son: el costo de combustible de la caldera, los costos de alimentación y tratamiento de agua, los costos por electricidad consumida, los costos de mantenimiento de equipos, los costos operativos y por supuesto la producción de vapor (MetroGAS, 2010).

Sin embargo, el costo del vapor no es el único parámetro que se debe de considerar, en un sistema de este tipo la forma más confiable de llevar a cabo un control del rendimiento energético es empleando indicadores. No obstante, estos deben estar definidos previamente para establecer qué se quiere medir, cómo se va a medir y con qué frecuencia (Altmann, 2010).

Finalmente, en una empresa además de indicadores globales deben existir indicadores por proceso, algunas de los indicadores más significativos en el área de rendimiento energético en circuitos de vapor, son según Altmann (2010):

- ✓ Vapor generado / Consumo de combustible
- ✓ Volumen de agua neta consumida / Vapor generado
- ✓ Energía para producir vapor / Volumen de producción
- ✓ Eficiencia de la combustión en el generador de vapor
- ✓ Porcentaje de recuperación de condensado

2.2. Generalidades Refinadora Costarricense de Petróleo S.A.

2.2.1. Reseña histórica

La Refinadora Costarricense de Petróleo S.A. se fundó en el año 1961, desde ese momento se iniciaron los trámites ante el Ministerio de Industrias para la instalación de una refinería bajo la Ley 2426 de Protección y Desarrollo Industrial. Para el año 1962, la Asamblea Legislativa inició un proceso legal con RECOPE que concluyó con la suscripción de un contrato definitivo que se llamado Contrato Industrial 53-62. Luego, en el año 1963 fue aprobado el contrato que permitió la construcción de una refinería en Limón. En ese momento el 65% de las acciones le pertenecían a la compañía ALLIED CHEMICAL, un 20% a particulares y un 15% eran del Estado.

En el año 1966 se terminó parcialmente la construcción de la planta en Moín en la cual constaba solo de dos tanques de almacenamiento y un edificio de talleres, la finalización de

las obras se da en 1967 con la instalación de los equipos por parte de la compañía PROCO FRANCE.

En el año 1968, el gobierno de Costa Rica inicia el proceso de compra de la refinería a ALLIED CHEMICAL, este tardó 7 años en concluirse y para 1973 las acciones fueron compradas por el simbólico monto de \$1. En 1974 la Asamblea Legislativa ratificó el traspaso de RECOPE S.A. al Estado Costarricense mediante la Ley 5508 del 17 de abril de 1974 y al finalizar el año se completó el 100% del traspaso de las acciones de la Refinería. Luego vino la modernización del plantel en el año 1996 con la empresa Española Dragados y Construcciones quienes se encargaron de la ingeniería de detalle, la procura y la supervisión de la obra mientras que la ingeniería básica había sido desarrollada por el Instituto Francés de Petróleo (IFP). Luego de esto la planta reinicia sus operaciones a partir del año 2001.

2.2.2. Marco legal

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), fue constituida como sociedad anónima de capital privado mediante escritura pública del 16 de diciembre de 1961.

Mediante Ley 5508 publicada en la Gaceta #66 del 19 de abril de 1974:

- Se ratifica el convenio suscrito entre la Allied Chemical Interamerican, dueña del capital de RECOPE S.A. y el Gobierno de Costa Rica para el traslado de las acciones al estado costarricense, quedando prohibido ceder, dar en garantía ninguna acción representativa del capital de RECOPE S.A.
- Se autoriza a RECOPE a realizar cualquier convenio con inversionistas nacionales o extranjeros, para obtener el financiamiento necesario con el fin de modernizar o ampliar sus instalaciones.
- Se autoriza a RECOPE para que tome las medidas que aseguren la distribución eficiente y económica de todos los derivados del petróleo, así como para su producción o importación. (Artículo 5°).

- Se obliga a RECOPE a ir asumiendo directamente la distribución de los productos cuando venzan los contratos de las compañías petroleras de capital privado que a esa fecha operaban en Costa Rica (Artículo 5°)

Mediante Decreto Ejecutivo 5154-P, publicado en La Gaceta #167 del 4 de setiembre de 1975, se reglamenta la Ley 5508 y se obliga a RECOPE formalizar contratos con toda persona física o jurídica que desee comprar sus productos directamente en los planteles.

Mediante Ley 6588, publicada en La Gaceta #154 del 13 de agosto de 1981, se regula la actividad de RECOPE:

- Se definen como objetivos de RECOPE: refinar, transportar, comercializar a granel el petróleo crudo y sus derivados, mantener y desarrollar las instalaciones necesarias para ello y ejecutar, en lo que corresponda y previa autorización de la Contraloría General de la República, los planes de desarrollo del Sector Energía conforme al Plan Nacional de Desarrollo.
- Se le prohíbe otorgar préstamos, hacer donaciones, conceder subsidios o subvenciones y construir oleoductos interoceánicos sin previa autorización legal.

Mediante Decreto Ejecutivo 14874-MIEM publicado en La Gaceta #194 del 14 de octubre de 1983, se reglamenta la Ley 6588 y se dispone que:

- Los productos expendidos por RECOPE deben cumplir las normas de calidad que fije el Poder Ejecutivo mediante decreto.
- Se autoriza a RECOPE a comercializar petróleo y sus derivados en el exterior, siempre que el abastecimiento nacional esté garantizado, y a que fije las condiciones de venta de acuerdo con los mercados internacionales.

Mediante Ley 7356, publicada en La Gaceta #170 del 6 de setiembre de 1993; y conocida como Ley del Monopolio:

- Se declara monopolio del Estado "la importación, refinación y distribución al mayoreo de petróleo crudo y sus derivados, que comprenden combustibles, asfaltos y naftas para satisfacer la demanda nacional".

- Se concede la administración de ese monopolio a RECOPE en tanto su capital accionario pertenezca en su totalidad al Estado.
- Se prohíbe al Estado enajenar y dar en garantía ninguna acción representativa del capital de RECOPE, reiterándose la disposición al respecto contenida en la Ley 5508.

La Ley 7428 (Ley Orgánica de la Contraloría General de la República) otorga competencia a ésta en materia de control de fondos públicos sobre todos los entes que conforman la Hacienda Pública (Artículo 4°). En consecuencia, corresponde a la Contraloría General de la República la aprobación del presupuesto de RECOPE, de sus modificaciones externas y liquidación.

Mediante Ley 7593, publicada en La Gaceta #169 del 5 setiembre de 1996 y vigente desde el 5 de octubre de ese año, se creó la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), que sustituye al Servicio Nacional de Electricidad (SNE), que fija precios y tarifas y vela por el cumplimiento por parte de los entes reguladores de las normas de calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima del servicio fijadas por el Poder Ejecutivo. RECOPE es el prestatario del servicio público de abastecimiento de combustibles derivados de hidrocarburos, a los que se refiere el artículo 5°, inciso d.1 de la Ley 7593.

Mediante Ley 7494 publicada en el Alcance N° 20 a La Gaceta N° 110 del 8 de junio de 1995, se promulga la Ley de la Contratación Administrativa, que entra en vigencia el 01 de mayo de 1996, reglamentada por Decreto Ejecutivo 25.083-H publicado en La Gaceta N° 62 del 28 de mayo de 1996.

- Regula toda la contratación de bienes y servicios hecha con fondos públicos, sin distinguir la naturaleza jurídica de la entidad que realiza la contratación incluida la de RECOPE.

Mediante Ley 7722 publicada en La Gaceta N°10 del 15 de enero de 1998, se dicta la "Ley de Impuesto sobre la Renta a Instituciones Públicas", por lo que quedan según lo establecido en la Ley 7092 sujetos al pago de impuesto de renta, los entes públicos que se indican, incluyendo RECOPE.

Mediante la Ley 8131 (Administración Financiera y Presupuestos Públicos) se regula el régimen económico financiero de los órganos y entes administradores o custodios de los fondos públicos, incluyéndose por tanto a RECOPE en el inciso c) del artículo 1.

Vía jurisprudencia de la Sala Constitucional ha quedado claramente definido que la relación contractual de RECOPE con quienes compran combustible en sus planteles, está referido por el derecho privado.

2.2.3. Plantel de Refinería

RECOPE se compone de varios planteles, uno de ellos es el Plantel de Refinería ubicado en la localidad de Moín, en la provincia de Limón. En este se efectúan las principales operaciones de refinado, con una capacidad de procesamiento nominal de 25 000 BBL/D.

Las unidades de proceso con las que cuenta el plantel son:

- ✓ Unidad de Destilación Atmosférica (Crudo).
- ✓ Unidad de Destilación al Vacío (Vacío).
- ✓ Unidad de Concentración de Gases (GasCon).
- ✓ Unidad Viscosreductora (TC).
- ✓ Unidad de Reformado Catalítico.
 - Sección Hidrotratadora de Nafta (Unificadora) y
 - Sección de Platformado (Platformado).
- ✓ Unidad Hidrotratadora de Destilados Medios (Destilado).
- ✓ Unidad de Tratamiento Caustico de LPG.
- ✓ Unidad de Tratamiento Caustico de Naftas.

Además de la planta procesadora de petróleo el Plantel Moín cuenta con un muelle petrolero para la importación de crudo y productos terminados, y un área de almacenamiento de combustibles (producidos en el sitio y/o importados), los cuales luego son distribuidos a al resto de planteles por medio del poliducto, que va desde Moín hasta Barranca.

Para el 2011, el plantel cuenta con una capacidad de almacenamiento de 379.246,20 m³, esta capacidad corresponde a 72 recipientes para almacenamiento, de los cuales 62 son tanques verticales cilíndricos, 3 son recipientes esféricos para LPG y 7 son depósitos cilíndricos horizontales también para LPG.

De la totalidad de almacenamiento de la Refinería, se tienen 66.593,25 m³ pertenecientes a los siguientes productos negros: bunker, asfalto, IFO 380 y crudo pesado. En la siguiente tabla se muestra la distribución de los mismos, se excluye en ella lo correspondiente a gasóleo y slop, pues estas áreas están fuera del alcance del proyecto.

Tabla 2.1. Capacidad de almacenamiento de productos negros en el plantel de refinería RECOPE.

Número de tanque	Producto	Capacidad (m ³)
727	Bunker	12536,204
728	Bunker	12729,260
729	Bunker	12266,826
735	IFO-380	2060,896
736	IFO-380	1897,780
737	IFO-380	1963,351
791	IFO consumo interno	61,863
7210	IFO consumo interno	891,648
7016	Crudo pesado	6794,146
7017	Crudo pesado	3485,157
7018	Crudo pesado	3483,106
753	Asfalto	1313,760
754	Asfalto	1301,220
755	Asfalto	1301,853
951	Slop de asfalto	259,316
952	Asfalto	2123,464
953	Asfalto	2123,400
Total	-	66 593,250

Fuente: Control Inventarios, Departamento de Procesos de Refinación, RECOPE S.A.

Estos productos en condiciones de temperatura ambiente tienen un alto grado de viscosidad, lo que impide que puedan ser manejados a estas condiciones y se les deba suministrar el calor suficiente para disminuir su viscosidad hasta el punto que puedan ser bombeados y trasegados a través de los sistemas de tuberías. Una temperatura aceptable es aproximadamente 149°C para el asfalto, 90°C en el caso del bunker, 65°C para el crudo pesado y 27°C en IFO 380.

2.2.4. Sistema de generación de vapor Plantel de Refinería

RECOPE utiliza como medio para suministrar energía a los equipos y productos un sistema de generación de vapor (Anexo 1), compuesto por una unidad de tratamiento de aguas, una batería de calderas acuatubulares y una red de tuberías de distribución que suministran el vapor necesario para el proceso de refinación, el calentamiento interno de los tanques de producto negro y el trasiego de productos en las tuberías.

La unidad de tratamiento de aguas para alimentación a calderas, es del tipo ablandamiento con cal caliente y es alimentada por las bombas de agua cruda denominadas UP-507 A/B/C que toman el agua del río Bartolo. Los principales equipos de esta unidad son:

- ✓ Un termocirculador con serpentín de vapor de baja presión e inyección de solución alcalina (UV-506).
- ✓ Tres filtros de carbón activado con compresor de aire (UV-517 A/B/C).
- ✓ Tres recipientes de intercambio iónico con tanque de cal y ejector (UV-518 A/B/C).

La capacidad de la unidad es de 45 m³/h, que cubre la máxima demanda de agua de reposición para el balance vapor y condensado.

La instalación tiene como funciones:

1. La descarbonatación, que es la reducción de la fracción de dureza del agua que se encuentra en forma de bicarbonatos por precipitación con cal.
2. La eliminación de sílice y la suavización del agua destinada a la alimentación de las calderas.
3. La desgasificación y filtración del agua.

Para producir el vapor en el plantel se cuenta con tres unidades generadoras, calderas acuatubulares tipo “D” que funcionan con combustible fuel-oil y cuyas capacidades son:

1. Caldera UB-503: 26,3 Ton/h
2. Caldera UB-504: 39.5 Ton/h
3. Caldera UB-505: 55 Ton/h

El vapor que se produce en las calderas es conducido hasta las diversas unidades de proceso a una presión de 17,2 bar (250 PSI) vapor saturado, se trasiega por medio de una red de tuberías compuesta por un cabezal, ubicado a lo largo del rack central de la planta, así como hacia el área de almacenamiento mediante una tubería con aislamiento térmico.

Las funciones que el vapor cumple en la Refinería son básicamente el suministro de calor a las unidades de proceso y tanques de almacenamiento, y la fuerza motriz para el accionamiento de equipos rotativos como bombas y compresores por medio de turbinas de contrapresión de vapor.

CAPÍTULO III

3. OBJETIVOS

Objetivo general:

- ✓ Contribuir al uso eficiente del vapor en el plantel de refinería de RECOPE con el fin de minimizar el impacto negativo sobre el ambiente.

Objetivos específicos:

Desarrollar herramientas de control que permitan mantener actualizado el diagnóstico del sistema de vapor.

Racionalizar el consumo de recursos naturales del sistema de vapor y generar ahorro económico en el costo de generación.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGIA

Para llevar a cabo el proyecto de optimización del sistema de vapor del Plantel de Refinería de RECOPE, se seguirá la metodología que se presenta a continuación, esta se divide según las actividades planteadas.

4.1. Implementación del uso de indicadores de consumo energético para el área de generación de vapor.

- 4.1.1. Investigar si en la empresa existen actualmente indicadores de consumo energético.
- 4.1.2. Investigar mediante referencias bibliográficas y consulta a experto cuáles son los indicadores que se ajustan mejor a los sistemas de vapor presentes en RECOPE.
- 4.1.3. Elegir los indicadores más representativos para la empresa.
- 4.1.4. Extracción de datos del sistema de control de calderas Honeywell Experion PKS.
- 4.1.5. Procesar los datos extraídos para obtener los índices para el período comprendido entre julio de 2010 a agosto de 2011.

4.2. Elaboración de un manual de inspección y mantenimiento para el área de vapor

- 4.2.1. Realizar un diagnóstico acerca del procedimiento que se emplea actualmente para la revisión y el mantenimiento de los equipos del sistema de vapor.
- 4.2.2. Investigar mediante referencias bibliográficas y consulta a experto la existencia de otros programas de mantenimiento en sistemas de vapor.
- 4.2.3. Identificar las variables a inspeccionar en el sistema.
- 4.2.4. Desarrollar un instructivo de inspección que establezca: períodos y frecuencias de inspección; responsables de inspección y mantenimiento; lista de chequeo de los rubros a inspeccionar e información técnica de los equipos.

4.3. Inventario de trampas para vapor del área de tanques de producto negro de la refinería.

- 4.3.1. Identificar las características de las trampas para vapor que sean relevantes para anotar en el inventario.
- 4.3.2. Realizar un diagnóstico mediante visitas de campo, de la cantidad, ubicación, características y estado aparente de las trampas para vapor ubicadas en las áreas de asfaltos, bunker, crudo pesado e IFO 380.
- 4.3.3. Procesar la información obtenida del punto anterior, para generar los diagramas de ubicación de trampas y las listas del inventario.

4.4. Diseño de un sistema de retorno de condensados para el área de tanques de producto negro.

- 4.4.1. Delimitar el área y los equipos para los cuales se diseñará el sistema de retorno de condensados.
- 4.4.2. Estimar la cantidad de condensados y vapor “flash” que recibirá el sistema.
- 4.4.3. Seleccionar el área donde sea recomendable la instalación de los equipos.
- 4.4.4. Elaborar la memoria de cálculo del sistema de retorno de condensados propuesto.
- 4.4.5. Elaborar diagramas del sistema propuesto.
- 4.4.6. Elaborar un informe de necesidades de equipo para la instalación del sistema.

4.5. Evaluar la viabilidad financiera de las mejoras recomendadas en el sistema de vapor

- 4.5.1. Estimar el ahorro generado por la instalación del sistema de retorno de condensado. Tomando en cuenta los siguientes rubros: abastecimiento y tratamiento de aguas y ahorros de combustible en calderas.
- 4.5.2. Calcular la inversión por la instalación del sistema de retorno de condensados, considerando: costos de compra de equipos e instalación del sistema y costos de operación y mantenimiento del sistema propuesto.
- 4.5.3. Calcular el retorno de la inversión del sistema de retorno de condensados.
- 4.5.4. Calcular el retorno de la inversión por mejoras globales del sistema de vapor.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Implementación del uso de indicadores de consumo energético para el área de generación de vapor

El cálculo de los indicadores de consumo energético en el área de vapor es una herramienta que permite visualizar integralmente el funcionamiento de los sistemas de vapor, lo que conlleva a una mejor toma de decisiones en cuanto a la operatividad y la asistencia que se deba asignar al sistema.

En este caso los indicadores calculados fueron:

1. Vapor generado entre consumo de combustible
 - kg vapor/kg combustible
2. Vapor generado entre agua neta consumida
 - kg vapor/kg agua consumida
3. Volumen de producción entre energía de producción
 - kg vapor/kWh consumido

Los datos obtenidos para el cálculo de estos fueron extraídos del sistema de control de calderas Honeywell Experion PKS, para el periodo comprendido entre julio de 2010 y agosto de 2011. Este puede ser consultado desde el Cuarto de Calderas ubicado al oeste de la Planta de Proceso de la Refinadora.

Los equipos que se encontraban integrados al sistema para el momento de la obtención de datos eran las calderas UB-504 y UB-505, de ellas se puede obtener una gran cantidad de información de las distintas variables de medición. Es importante resaltar que la caldera UB-503, la cual aún se encuentra en operación en la refinería no se encontraba conectada al sistema de control automático hasta el mes de junio del 2011, por lo que los datos hasta esa fecha no fueron registrados, no obstante según reportes de los operadores la unidad UB-503 no estuvo en producción en el período para el cual fueron calculados los siguientes índices, excepto el mes de setiembre de 2010.

Los reportes que se generan en este sistema se pueden configurar de acuerdo a la necesidad del usuario, en este caso se tomaron los datos de los siguientes puntos:

Tabla 5.1. Variables de medición para el cálculo de indicadores del sistema de vapor del Plantel de Refinería RECOPE S.A.

Identificación	Equipo	Variable	Unidades de medición
FIC_3303.DACA.PV	UB-504	Agua de alimentación a caldera	kg/h
FIC_101.DACA.PV	UB-505	Agua de alimentación a caldera	kg/h
FIC_3305.DACA.PV	UB-504	Flujo de combustible	kg/h
FIC_301.DACA.PV	UB-505	Flujo de combustible	kg/h
FT3304.DACA.PV	UB-504	Producción de vapor	kg/h
FT_102.DACA.PV	UB-505	Producción de vapor	kg/h

El cálculo de los indicadores fue mensual, no obstante el reporte de datos de los puntos anteriores se confeccionó diariamente con tres mediciones por día, exactamente a las 12:00 am, a las 8:00 am y a las 4:00 pm.

Además de los datos del reporte de calderas, se coordinó con el Departamento de Servicios Operativos de Apoyo de la Gerencia de Refinación para la obtención del consumo eléctrico de los equipos del sistema de vapor. El documento facilitado por este departamento incluye el consumo de todas las unidades de la planta de proceso y los edificios del plantel, por lo que se debió extraer únicamente la información que correspondía a la unidad de utilidades, la cual involucra el tratamiento de aguas y generación de vapor de la planta. Los rubros que se incluyen en el cálculo son:

- ✓ Unidad Utilidades (CCM-UV)
- ✓ Unidad Utilidades (CCM-CALDERA UB505)
- ✓ Unidad Utilidades (CCM-UTIL1)
- ✓ Unidad Utilidades (CCM-UTIL2)

Una vez recolectados todos los datos necesarios se procedió a realizar el cálculo de los indicadores. La siguiente tabla muestra los principales resultados:

Tabla 5.2 Indicadores energéticos para el sistema de vapor del Plantel de Refinería RECOPE S.A.

Año	Mes	Caldera en Operación	Producción de vapor (kg/h)	Producción vapor (kg/mes)	Consumo Agua (kg/mes)	Consumo Eléctrico (kWh/mes)	Consumo de Combustible (kg/mes)	kg vapor producido/ kg agua	kg vapor producido/ kg combustible	kg vapor producido/ kWh consumido
2010	Julio	UB505	25.412,43	18.906.851,28	20.349.939,36	409.372,01	1.125.705,28	0,92	16,74	46,19
	Agosto	UB505	27.565,30	19.847.014,56	21.244.463,52	433.289,59	1.148.245,20	0,93	17,32	45,81
	Septiembre	UB503 UB504	17.603,98	6.900.759,12	7.511.303,76	320.600,38	371.147,68	0,92	18,54	21,52
	Octubre	UB504 UB505	22.815,24	16.609.494,40	18.199.019,84	404.592,69	928.898,32	0,92	18,21	41,05
	Noviembre	UB504	20.081,67	14.458.805,12	15.836.673,52	304.295,36	764.491,04	0,91	18,91	47,52
	Diciembre	UB504 UB505	20.133,73	14.335.214,56	15.798.340,16	290.800,92	827.032,80	0,91	17,38	49,30
2011	Enero	UB505	25.916,97	17.830.872,80	18.996.165,60	388.069,59	1.086.348,16	0,94	16,38	45,95
	Febrero	UB505	22.880,08	15.375.412,32	16.328.524,16	354.825,76	942.242,00	0,94	16,32	43,33
	Marzo	UB504	15.326,50	11.402.916,40	12.461.674,72	308.879,67	621.875,44	0,92	18,35	36,92
	Abril	UB504	16.393,93	11.803.628,72	12.853.731,92	328.163,04	677.638,88	0,92	17,59	35,97
	Mayo	UB505	22.540,68	16.770.268,32	17.839.704,08	295.402,10	988.116,56	0,94	17,06	56,77
	Junio	UB504 UB505	20.496,16	14.757.236,88	15.757.652,24	279.856,10	842.063,60	0,94	17,73	52,73
	Julio	UB504 UB505	16.436,61	12.228.840,08	13.062.590,40	298.890,86	725.275,36	0,94	16,88	40,91
	Agosto	UB505	18.534,79	11.417.429,20	11.950.010,56	306.371,37	696.348,16	0,95	16,38	37,27

Fuente: elaboración propia

En la tabla 5.2 se observan los indicadores calculados, no obstante, es importante mencionar que los datos reflejados en el mes de setiembre 2010 no deben ser tomados en cuenta puesto que en este mes operó la caldera UB-503 y en ese momento no presentaba registros por lo cual la información suministrada durante ese mes no es confiable.

En el Plantel de Refinería el sistema de vapor brinda servicio tanto a la planta de producción de la refinería, como a los procesos de calentamiento de productos en depósitos de almacenamiento y calentadores en línea. El consumo de vapor se divide así en dos secciones, proceso y almacenamiento, en este caso ha de prestársele mayor atención al almacenamiento o calentamiento de tanques, dado que representa el mayor consumo de vapor y es una operación que permanece constante durante todo el año.

Cada uno de los datos expuestos en la tabla 5.2 es útil para supervisar diferentes aspectos de la operación del sistema de generación de vapor, a continuación se analizan cada uno de sus componentes:

5.1.1. Producción de vapor

En las columnas 3 y 4 de la tabla 5.2 se visualiza el dato de producción de vapor, el cual tiene varias utilidades, una de ellas es que permite estimar la cantidad de agua que regresa a la caldera proveniente del sistema de recuperación de condensados. Actualmente, la Refinería solo recupera una pequeña parte de los condensados, estos provienen de la planta de proceso, mientras que el área de almacenamiento de productos negros aún no tiene instalado el sistema de retorno de condensados.

Además, este dato es útil para estimar la cantidad de vapor que se le asigna a cada sección: almacenamiento y proceso. Así una forma rápida y sencilla de estimar el vapor que llega a los tanques, es medir el suministro de vapor en los meses donde la planta de proceso no se encuentra operando, estos meses son noviembre y diciembre del 2010, y marzo y abril del 2011, se puede observar como en esos meses la producción es considerablemente menor que el resto del año; para el año 2010 ronda las 14.400 toneladas mensuales y para el 2011 las 11.500, la diferencia entre estos dos períodos se debe a que los meses de noviembre y diciembre forman parte de la época lluviosa en la zona atlántica por lo que el sistema debe

compensar las bajas temperaturas del ambiente y el enfriamiento por lluvias, mientras que marzo y abril son meses secos en la zona donde las temperaturas aumentan.

Además, con este indicador es posible supervisar la cantidad de vapor que está siendo proporcionada a los sistemas de calentamiento y corroborar si efectivamente es la adecuada. La producción de vapor actualmente debe cubrir todas las deficiencias que tenga el sistema de distribución de vapor, ya sean estas de diseño, operativas y/o de mantenimiento de equipos.

Deficiencias, tales como fugas de vapor en las líneas de trasiego, mal estado de las trampas de vapor y configuraciones inadecuadas de los equipos. Fallas que pueden ser corregidas a tiempo si se cuenta con un buen sistema de inspección y mantenimiento de los equipos.

Otro aspecto que se debe ser capaz de superar a la hora de producir vapor, son las largas distancias que este debe recorrer para llegar a los equipos consumidores, para ayudar a solventar esto se colocan materiales aislantes en la tubería de vapor y trampas de vapor que ayuden a drenar los condensados de las líneas, sin embargo, esto no evita por completo que existan pérdidas de calor en los trayectos, lo que le resta eficiencia al proceso de calentamiento. Lo recomendable en este caso es instalar equipos intermedios de producción de vapor que ayuden al sistema central a mantener las condiciones idóneas en el vapor a la entrada de los equipos.

Igualmente, resulta importante en este punto considerar si la cantidad de vapor producida es efectivamente la necesaria para mantener el calor de los productos almacenados o si existe una sobreproducción para solventar las pérdidas causadas propiamente por la instalación, de aquí la importancia que esté índice sea calculado con frecuencia y comparado con los parámetros de operatividad respectivos.

5.1.2. Consumo de agua

Por otra parte, el valor reflejado en la tabla 5.2 acerca del consumo neto de agua permite calcular el impacto que se está teniendo sobre la explotación del recurso hídrico de la zona y el impacto por la posterior deposición de esas aguas al ambiente. Para el período de estudio el consumo de agua se ubicó entre los 20.000 y 11.000 metros cúbicos mensuales,

lo que implica un impacto alto sobre el caudal del Río Bartolo, fuente de abastecimiento, y una alta carga de contaminante para el suelo de la refinería, tomando en cuenta que esta agua luego de haber sido utilizada como vapor se expulsa a la atmosfera en forma de condensados a temperaturas altas cercanas a los 100°C y con una carga considerable de químicos, los cuales se le incorporan en la etapa previa de tratamiento de aguas.

Este índice además de ser de gran ayuda para estimar las implicaciones ambientales de la producción de vapor, también le es funcional a la refinería desde el punto de vista operativo para visualizar el volumen de agua que va ser tratado antes de ingresar a las calderas. Asimismo, es una forma de proyectar las necesidades económicas, tanto en términos de costo por aprovechamiento de aguas como por los productos químicos que deben ser adicionados al agua en la planta de tratamiento.

5.1.3. Producción de vapor / Volumen de agua consumido

El consumo de agua también está directamente relacionado con el índice de vapor: kg vapor producido/kg agua consumida, el cual va a ser siempre menor a uno debido a las pérdidas de agua que se dan en las purgas de la caldera. Las purgas de una caldera son indicativo de la cantidad de sólidos disueltos que posee el agua de entrada, ya sean contaminantes o productos propios del tratamiento químico, entre más sólidos contenga el agua, mayor arrastre va a tener el vapor de los mismos causando que se depositen en las superficies de calentamiento y en el equipo auxiliar afectando la eficiencia y productividad de la planta. Las purgas suelen ser automatizadas de acuerdo a la cantidad de sólidos disueltos lo que indica que entre mayor sea en valor del índice menor va ser la cantidad de sólidos en el agua, por lo tanto se contará con un vapor más limpio y se disminuirán las pérdidas energéticas al tener que disponer menor cantidad de agua caliente al ambiente.

Para el caso de RECOPE el promedio de este índice es 0,93, el cual es aceptable si se compara con 0,95 que es el valor óptimo según el fabricante de estos equipos, además para esta desviación de 0,02 es importante considerar que la fuente de abastecimiento de agua es un río por lo que la cantidad de sólidos arrastrados va a ser mayor que si fuese una fuente comercial.

En la siguiente figura se muestra la tendencia del índice en el período de estudio. Se puede observar en ella como los valores del índice aumentan en los períodos donde la planta de proceso está en operación, esto se debe a que en esta área de la refinería se encuentra en funcionamiento un sistema de recuperación de condensados, que abarca parte de los equipos consumidores de vapor. Así en este tiempo, el agua que entra a la caldera es una mezcla de agua recuperada (con baja cantidad de sólidos disueltos, pues ya ha sido tratada) y de agua de reposición (tomada del río y con previo tratamiento), mientras que en los paros de planta toda el agua de entrada proviene del río directamente.

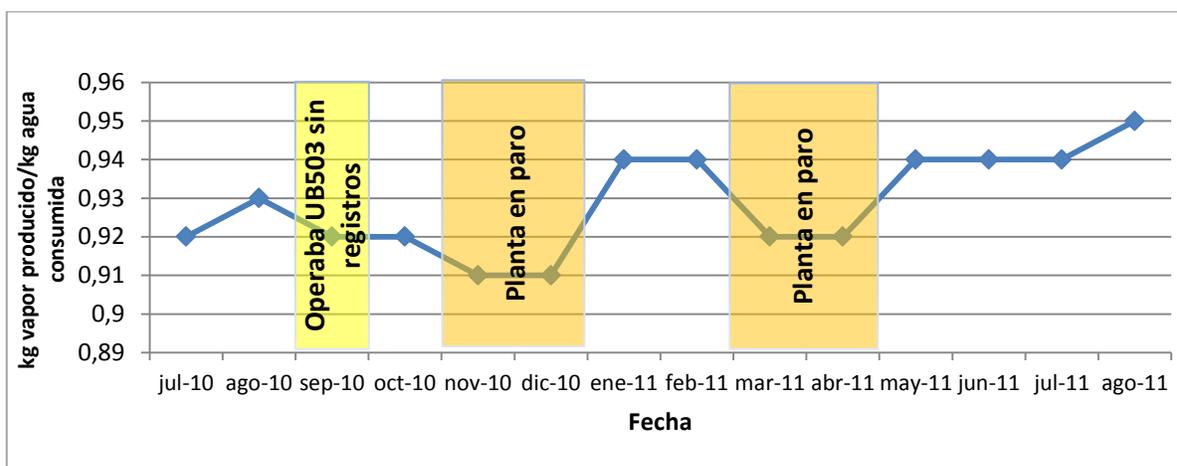


Figura 5.1 Índice de producción de vapor (kg/h) entre el volumen de agua consumido (kg/h), Plantel de Refinería RECOPE.

5.1.4. Producción de vapor / Consumo de combustible

Asimismo, en la tabla 5.2 se encuentra el cálculo del índice: kg vapor producido/ kg de combustible consumido. Para el caso de la generación de vapor de RECOPE el combustible que se utiliza en las calderas es el bunker, un combustible fósil de alto contenido energético, 43,4 MJ/kg. Este índice toma relevancia desde el punto de vista económico y ambiental, ya que es el rubro que mayor peso tiene a la hora de calcular los costos de generación de vapor y por supuesto, desde el punto de vista ambiental es importante considerar tanto el agotamiento del recurso como los impactos ambientales generados en términos de emisiones.

El mantener controlada la cantidad de combustible consumida anualmente brinda la oportunidad de calcular cuál es el impacto ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, específicamente CO₂, dato que se torna importante con las políticas ambientales del Estado costarricense.

En la figura 5.2 se muestra que en los meses de paro de la planta de proceso, el índice tiende a ser más alto, esto se debe a que en estos periodos la caldera que se encuentra en operación es la unidad UB504, la cual según su capacidad nominal (39,5 Ton/h) y la relación con el dato de producción está trabajando cercana al 50% de su capacidad, mientras que en el resto de meses en su mayoría se encuentra operando la caldera UB505 que tiene una capacidad nominal de 55 Ton/h, y que según los datos de producción de vapor, opera cercana al 40% de su capacidad. Esto provoca que bajo las circunstancias de operación específicas de este rango de tiempo, la caldera UB504 sea más eficiente en cuanto al consumo de combustible.

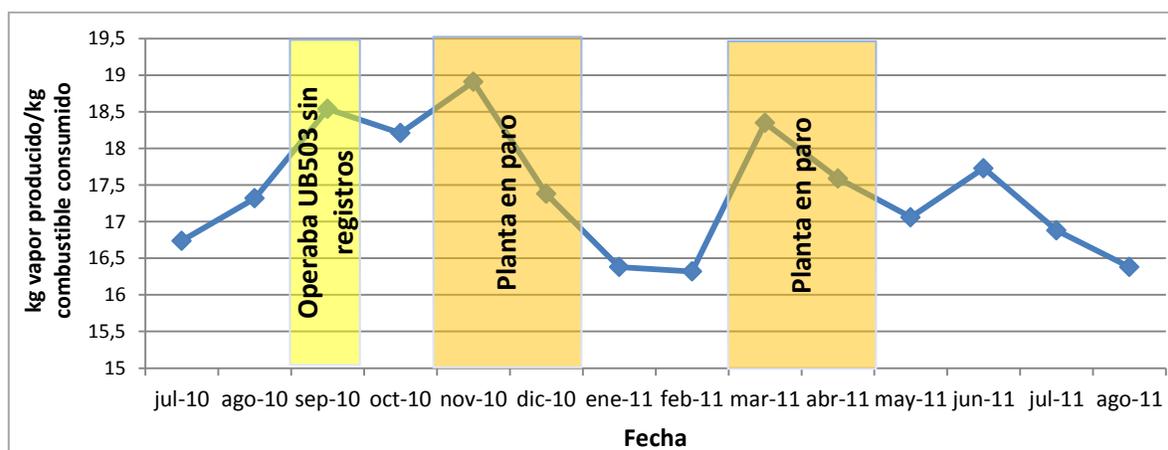


Figura 5.2 Índice de producción de vapor (kg/h) entre el consumo de combustible (kg/h), Plantal de Refinería RECOPE.

5.1.5. Producción de vapor / Consumo de energía eléctrica

Conjuntamente se calcula en la tabla 5.2 el índice: kg vapor producido/ kWh consumido, el cual también es un valor importante en términos económicos y ambientales, y que igual que el anterior puede ser tomado en cuenta en los cálculos de emisiones de gases de efecto invernadero, siendo uno de los rubros más importantes de monitorear.

La siguiente figura muestra la tendencia del índice en el período de estudio. En esta se denota como no existe una correlación entre los periodos de paro de planta y el consumo eléctrico.

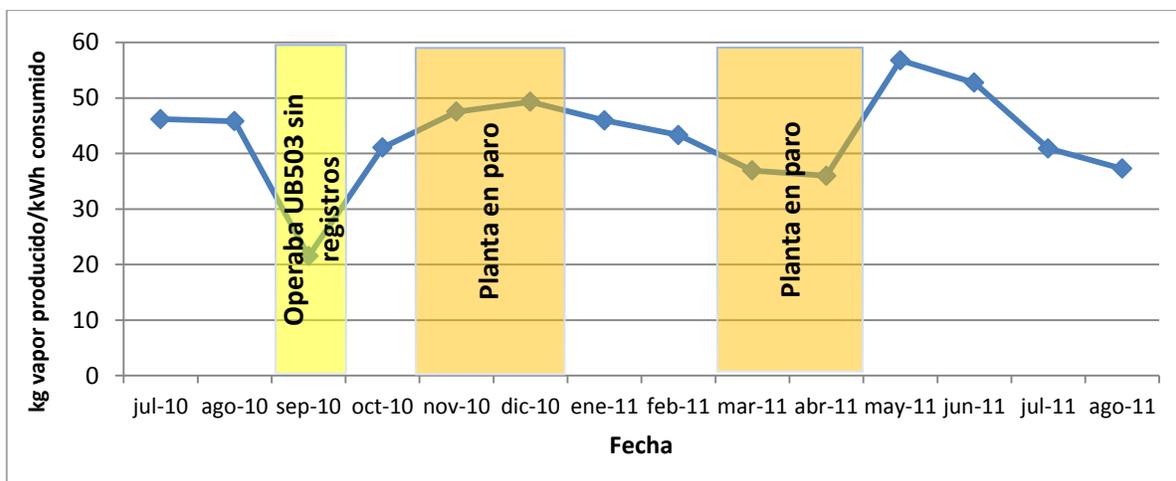


Figura 5.3 Índice de producción de vapor (kg/h) entre el consumo de energía eléctrica (kWh), Plantel de Refinería RECOPE.

Los índices de consumo de combustible y consumo eléctrico, son útiles también para medir la eficiencia de trabajo de los equipos, en cuanto mayores sean los valores mayor aprovechamiento de los recursos se tendrá, en este caso se manejan promedios de 17,41 kg vapor producido/kg combustible consumido, y 42,95 kg vapor producido/ kWh consumido. Igualmente, con el monitoreo constante de estos valores se puede lograr discriminar cual equipo de producción es mejor utilizar en los diferentes escenarios de consumo de vapor, cual es más eficiente en cuanto al uso de combustible o cual es más eficiente en cuanto a consumo eléctrico.

Finalmente, en el tema de la implementación de indicadores de consumo energético se debe rescatar la necesidad de integrar los sistemas de control de la refinería, actualmente el Honeywell Experion PKS no se encuentra conectado con el cuarto de controles de la planta lo que dificulta una visión integral de los sistemas y genera que la información sea hasta cierto punto de difícil acceso. Es necesario además que se capacite al personal en el cálculo e interpretación de los datos para que exista un verdadero control del sistema y se le dé seguimiento al programa.

5.2. Elaboración de un manual de inspección y mantenimiento del área de vapor

El desarrollo de un manual de inspección y mantenimiento surge de la necesidad de crear y mantener un control óptimo del estado de las instalaciones y los equipos que dan servicio al sistema de vapor.

El Manual de Inspección y Mantenimiento Para el Área de Vapor (Anexo 2), contempla aspectos técnicos de los equipos, su instalación y el mantenimiento de los mismos. Se enfoca principalmente en las trampas para vapor pues son claves en el ahorro energético, estas pueden representar el mayor punto de ahorro e igualmente si no se les brinda la atención necesaria, se pueden convertir en un desperdicio que repercuta en el aprovechamiento de los recursos y en el balance económico del sistema.

El manual incluye una propuesta para la metodología de codificación para las trampas de vapor, la cual fue desarrollada con base en *Instructivo Códigos de los Equipos en la Refinería y el Muelle Petrolero RN-05-02-002*, facilitado por el Departamento Mantenimiento en la Unidad de Control y Programación. Esta responde a la necesidad de agrupar las trampas de vapor y tener un control inventariado de las acciones y los recursos que se asignan a ese sector.

De igual forma se incluye en el manual una sección de programación y responsables de los chequeos, que indica la responsabilidad que tienen los diferentes departamentos en la organización de RECOPE y la frecuencia con la que es recomendable inspeccionar las trampas acorde con la aplicación para la cual fueron seleccionadas.

Además, con el fin de propiciar un mayor orden y control de las trampas de vapor que se encuentran instaladas en la refinería se confeccionó una ficha de inspección de trampas, la cual se incluye en el manual y contempla aspectos visuales de inspección e instrucciones básicas de mantenimiento, que permitan al operario encargado detectar de forma oportuna fallas en las instalaciones y prevenir futuros contratiempos.

La ficha de inspección está diseñada para ser un instrumento de trabajo de campo, esta le permite al inspector registrar los aspectos más relevantes del estado de las trampas para

vapor de una forma rápida y ágil. El formato de la ficha se presenta al final de este apartado.

Con la ayuda de este mecanismo de control se puede manejar un registro actualizado de la cantidad de trampas para vapor que se encuentran operando en las diferentes aplicaciones del plantel, incluir su estado y generar información estadística acerca de fallas, pérdidas de vapor, costos operativos, y cualquier otra variable que permita la toma de decisiones enfocadas hacia la optimización de las operaciones, la minimización de impactos ambientales y el ahorro energético.

El Manual de Inspección y Mantenimiento Para el Área de Vapor también permite identificar algunos aspectos donde es necesario mejorar el control. Tales como la gestión de la adquisición de equipo especializado de inspección de trampas para vapor que permita conocer con exactitud las condiciones de operación de las mismas y contabilizar efectivamente las pérdidas de producto, las cuales se traducen en desperdicio de recursos naturales y pérdidas económicas. Además, dentro de las recomendaciones del manual se menciona la importancia de instalar manómetros y termómetros adecuados en las líneas de conducción de vapor, con el fin de permitir el adecuado monitoreo del sistema y sus condiciones de operación.

Por otro lado, es importante destacar que aún no se cuenta con un procedimiento de selección y dimensionamiento adecuado de las trampas para vapor a ser instaladas en el plantel, lo que conlleva a arrastrar deficiencias operativas en los equipos y disminución de eficiencia de transferencia de calor.

Este manual pretende ser un mecanismo de control que permita la optimización del sistema de vapor y que sea también un instrumento que busque el mejoramiento continuo.



INSPECCIÓN DE TRAMPAS PARA VAPOR

Inspección: _____ Código de trampa

Fecha y hora: _____ Período: _____

#	Instrucción	CO ¹	MA	RE	NA	Observaciones
1	Inspeccione visualmente la trampa y asegúrese que la trampa no presenta fisuras o fugas de vapor vivo. Si la falla no es evidente utilice líquidos penetrantes para detectar fisuras internas. Reemplace la trampa si el fallo es total.					
2	Revise el filtro de la trampa, límpielo o reemplácelo en caso de daño. Asegúrese también que no existan partículas en el interior de la trampa.					
3	Verifique el estado de las juntas de la trampa y reemplace si se encuentran desgastadas					
4	Si el cuerpo de la trampa se encuentra oxidado límpielo con líquido para remover este.					
5	TRAMPA TERMODINAMICA Asegúrese que la tapa aislante o casquillo de la trampa se encuentre en buen estado, sin fisuras o deformaciones. Reemplace de ser necesario.					
6	Revise el disco interno, este no debe tener fisuras o deformaciones. Reemplace en caso de desgaste.					
7	Revisar el estado del asiento del disco, asentar de ser necesario. La cantidad de metal eliminado no debe sobrepasar los 0,25mm.					
8	Inspeccione bajo el disco y elimine cualquier obstrucción en la entrada y salida del vapor. Usar limpia boquillas.					
9	TRAMPA DE FLOTADOR Asegúrese del correcto funcionamiento del mecanismo interno de oscilación del flotador, reemplazar si es necesario.					
10	Revise el estado del asiento de la válvula interna. Si es necesario líjelo y púlalo ligeramente.					
11	Inspeccione y limpie el sistema de venteo de aire. Reemplácelo de ser necesario.					
12	Revise la boya y asegúrese de que no tenga perforaciones, cámbiela de ser así.					
13	TRAMPA DE BALDE INVERTIDO Limpie el mecanismo de oscilación del balde y reemplácelo si es necesario.					

14	Inspeccione el balde y en caso de que presente perforaciones o grietas replácelo.					
15	Revise el estado del asiento de la válvula interna, lijear y pulir ligeramente si es necesario.					
16	Revise el estado del sistema de venteo de aire y límpielo. En caso de daño replácelo.					

¹ *CO: funcionamiento correcto. MA: se brinda mantenimiento. RE: se da un reemplazo. NA: no aplica*

OBSERVACIONES _____

5.3. Inventario de trampas para vapor del área de tanques de producto negro de la refinería.

Las trampas para vapor son equipos mecánicos automáticos que normalmente se encuentran cerrados en la presencia de vapor y se abren con la presencia de agua (condensados). Se utilizan para drenar automáticamente el condensado que se origina cuando la temperatura disminuye en las tuberías que transportan vapor.

En la Refinería estos equipos están instalados en los drenajes de:

- ✓ Calentadores de tanques de productos negros
- ✓ Intercambiadores de calor con vapor
- ✓ Trazas de líneas de producto negro
- ✓ Bombas y turbinas de vapor
- ✓ Intercambiadores de calor de la planta de proceso



Figura 5.4 Trampa para vapor tipo flotador en traza de tubería de crudo pesado, Plantel de Refinería RECOPE S.A.



Figura 5.5 Trampas para vapor tipo flotador en bombas de trasiego de IFO, Plantel de Refinería RECOPE S.A.

Según el levantamiento realizado para este inventario, RECOPE cuenta con 328 trampas para vapor en las áreas de productos negros y estas son de diferentes tipos y capacidades. Las siguientes figuras muestran la distribución de estas trampas para vapor según su tipo y según el área en la que se encuentran instaladas.

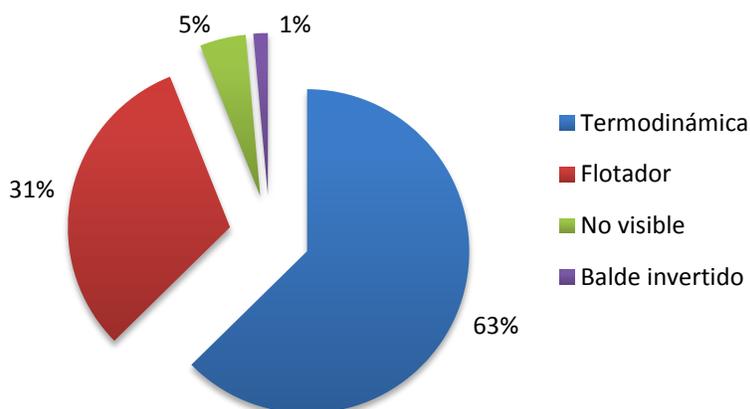


Figura 5.6 Clasificación de trampas para vapor según su tipo, área de productos negros, Plantel de Refinería, RECOPE S.A.

Según la figura 5.6, en la refinería la mayor parte de las trampas son de tipo termodinámica (63%), estas trampas poseen las desventajas que son de corta vida útil y que se deterioran y operan deficientemente cuando se encuentran a la intemperie.

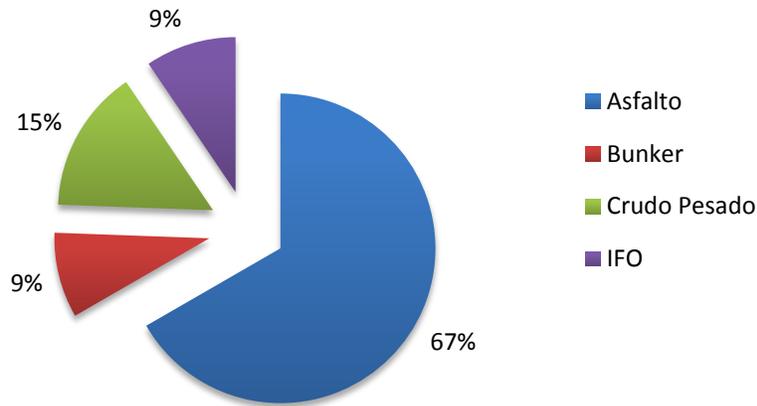


Figura 5.7 Clasificación de trampas para vapor según su área de instalación, Plantel de Refinería, RECOPE S.A.

En el caso de RECOPE la mayor parte de las trampas termodinámicas están ubicadas en el área de tanques de asfalto, que es el área de mayor concentración de trampas, en esta los equipos tienen varios años de haber sido instalados y debido a que no existe un programa de monitoreo y mantenimiento de trampas para vapor, las que allí se encuentran están deterioradas, lo cual provoca gran cantidad de fugas de vapor y acumulaciones de condensado que inundan los equipos y consecuentemente disminuyen la eficiencia de calentamiento de los productos. La figura 5.8 muestra la descarga de una trampa termodinámica, se observa en la salida de ella la pérdida de vapor vivo.



Figura 5.8 Trampa para vapor tipo termodinámica instalada en calentador de asfalto, Plantel de Refinería RECOPE S.A.

Por el contrario las áreas donde se han desarrollado nuevos proyectos las trampas son de tipo flotador o balde invertido, tal es el caso de crudo pesado y bunker, respectivamente. En este momento la totalidad de las trampas para vapor de los tanques de crudo pesado 7016, 7017, 7018 y las instalaciones conexas son de flotador libre y cuentan con los accesorios

necesarios, filtro y válvula, para su óptimo funcionamiento (Figura 5.4). De igual forma sucede en el área del tanque 7210 de consumo interno de IFO, en este las 33 trampas son de tipo flotador, todas fueron instaladas recientemente y no presentaron problemas al momento de la inspección.

El área de bunker, por su parte, se encuentra en una etapa de modernización donde para este momento solo ha sido intervenido el tanque 728 y en este se colocó una configuración de calentadores internos que necesitan solamente 5 trampas a la salida de las líneas de vapor, estas trampas deben ser de alta capacidad pues deben evacuar gran cantidad de condensados, debido a esto se escogieron de tipo balde invertido, que es una trampa robusta capaz de soportar grandes variaciones en la cantidad de condensados gracias a que cuentan con largos ciclos de descarga. Asimismo, en los tanques 727 y 729 se pretende instalar la misma configuración por lo que las trampas dejarían de ser termodinámicas como las actuales y pasarían a ser de balde invertido.

Luego, en el área de IFO, tanques 735, 736 y 737 solamente hay 10 trampas para vapor de ellas la mayoría son de tipo termodinámicas, no obstante en este caso al ser un área de poco consumo de vapor, cerca del 10% del total requerido para almacenamiento, las trampas cumplen su función adecuadamente.

Actualmente en la refinería no se cuenta con el equipo necesario de inspección de trampas para vapor por lo cual el diagnóstico de las mismas es subjetivo si se hace por inspección visual. No obstante, se puede decir que según el recorrido realizado para levantar este inventario el estado de las trampas es bueno a excepción del área de asfalto, donde sí es necesario intervenir para reparar fugas de vapor provocadas por las trampas.

Además de las reparaciones en las trampas también es necesario considerar la colocación de manómetros y termómetros en las entradas y salidas de los intercambiadores de calor (sean estos serpentines sumergidos o calentadores en línea), con el fin de conocer acertadamente las condiciones de trabajo de los equipos para que cuando sean seleccionadas nuevas trampas para vapor, se calculen las cargas de condensados de acuerdo con las condiciones operativas reales, esto evitará problemas futuros por fugas de vapor o falta de capacidad de descarga de las trampas e inundación de los equipos por condensados.

5.4. Diseño de un sistema de retorno de condensados para el área de tanques de producto negro.

Para el año 2011, el Plantel de Refinería de RECOPE cuenta con una capacidad de almacenamiento de 66.593 m³ para productos negros, de estos 7.109 m³ corresponden a asfalto, 13.762 m³ a crudo pesado, 6.875 m³ a IFO y 37.532 m³ a bunker.

El suministro de vapor para estos productos ha sido determinado mediante el reporte del sistema de control de calderas Honeywell Experion PKS, en los meses en los cuales la planta de proceso no opera, la siguiente tabla muestra los períodos y las cantidades correspondientes.

Tabla 5.3 Generación de vapor en períodos de paro de planta de proceso, Plantel de Refinería, RECOPE.

Año	Mes	Producción de vapor (kg/h)
2010	Noviembre	20.081,67
2010	Diciembre	20.133,73
2011	Marzo	15.326,50
2011	Abril	16.393,93

Únicamente se cuenta con estos datos ya que el sistema de control de calderas no posee capacidad de almacenamiento para más de un año de registros.

En la tabla 5.3 se puede observar que existen 2 períodos de datos, y entre ellos hay una diferencia de producción, la cual se debe a que la temperatura en los tanques está directamente relacionada con la temperatura ambiente, y esta es dependiente de la época del año, siendo diciembre y noviembre meses más fríos que marzo y abril.

Para realizar las estimaciones del diseño del sistema de retorno de condensados, debe tomarse como referencia la mayor demanda de vapor, la cual en este caso corresponde al mes de diciembre de 2010, esta es de 20.133 kg/h.

Además de la cantidad de vapor suministrada, es necesario estimar la distribución de esta en las diferentes áreas involucradas, específicamente las que serán consideradas para el diseño del sistema de retorno de condensados son:

1. Área de asfalto: tanques 754, 755, 951, 952, 953, área de bombeo y calentadores en línea de asfalto.
2. Área de bunker: tanques 727, 728 y 729.
3. Área de crudo pesado: tanques 7016, 7017, 7018, área de bombeo y calentador en línea a planta.
4. Área de IFO: tanques 735, 736 y 737.
5. Área de consumo interno de IFO: tanque 7210 e instalaciones conexas.
6. Proyectos de construcción de tanques de bunker y asfalto

Para todas estas áreas se encuentran las capacidades de tanques en la tabla 2.1. Los tanques o equipos de producto negro que no se encuentra en esta lista han sido descartados por diversas razones, ya sea que son equipos que van a ser sustituidos por modernización o porque en un análisis previo se ha considerado que no es rentable su incorporación dada su ubicación.

Así de acuerdo de a las condiciones que deban suministrárseles a cada producto se asigna la cantidad de vapor a cada área. En el caso de RECOPE, debido a que no se cuenta con datos certeros de diseño de los equipos en los tanques se procedió a crear una distribución de acuerdo con la capacidad de los tanques y la temperatura a la que se deben mantener, de esta forma se presenta la siguiente tabla:

Tabla 5.4 Distribución de vapor por área de acuerdo al producto almacenado, Plantel de Refinería, RECOPE.

Área	% de Consumo	Consumo (kg/h)
IFO	10	2.000
Traceo	10	2.000
Crudo Pesado	5	1.000
Bunker	25	5.000
Asfalto	50	10.000
TOTAL	100	20.000

Esta distribución se realizó en coordinación con los ingenieros del Departamento de Procesos de Refinación, siendo estos el Jefe del Departamento y el Coordinador del Área de Off Site, los que la consideran apropiada de acuerdo con su experiencia a cargo del sistema.

Una vez que se cuenta con la distribución por área, se procede a estimar la demanda de cada uno de los equipos allí ubicados. Para el caso de bunker y asfalto deberán incluirse también los nuevos proyectos de ampliación de tanques, los cuales son:

1. Un tanque de bunker de 100 mil barriles de capacidad y dos de 15 mil barriles cada uno, también de bunker.
2. Dos tanques de asfalto de 15 mil barriles cada uno.

Así, se presenta en la siguiente tabla la distribución de consumos según los equipos:

Tabla 5.5 Distribución de vapor por equipos, Plantel de Refinería, RECOPE.

Área	Equipo	Capacidad Almacenamiento (m ³)	Consumo vapor (kg/h)
Asfalto	Tanque Nuevo 1	2125,0	2989,1
	Tanque Nuevo 2	2125,0	2989,1
	Tanque 754	1301,2	1830,3
	Tanque 755	1301,9	1831,2
	Tanque 951	259,3	364,8
	Tanque 952	2123,5	2986,9
	Tanque 953	2123,4	2986,8
Bunker	Tanque Nuevo 1	12500,0	4985,6
	Tanque Nuevo 2	2125,0	847,5
	Tanque Nuevo 3	2125,0	847,5
	Tanque 727	12536,2	5000,0
	Tanque 728	12729,3	5000,0
	Tanque 729	12266,8	5000,0
IFO	Tanque 735	2060,9	604,9
	Tanque 736	1897,8	557,1
	Tanque 737	1963,4	576,3
	Tanque 7210	891,6	261,7
Crudo Pesado	Tanque 7016	6794,1	330,5
	Tanque 7017	3485,2	169,5
	Tanque 7018	3483,1	169,4
	Calentador en línea	6794,1	330,5

El sistema de recuperación de condensados que se propone para la Refinería es de tipo abierto, se presenta en la siguiente figura el diagrama de flujo de los principales procesos de este:

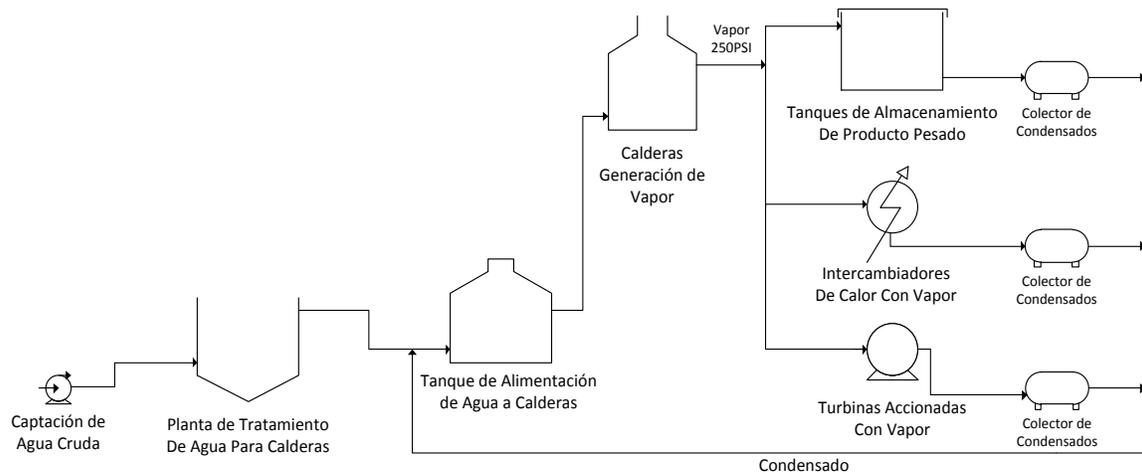


Figura 5.9 Diagrama de flujo del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería RECOPE.

Para elaborar el enrutamiento de la tubería de recuperación se coordinó previamente con un supervisor del área de Off Site, con el fin de corroborar que no hubiese problemas con líneas ya existentes o con futuros proyectos. El enrutamiento de tubería de retorno de condensados y la ubicación de los tanques colectores se puede consultar en el anexo 3, a continuación se muestra la tabla con los diámetros de tubería para cada tramo, la muestra de cálculo para el diseño del sistema se encuentra en el anexo 4. Este trabajo propone que la tubería sea de acero al carbón cedula 40, con base en esta se realizarán más adelante las estimaciones de inversión.

Tabla 5.6 Diámetros de tubería propuestos para el sistema de retorno de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

Identificación*	Tramo	Longitud (m)	Diámetro comercial (pulg)
A1	TK 951-A4	22	1
A2	TK 952-A4	3	2
A3	TK 953-A4	3	2
A4	A4-A10	102	3
A5	TK 754-A10	18	2
A6	TK 755-A10	18	2
A7	TK Nuevo 1-A9	34	2
A8	TK Nuevo 1-A9	3	2
A9	A9-A10	83	3
A10	Recolector T1	50	6
C1	TK 7016-C4	49	1/2
C2	TK 7017-C4	21	1/2
C3	TK 7018-C4	18	1/2
C4	C4-C5	37	1
C5	C5-C6	37	1
C6	C6-C7	53	1/2
C7	Calentador-B10	157	1
B1	TK 727-B8	88	3
B2	TK 728-B11	18	3
B3	TK 729-B10	75	3
B4	TK Nuevo 1-B8	17	3
B5	TK Nuevo 2-B7	12	1
B6	TK Nuevo 3-B7	12	1
B7	B7-B9	47	2
B8	B8-B9	28	4
B9	B9-B11	46	4
B10	B10-B11	30	3
B11	B11-T2	19	6
F1	TK 737-F4	30	1
F2	TK 736-F4	3	1
F3	TK 735-F4	3	1
F4	F4-F5	28	2
F5	F5-F7	75	2
F6	TK 7210-F7	49	1/2
F7	F7-T3	7	2

* A: asfalto, C: crudo pesado, B: bunker, F: IFO-380. Numeración consecutiva.

En este caso el sistema contará con tres tanques colectores de condensados los cuales estarán ubicados en:

1. Tanque 1: esquina noroeste del dique de los tanques 754 y 755.
2. Tanque 2: esquina suroeste del dique del tanque 728.
3. Tanque 3: contiguo al tanque 7210, lado este.



Figura 5.10 Ubicación de tanques colectores de condensados del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería RECOPE.³

³ Fotografía extraída de Google Earth, el 25 de noviembre de 2011.

La ubicación de estos también se puede verificar en el anexo 3; y sus características se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 5.7 Características de tanques colectores del sistema de retorno de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

ID	Colector	Flujo de condensado captado (m ³ /h)	Tiempo de retención (h)	Capacidad (m ³)
T1	1	15,2	0,5	8
T2	2	21,5	0,5	11
T3	3	1,9	2,5	5

Cada tanque colector contará con un sistema válvulas de alivio o venteo de vapor flash, control de nivel, control de temperatura, control de presión, sistema de bombeo intermitente con bombas centrífugas y aislamiento térmico para evitar pérdidas de calor al ambiente (Figura 5.11).

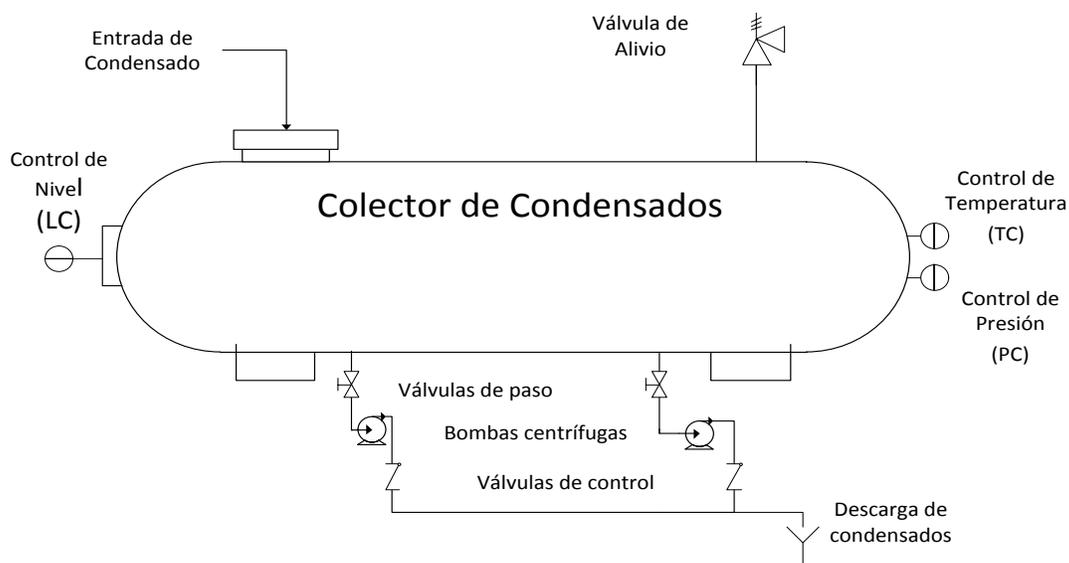


Figura 5.11 Configuración de tanques colectores de condensado del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería RECOPE S.A.

Además de estos equipos, los tanques deberán contar con un sensor automático para controlar el ingreso de contaminantes, provenientes de las tuberías que están en contacto con los productos negros. Este sensor cumple la función de prevenir que ingrese producto al sistema de generación de vapor.

Conjuntamente, cada tanque deberá contar con 2 bombas, una para la operación continua y una como respaldo. Se utilizarán bombas tipo centrífuga para sumidero, la siguiente tabla muestra las características principales de estas.

Tabla 5.8 Características de las bombas del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

Identificación	Flujo (m ³ /h)	Potencia (HP)
BT1	17	2
BT2	22	2
BT3	2	0,3

Además, en la siguiente tabla se visualizan las características de la tubería que conecta los tanques colectores de condensado con el punto receptor, el tanque de agua de alimentación de calderas UT-503, ubicado en el área de la planta de tratamiento de aguas (Anexo 1). Al igual que las tuberías de colección de condensados estas serán de acero al carbono cedula 40.

Tabla 5.9 Características de la tubería de retorno del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

Identificación	Longitud (m)	Diámetro Comercial de Tubería (pulg)
R1	283	1 1/2
R2	370	1 1/2
R3	96	1/2

En total el sistema de recuperación de condensados tendrá capacidad para trasegar 38,6 m³/h de condensado.

5.5. Evaluación de la viabilidad financiera de las mejoras recomendadas en el sistema de vapor.

Para determinar la viabilidad de las mejoras recomendadas es necesario estimar los costos de su implementación y los beneficios económicos que representarían.

Para realizar los cálculos correspondientes de ahorros se debe considerar un promedio de producción de vapor, este se estima de 17.767 kg/h, ponderando en este los meses de baja producción (6 meses de época seca) y alta producción (6 meses lluviosos).

En el caso del sistema de retorno de condensados se calcularon los siguientes ahorros que podría generar la implementación del proyecto:

5.5.1. Ahorros

5.5.1.1. Combustible

Para realizar la estimación de ahorros por combustible se parte del supuesto de recuperar el 70% del vapor producido, este en forma de condensados a 80°C. Así con el calor recuperado de los estos se puede ahorrar combustible de calderas. El ahorro que eventualmente se percibiría por este rubro sería de 425.526,00 US\$/año.

Tabla 5.10 Estimación de ahorro por combustible del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE

Rubro	Simbología	Cantidad	Unidades
Condensado generado en el área de producto negro	\dot{m}_{cond}	17.767	kg/h
Porcentaje de recuperación		70%	
Recuperación de condensado en tanques de producto negro		12.437	kg/h
Temperatura ambiente	T_{amb}	25	°C
Temperatura de retorno del condensado	T_{cond}	80	°C
Capacidad calórica del agua	$C_p @ 25^{\circ}C$	4,1813	kJ/kg°C
Calor recuperado	Q_r	2.860.208	kJ
Poder Calórico del Bunker	HHV	43,4	MJ/kg
Consumo de Bunker (eficiencia 100%)		66	kg
Consumo de Bunker (eficiencia 85%)		78	kg

Rubro	Simbología	Cantidad	Unidades
Densidad del bunker	ρ_B	990,4	kg/m ³
Volumen consumido de bunker	V_B	78	L
Precio Plantel del Bunker (Sin Impuesto único)	C_B	320	colones/L
Ahorro estimado recuperación de calor en el condensado	A_{rec}	25.017	colones/h
Ahorro estimado recuperación de calor en el condensado	A_{rec}	219.145.939	colones/año
Tipo de cambio (12 de noviembre de 2011)	TC	515	colones/\$
Ahorro estimado recuperación de calor en el condensado	A_{rec}	425.526	\$/año

5.5.1.2. Consumo de agua

De igual forma en este caso se considera un 70% de recuperación de condensados (12.437 kg/h). Además, el costo por aprovechamiento de agua (2,6 colones/m³) fue proporcionado por el Departamento de Procesos de Refinación. De esta forma se esperaría recuperar 108.950 m³ de agua por año, que generarían un ahorro de 559 US\$ por año.

Tabla 5.11 Estimación de ahorro por consumo de agua del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE

Rubro	Simbología	Cantidad	Unidades
Masa de agua ahorrada	\dot{m}_{H_2O}	12.437	kg/h
Densidad del agua @ 80°C	ρ_B	1000	kg/m ³
Volumen de agua ahorrado	V_{H_2O}	12	m ³ /h
Volumen de agua ahorrado	V_{H_2O}	108.950	m ³ /año
Costo del agua	C_{H_2O}	3	colones/m ³
Costo del agua	A_{rec}	287.628	colones/año
Tipo de cambio (12 de noviembre de 2011)	TC	515	colones/año
Ahorro estimado de agua	A_{rec}	678	\$/año

5.5.1.3. Tratamiento químico de aguas para calderas

El ahorro por tratamiento de aguas para calderas se estimó con base en un 70% de recuperación de condensados y con costo de tratamiento de aguas aportado por el Departamento de Procesos de Refinación (68,65 colones/m³).

Tabla 5.12 Estimación de ahorro por consumo de agua del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE

Rubro	Simbología	Cantidad	Unidades
Volumen de agua ahorrado	V _{H2O}	108.950	m ³ /año
Costo del tratamiento del agua para calderas	C _{TQ}	68,65	Colones/m ³
Ahorro por tratamiento químico de aguas	A _{rec}	7.479.425	Colones/año
Tipo de cambio	TC	515	colones/\$
Ahorro estimado en químicos	A _{rec}	14.523	\$/año

De este modo, el monto aproximado que se percibiría por la posible implementación del sistema de retorno de condensados es de 440.727,00 dólares anuales.

5.5.2. Inversiones

Además, se estimaron las siguientes inversiones:

5.5.2.1. Tubería y accesorios

Para realizar esta evaluación se trabajó con estimaciones proporcionadas por el Departamento de Investigación de RECOPE, los costos están basados en cálculos que se realizaron para el Proyecto Terminal Pacífico. Del diseño del sistema de recuperación de condensados se extrae la información sobre las longitudes y los diámetros de tubería que serían empleados, en la siguiente tabla se muestran los detalles de cálculo.

Tabla 5.13 Estimación de inversión en tubería y accesorios del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario suministro US\$		Valor unitario construcción US\$	Valores Totales US\$		Valor Total US\$
			Importado	Local	Montaje & pruebas	Suministros	Construcción	
Tubería 25 mm (1/2") SCH 40 acero al carbón	Metros	286	9	1	12	2.831	3.461	6.292
Tubería 25 mm (1") SCH 40 acero al carbón	Metros	289	15	2	20	4.769	5.828	10.597
Tubería 50 mm (1 1/2") SCH 40 acero al carbón	Metros	653	24	2	32	17.239	21.070	38.309
Tubería 50 mm (2") SCH 40 acero al carbón	Metros	152	30	3	40	5.016	6.131	11.147
Tubería 75 mm (3") SCH 40 acero al carbón	Metros	313	45	5	61	15.494	18.937	34.430
Tubería 100 mm (4") SCH 40 acero al carbón	Metros	74	60	6	81	4.884	5.969	10.853
Tubería 150 mm (6") SCH 40 acero al carbón	Metros	69	90	9	121	6.831	8.349	15.180
Accesorios de tubería		1	14.266	0	33.287	14.266	33.287	47.553
TOTAL US\$								174.361
ADMINISTRACIÓN CONSTRUCCIÓN						15%	US\$	26.154
IMPREVISTOS						5%	US\$	8.718
UTILIDADES						15%	US\$	26.154
TOTAL CONSTRUCCIÓN								235.387
IMPUESTO SOBRE COMPRAS LOCALES						13%	US\$	8.598
VALOR TOTAL DEL PROYECTO								243.986

5.5.2.2. Sistema de bombeo

De igual forma se estiman los costos por el sistema de bombeo, se utilizarán 6 bombas tipo centrífuga para sumidero. En la siguiente tabla se resumen los principales rubros.

Tabla 5.14 Estimación de inversión en bombeo del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

Rubro	Porcentaje de carga	Monto (US\$)
Subtotal equipos		15.535
Administración y construcción	15%	2.330
Imprevistos	5%	777
Utilidades del contratista	15%	2.330
Costo total de la construcción		20.972
Impuesto a las compras locales	13%	841
Total (US\$)		21.813

5.5.2.3. Tanques colectores de condensado

Para la estimación la inversión por los tanques colectores de condensados se tomó como referencia las indicaciones del Departamento de Procesos de Refinación, en total se instalarán 3 tanques colectores, las características de estos se encuentran en la sección de diseño del sistema de recuperación de condensados.

Tabla 5.15 Estimación de inversión en tanques colectores del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

Rubro	Porcentaje de carga	Monto (US\$)
Subtotal equipos		90.489
Administración y construcción	15%	13.573
Imprevistos	5%	4.524
Utilidades del contratista	15%	13.573
Costo total de la construcción		122.160
Impuesto a las compras locales	13%	11.764
Total (US\$)		133.923

El costo aproximado de la inversión para el proyecto de recuperación de condensados es de: 399.722,00 dólares.

Una vez calculadas las inversiones y los ahorros que conllevaría el proyecto se determina que el periodo de retorno de la inversión es de 0,9 años, lo que demuestra su viabilidad financiera.

$$\text{Retorno de Inversión} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}}$$

$$\text{Retorno de Inversión} = \frac{399.722,00}{440.727,00}$$

$$\text{Retorno de Inversión} = 0,9 \text{ años}$$

5.5.3. Beneficios ambientales

Además, con este proyecto es posible percibir los siguientes beneficios ambientales:

5.5.3.1. Reducción de consumo de agua fresca

Con la eventual instalación del sistema de recuperación de condensados de la cantidad de agua recuperada sería el 70% de la producción de vapor, esto equivale a 108.950 m³/año.

Esta cantidad de agua además de que ya no tendría que ser extraída del río Bartolo, representa una reducción de la carga de infiltración al suelo de la refinería.

5.5.3.2. Reducción de emisiones

Para el cálculo de las emisiones se utilizó como base la reducción en la cantidad de combustible consumido por las calderas, por medio de la metodología propuesta por el IPCC se calculó la cantidad de CO₂ que eventualmente sería reducida.

En el caso de instalarse el sistema de recuperación de condensados, habría una reducción aproximada de 78 kg/h, lo que equivale a 683 toneladas de combustible por año. Utilizando

el factor de emisión para el fuelóleo residual incluido en la metodología de IPCC⁴ se calculan las toneladas de CO₂ que eventualmente se reducirían, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5.16 Estimación de reducción potencial de emisiones por consumo de combustible en generación de vapor, Plantel de Refinería, RECOPE.

Rubro	Cantidad	Unidades
Combustible	683,28	Ton/año
Poder Calorífico del Bunker	0,043	TJ/Ton
Energía aportada	29,38	TJ/año
Factor de emisión CO ₂ de IPCC	77.400,00	kg CO ₂ /TJ
Factor de emisión CH ₄ de IPCC	3,00	kg CH ₄ /TJ
Factor de emisión N ₂ O de IPCC	0,60	kg N ₂ O/TJ
Potencial de Calentamiento Global CH ₄	21,00	un
Potencial de Calentamiento Global N ₂ O	310,00	un
CO ₂	2.274,09	Ton CO ₂ /año
CH ₄	1,85	Ton equivalente CO ₂ /año
N ₂ O	5,46	Ton equivalente CO ₂ /año
CO₂ total	2.281,40	Ton CO₂/año

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reporting Instructions, 1997

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El Plantel de Refinería de RECOPE no cuenta con un control sistemático de los parámetros operación sistema de vapor, por lo que la implementación de indicadores de consumo energético en esta área permite visualizar integralmente el funcionamiento de este. Como producto del cálculo de los indicadores se determinó que durante el periodo del 1 de julio 2010 al 31 de agosto 2011, el sistema de generación de vapor del plantel genera en promedio 0,93 kg de vapor/kg de agua consumida, 17,41 kg vapor producido/kg combustible consumido, y 42,95 kg vapor producido/kWh consumido.

La ausencia de un procedimiento de mantenimiento para las trampas de vapor genera pérdidas de producto y disminución de la eficiencia de transferencia de calor en los equipos. El manual de mantenimiento para el área de vapor es una herramienta, de procedimientos específicos que procurará brindar el soporte técnico para los operarios encargados del área. Con su implementación se buscará mantener un control riguroso de las operaciones que se realicen sobre las trampas para vapor, permitiendo así generar información estadística que oriente la toma de decisiones por parte de los encargados.

Con el inventario de trampas para vapor realizado en el Plantel de Refinería, se determinó que dichas instalaciones cuentan con 328 trampas para vapor en el área de calentamiento de tanques de producto negro, de las cuales el 63% son de tipo termodinámica, 31% de flotador y termostáticas, 1% de balde invertido y el 5% no se encuentran visibles.

El sistema de recuperación de condensados propuesto para el Plantel de Refinería se compone de tres áreas principales de recolección, debidamente identificadas en el plano de

distribución de planta. Este se selecciona de tipo abierto, con una tubería que conecta los equipos consumidores de vapor con los tres tanques colectores. Estos contarán con un sistema de bombeo de tipo centrífugo que transporte los condensados hasta la planta de tratamiento de aguas para las calderas. El sistema tendrá una capacidad para recuperar y trasegar 38,6 m³/h de condensado.

Según las valoraciones realizadas en este proyecto, se estima que la inversión para desarrollar la planta de recuperación de condensados de la Refinería, es de aproximadamente 399.722,00 dólares, los ahorros generados anualmente por la implementación del proyecto serían cercanos a los 440.727,00 dólares, y el período de recuperación de la inversión sería de 0,9 años, lo que indica que el proyecto es viable financieramente.

La implementación del sistema de recuperación de condensados propiciaría la reducción del consumo de agua fresca en 108.950 m³ por año y permitiría disminuir el consumo de 683 toneladas de combustible por año, las cuales fomentaría una reducción de 2.281 toneladas de emisiones de CO₂ por año.

6.2. Recomendaciones

Capacitar al personal encargado del control del sistema de generación de vapor, en la obtención de datos y el cálculo de indicadores energéticos para el mismo.

Es necesaria la adquisición de equipo especializado de inspección de trampas para vapor, que permita la medición automática del estado de las mismas. Se recomiendan los instrumentos de medición simultánea de temperatura y ultrasonido.

Se recomienda la instalación de sistemas de control de temperatura y control de presión en las líneas de distribución y abastecimiento de vapor.

Realizar un mantenimiento general y exhaustivo de las líneas de trasiego y suministro de vapor, para reparar fugas de vapor, sustituir equipos en mal estado e instalar los equipos auxiliares a las trampas para vapor.

Es necesario profundizar en un estudio exhaustivo de la generación de condensados en los equipos de calentamiento de productos negros, y generar una distribución de consumos en las áreas de importancia estratégica, a fin de complementar el alcance de este proyecto.

Se recomienda llevar a cabo una evaluación de la demanda de vapor de los equipos de calentamiento, y valorar la posibilidad de la disminución de presiones en las líneas de suministro de vapor, ya que esto contribuiría a disminuir el desgaste de los equipos y estimularía que se produzca menos vapor flash.

Se recomienda a RECOPE evaluar la vigencia de la concesión de explotación de agua del río Bartolo previo a realizar el trámite de la Viabilidad Ambiental de este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

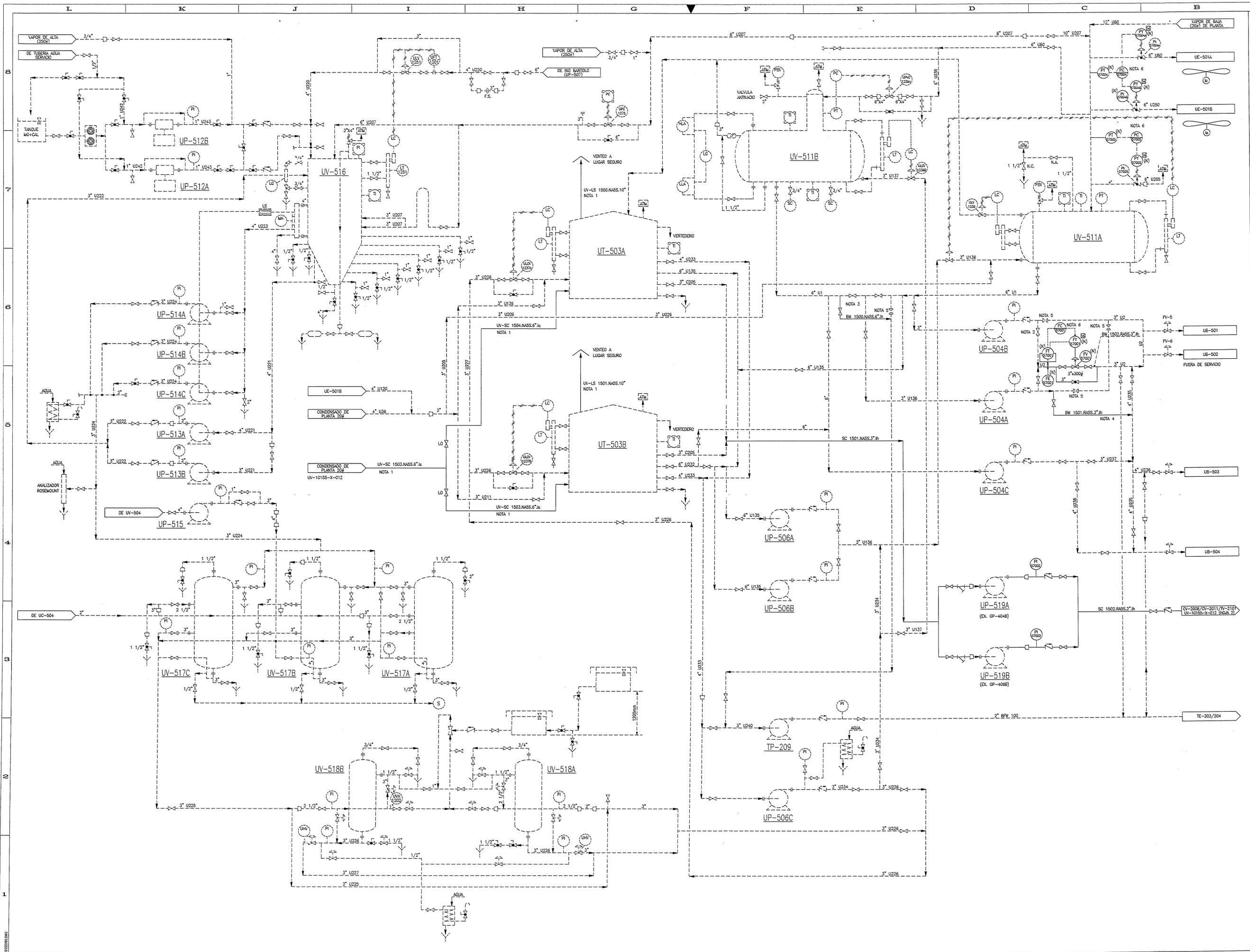
- Altmann, C. (2010). *El Mantenimiento y la Eficiencia Energética* Recuperado de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/eficiencia-energetica.pdf>
- COMPAÑÍA SURAMERICANA DE SEGUROS S.A. (2002). CALDERAS Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/55511012/Calderas>
- Capehart, B., Turner, W. & Kennedy, W. (2006). *Guide to energy management* (Quinta ed.) United States of America: The Fairmont Press, Inc..
- Doty, S. & Turner, W. (2009). *Energy Management Handbook* (Sétimaed.) United States of America: The Fairmont Press, Inc..
- FiberGlass Colombia S.A. (2009). *La importancia de aislar redes de retorno de condensado*. Recuperado de http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/nota_tecnica%2069_aislamientos.pdf
- González Delfin, J. (2010). *Trampas de Vapor*. Universidad de Antofagasta Chile. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/49695906/TRAMPAS-DE-VAPOR>
- Kreith, F. & Goswami, Y. (Ed.). (2007). *Handbook of energy efficiency and renewable energy* United States of America: CRC Press.
- McCauley, J. (2000). *Steam Distribution Systems Deskbook* United States of America: The Fairmont Press, Inc.
- MetroGAS (2010). *Retorno de Condensado*. Recuperado de <http://w3.metrogas.cl/industria/userfiles/file/EF%20ENERG%20CONDENSADOS TRA.pdf>
- Secretaría de Energía, Estados Unidos Mexicanos (2011). *Tipos de Trampas de Vapor I*. Recuperado de www.conae.gob.mx

- SISTEAGUA (s. f.). *CALIDAD DE AGUA PARA GENERADORES DE VAPOR* Monterrey: Tecnológico de Monterrey. Recuperado de:
http://www.cnpml.org.sv/ucatee/ee/docs/informacion_calderas_ciclos_de_concentracion.pdf
- Soto Cruz, J. (1996). *Fundamentos sobre ahorro de energía*. Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán.
- TLV International, INC (2011). *The operation principle for these traps utilizes the difference in the thermodynamic properties of condensate and steam*. Recuperado de http://www.tlv.com/global_pdf/tii/e-pamphlet-0802-hp.pdf
- Universidad de Granada. (2007). *Guía para la definición e implantación de un sistema de indicadores*. Recuperado de:
<http://www.ugr.es/~rhuma/sitioarchivos/noticias/Indicadores.pdf>
- U.S. Department of Energy (2004). *Steam Trap Performance Assessment Federal Energy Management Program*, 1. Recuperado de:
<http://www.swagelokenergy.com/download/Steam%20Trap%20Performance%20Assessment.pdf>
- Villacrés y., J., Andrade s. & F. (s. f.). *Ahorro energético en el Sistema de Recuperador de Condensados de una Planta Industrial en Guayaquil utilizando un Surge Tank Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 1. Recuperado de
<http://www.dspace.espol.edu.ec>
- Moscoso, R. (s. f.). *GUIA PARA EL CHEQUEO DE OPERACIÓN DE LAS TRAMPAS PARA VAPOR*. Recuperado de
<http://www.nstvenezuela.com/catalogo/08%20INTRODUCCION%20GUIA%20PARA%20EL%20CHEQUEO%20DE%20OPERACION%20DE%20TRAMPAS%20PARA%20VAPOR.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL PLANTEL DE REFINERÍA, RECOPE S.A.



- NOTAS:
- (1) TUBERIA NUEVA POR REDOPPE.
 - (2) NUEVA INSTALACION PARA EL CONTROL DE CAUDAL EN LA IMPULSION COMUN DE UP-504A/B.
 - (3) MODIFICACION A REALIZAR PARA CAMBIAR LA ASPIRACION DE TP-209 DEL UV-511A AL UV-511B.
 - (4) MODIFICACION A REALIZAR PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UP-504A COMO RESERVA DE UP-504C.
 - (5) CORTAR Y SOLDAR UN CAP.
 - (6) CONTROLADOR SUMINISTRADO POR REDOPPE.
 - (7) SON NUEVOS TODOS LOS INSTRUMENTOS MARCADOS CON (N).

SIMBOLOGIA
 --- LINEAS EXISTENTES
 - - - LINEAS NUEVAS

REV.	DESCRIPCION	POR	FECHA

DIR-TR-636

PROYECTO :
 AMPLIACION Y MODERNIZACION
 REFINERIA DE MOLIN
 LIMON - COSTA RICA

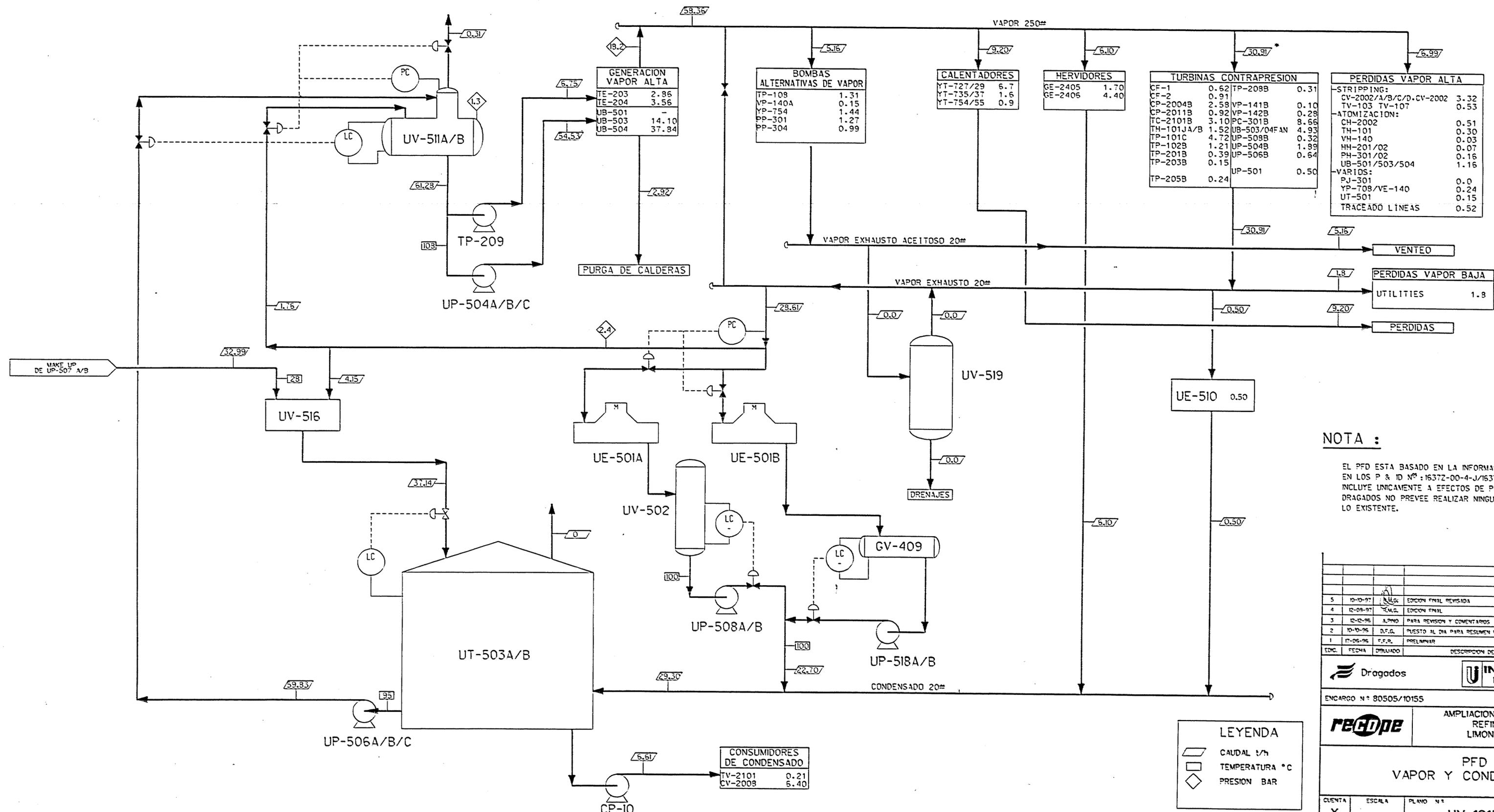


PROVINCIA : _____ CANTON : _____ DISTRITO : _____
 LIMON CENTRAL
 DISEÑADOR : _____
 DIBUJANTE : _____
 PROFESIONAL RESPONSABLE :
 NOMBRE : JORGE LUIS LEON OROZCO
 FIRMA : _____ N° REG. : _____
 PROFESIONAL RESPONSABLE :
 DIRECCION TECNICA
 NOMBRE : _____
 FIRMA : _____ N° REG. : _____

INFORMACION REGISTRO PUBLICO :
 PROPIETARIO : _____
 N° CATASTRO : _____
 SITIO : _____

CONTENIDO :
 SISTEMA DE VAPOR
 CONDENSADO Y BFW

ESCALA :	CODIGO :	LAM :	REV :
1			
FECHA :			
20-05-99			O



GENERACION VAPOR ALTA

TE-203	2.86
TE-204	3.56
UB-501	-
UB-503	14.10
UB-504	37.84

BOMBAS ALTERNATIVAS DE VAPOR

TP-108	1.31
VP-140A	0.15
YP-754	1.44
PP-301	1.27
PP-304	0.99

CALENTADORES

YT-727/29	6.7
YT-735/37	1.6
YT-754/55	0.9

HERVIDORES

GE-2405	1.70
GE-2406	4.40

TURBINAS CONTRAPRESION

CF-1	0.62	TP-208B	0.31
CF-2	0.91	VP-141B	0.10
CP-2004B	2.58	VP-142B	0.28
CP-2011B	0.92	PC-301B	8.66
TC-2101B	3.10	UB-503/04FAN	4.93
TH-101JA/B	1.52	UP-508B	0.32
TP-101C	4.72	UP-504B	1.99
TP-102B	1.21	UP-506B	0.64
TP-201B	0.39	UP-501	0.50
TP-203B	0.15		
TP-205B	0.24		

PERDIDAS VAPOR ALTA

-STRIPPING:	
CV-2002/A/B/C/D-CV-2002	3.32
TV-103 TV-107	0.53
-ATOMIZACION:	
CH-2002	0.51
TH-101	0.30
VH-140	0.03
HH-201/02	0.07
PH-301/02	0.16
UB-501/503/504	1.16
-VARIDS:	
PJ-301	0.0
YP-708/VE-140	0.24
UT-501	0.15
TRACEDO LINEAS	0.52

CONSUMIDORES DE CONDENSADO

TV-2101	0.21
CV-2008	6.40

LEYENDA

- ▭ CAUDAL t/h
- ▭ TEMPERATURA °C
- ◊ PRESION BAR

NOTA :
 EL PFD ESTA BASADO EN LA INFORMACION RECIBIDA DE RECOPE EN LOS P & ID N°: 1637Z-00-4-J/1637Z-00-5-J/1637Z-00-6-J. Y SE INCLUYE UNICAMENTE A EFECTOS DE PRESENTACION DE BALANCES. DRAGADOS NO PREVEE REALIZAR NINGUNA MODIFICACION EN LO EXISTENTE.

EDIC.	FECHA	ELABORADO	DESCRIPCION DE LA EDICION	VERIF.	APROB.
5	10-10-97	J.L.G.	EDICION FINAL REVISADA		
4	12-08-97	J.L.G.	EDICION FINAL		
3	12-12-96	A.P.M.D.	PARA REVISION Y COMENTARIOS	J.S.	J.S.
2	10-10-96	D.F.G.	PUESTO AL DIA PARA RESUMEN POR ADENDUM N°1	J.S.	J.S.
1	17-06-96	F.F.P.	PRELIMINAR	J.S.	J.S.

Dragados **INTECSA UNIDE** APROBADO PARA CONSTRUCCION

ENCARGO N° 80505/10155

RECOPE AMPLIACION Y MODERNIZACION REFINERIA DE MOIN LIMON - COSTA RICA

FECHA 07-10-97

PFD VAPOR Y CONDENSADO

CUENTA X ESCALA --- PLANO N° UV-10155-X-011 EDICION 5

1015513.DGN

ANEXO 2

MANUAL DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL ÁREA DE VAPOR



REFINADORA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO

Departamento de Procesos de Refinación

***MANUAL DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PARA
EL ÁREA DE VAPOR***

Elaborado por: Cindy Umaña López

Revisado por: Ing. Héctor Jirón Castellón

Mayo, 2011

Tabla de contenidos

1. Justificación	3
2. Alcance	3
3. Aspectos técnicos de los equipos.....	4
4. Codificación.....	13
5. Listas de chequeo	15
6. Programación de los chequeos y responsables	18
7. Recomendaciones	18
Bibliografía	19

Manual de inspección y mantenimiento para el área de vapor

1. Justificación

En el marco de la creciente demanda energética que enfrenta el país RECOPE como empresa responsable y comprometida con el ambiente, vela por la disminución de su consumo energético y el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales.

Es conocido que el sistema de vapor es uno de los procesos que mayor cantidad de energía y recursos consume, energía contenida en combustibles fósiles (bunker) y recursos tal cual es el agua. Es por esta razón que se ha decidido desarrollar un instructivo que facilite el mantenimiento preventivo de las trampas para vapor instaladas en la refinería pues estas son unidades con un alto potencial de mejora.

El mantenimiento de las trampas para vapor se fundamenta en la necesidad de optimizar su funcionamiento en pro del ahorro de combustible y del uso eficiente del vapor generado.

2. Alcance

El manual que se presenta a continuación tiene como fin dar soporte al Departamento de Procesos de Refinación y al Departamento de Mantenimiento. La puesta en práctica del mismo debe ser coordinada entre estos departamentos. Además, las labores descritas se distribuirán entre los departamentos conforme a un acuerdo previo.

Este manual se enfoca en el mantenimiento preventivo de las trampas para vapor instaladas en el plantel de refinería, RECOPE, Moín. Se pretende con él brindar una guía para la inspección de los equipos mencionados y permitir el control de las acciones sobre ellos.

El contenido de este se refiere principalmente a la descripción de algunos aspectos técnicos de los equipos, la posible codificación de estos, las listas de chequeo que se emplearían, una recomendación de programación de los chequeos y finalmente los responsables de las acciones a tomar.

3. Aspectos técnicos de los equipos

¿Cómo identificar una falla en una trampa para vapor?

Una trampa para vapor generalmente falla de dos formas:

- A. Cuando libera vapor vivo del sistema
- B. Cuando se encuentra cerrada

En el primer caso muchas veces es difícil de diferenciar debido a la gran cantidad de vapor “flash” o revaporizado que se puede formar cuando el sistema se encuentra a una presión lo suficientemente alta. La figura 1 muestra cómo se vería un chorro de vapor vivo (derecha) y un chorro de vapor “flash” (izquierda).

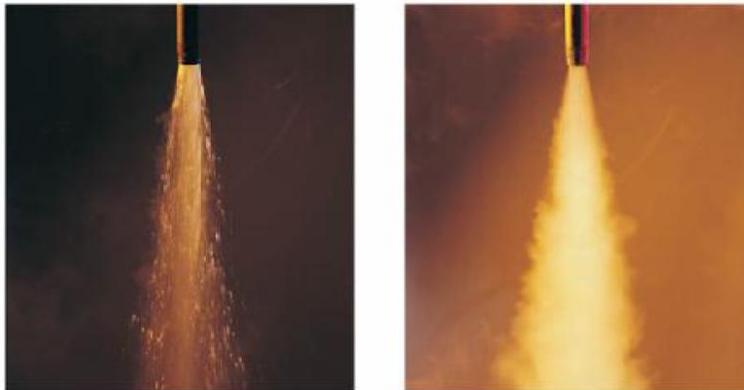


Figura 1. DESCARGA DE VAPOR “FLASH” (IZQUIERDA) Y VAPOR VIVO (DERECHA).

(Fuente: Moscoso, s.f.)

Cuando no se tiene certeza de la falla de la trampa y de qué clase de vapor está presente se puede realizar un ensayo, tomando la descarga de la trampa y direccionándola hacia un recipiente con agua fría en el que se controle la temperatura y el peso para monitorear si es agua de condensado o si se trata de vapor vivo. No obstante, debido a la complejidad de la prueba resulta mucho más fácil y rápido desarmar la parte operativa de la trampa para examinarla. Generalmente la causa del escape de vapor es la obstrucción de la válvula por suciedad.

En el segundo caso, cuando la trampa está cerrada o no se puede observar descarga lo primero es asegurarse que las válvulas de paso estén abiertas, que ningún filtro esté bloqueado y que haya condensado presente.

Con esta revisión básica se pueden detectar las principales fallas en las trampas para vapor.

¿Cuáles son las principales fallas de las trampas para vapor?

Trampa fría y sin descarga

Si la trampa no descarga condensado se puede deber a:

- A. Presión demasiado alta, es posible que la trampa haya sido mal dimensionada para la zona donde se encuentra o que la presión del sistema haya aumentado recientemente, es posible también que la válvula reguladora no funcione correctamente o que la trampa sufra desgaste interno.
- B. No llegada de condensado, esto debido a que un filtro antes de la trampa está obstruido, que existen fugas en la tubería de entrada a la trampa o que las tuberías o codos están tapados.
- C. Mecanismo desgastado o defectuoso, en este caso es necesario el reemplazo.
- D. Cuerpo de la trampa lleno de suciedad, es necesario que se instale un filtro y/o que se remueva la suciedad donde se está generando.
- E. El venteador está lleno de suciedad (en trampas de balde invertido), se debe colocar un filtro antes, es posible también aumentar el tamaño del venteador o usar un alambre limpiador en el venteador del balde.
- F. En el caso de trampas tipo flotador y termostáticas es posible que el venteador de aire no esté funcionando en forma correcta muy probablemente porque está trabado por aire.
- G. Para trampas termostáticas, partes del fuelle se pueden romper debido a un impacto hidráulico, lo cual causaría que la trampa falle en posición cerrada.
- H. Para trampas de disco, puede deberse a que la trampa se instaló invertida.

Trampa caliente y sin descarga

Es posible que no esté llegando condensado a la trampa, generalmente es debido a que la instalación de la trampa no sea la correcta, ya sea que se creen vacíos en el sistema o que la trampa esté colocada a la altura incorrecta.

Pérdidas de vapor

En este caso se pueden estar presentando los siguientes problemas:

- A. Válvula no cierra en su asiento, puede deberse a que hay oxido incrustado en el orificio o que sus partes estén desgastadas.
- B. En las trampas de balde invertido es posible que estas pierdan su ciclo, de ser así cierre la válvula de entrada por unos minutos, vuélvala a abrir gradualmente. Si la trampa recupera su ciclo de operación entonces muy probablemente la trampa no tiene ningún problema.

- C. En las trampas de tipo flotador y termostáticas los elementos termostáticos pueden tener problemas al cerrar.

Flujo continuo

Cuando existe flujo continuo se puede deber a:

- A. Una trampa demasiado pequeña, lo cual se puede solucionar instalando una trampa más grande, o adicionales se pueden instalar en paralelo. O también trampas para altas presiones se pueden estar utilizando en aplicaciones a baja presión. En tal caso debe instalarse un mecanismo interno del tamaño adecuado.
- B. Agua en condiciones anormales. La caldera, al estar formando espuma o al estar sobrecargada, lanza grandes cantidades de agua en las tuberías del vapor. Se debe instalar un separador o se deben corregir las condiciones del agua de alimentación a la caldera.

Calentamiento lento

Cuando la trampa está operando de manera correcta pero la unidad no calienta de forma adecuada, entonces:

- A. Las trampas pueden ser demasiado pequeñas para la aplicación dada, aun cuando parezca que están descargando el condensado de manera eficiente. Se deben de probar trampas de un tamaño más grande.
- B. La trampa tiene capacidad insuficiente para lidiar con el aire presente, o el aire puede no estar llegando hasta la trampa. En ambos casos se debe usar un venteador de aire adicional.

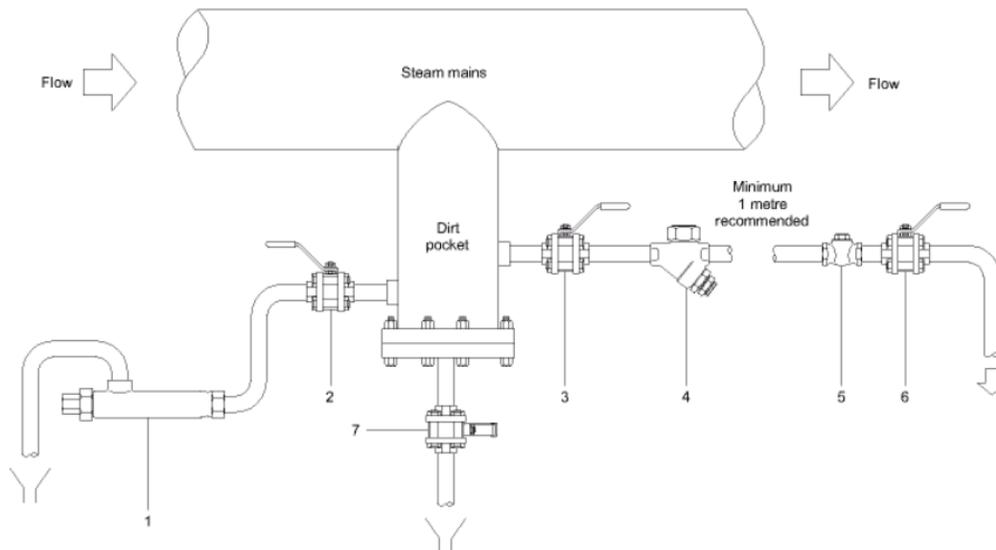
¿Cómo se instala una trampa de vapor?

Los siguientes pasos son los recomendados cuando se desea instalar una trampa para vapor:

Alineación de las tuberías:

- A. Deben instalarse las tuberías de manera que descieran en la dirección del flujo, con una pendiente no inferior a 40 mm por cada 10 m de tubería.
- B. Las líneas de vapor deben purgarse a intervalos regulares de 30 - 50 m, así como en cualquier punto bajo del sistema.
- C. Para instalar un punto de purga en un tramo recto de tubería, deberá utilizarse un pozo de goteo de gran tamaño, que pueda recoger el condensado (Figura 2).
- D. La tubería debe montarse de manera que haya el mínimo de puntos bajos donde se pueda acumular el agua. Si se montan filtros, deben montarse con la cesta en posición horizontal.
- E. Las conexiones de las derivaciones deben partir de la parte superior de la línea, para tomar el vapor más seco posible.
- F. Debe considerarse la instalación de un separador antes de cualquier equipo que utilice el vapor, para asegurar que recibe vapor seco.

- G. Los purgadores elegidos deben ser robustos para evitar el riesgo de daños por golpe de ariete, y ser apropiados para su entorno.



Parte	Componente	Función
1	Controlador de temperatura	Opera durante las paradas de la trampa
2	Válvula de aislamiento	Para aislar el sifón del suministro de vapor
3	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa de la fuente de vapor
4	Purgador termodinámico	Descargar el condensado correctamente
5	Válvula de retención	Para evitar el flujo inverso
6	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa del sistema de condensado
7	Válvula de purga	Para drenar el bolsillo durante las paradas

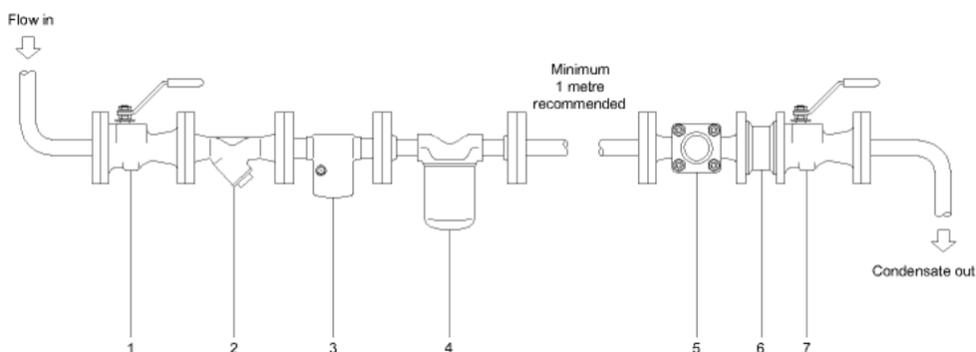
Figura 2. CONFIGURACIÓN TÍPICA PARA MONTAJE DE UNA TRAMPA PARA VAPOR EN UNA PIERNA COLECTORA.

(Fuente: www.spiraxsarco.com)

Ubicación de la trampa:

La trampa para vapor debe ser colocada de forma que:

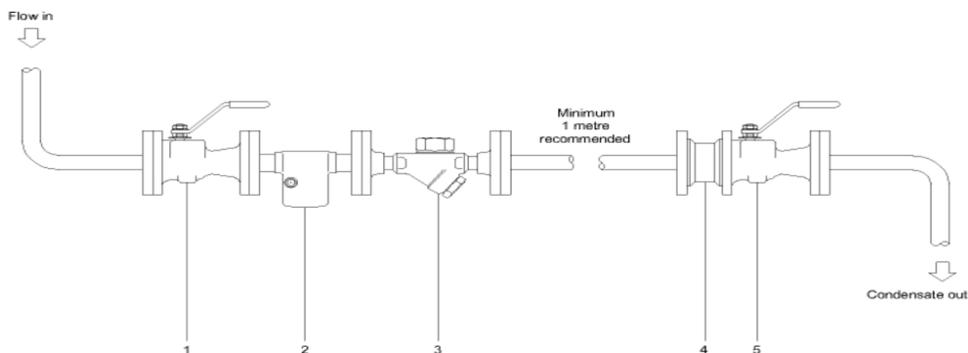
- A. Se encuentre accesible para ser inspeccionada y ser reparada.
- B. Este bajo el punto de drenado, siempre que sea posible.
- C. Se encuentre cerca del punto de drenado.
- D. Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran las configuraciones típicas de montaje.
- E. Se deberá instalar un filtro aguas arriba de toda trampa de vapor, para proteger el obturador y el asiento de la suciedad e incrustaciones.
- F. Instalar válvulas de aislamiento de paso total aguas arriba y aguas abajo de la trampa para facilitar el mantenimiento.
- G. Las trampas de boya cerrada deberán montarse lo más cerca de la salida del equipo que se ha de drenar, sino existe la posibilidad que se produzca un bloqueo por vapor. El bloqueo por vapor ocurre cuando la tubería entre la salida de condensado y el purgador se llena de vapor e impide que el condensado llegue al purgador.



Parte	Componente	Función
1	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa del suministro de vapor
2	Filtro	Para proteger la trampa de suciedad
3	Visor	Monitorear el funcionamiento de la trampa
4	Trampa de balde invertido	Descargar el condensado correctamente
5	Mirilla	Observar la condición del condensado
6	Válvula de retención	Evitar el flujo inverso
7	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa del sistema de condensado

Figura 3. CONFIGURACIÓN TÍPICA PARA MONTAJE DE UNA TRAMPA PARA VAPOR DE BALDE INVERTIDO.

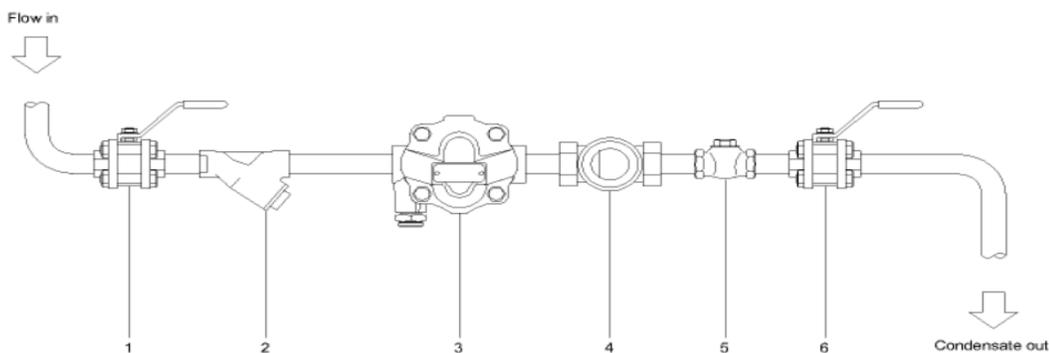
(Fuente: www.spiraxsarco.com)



Parte	Componente	Función
1.	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa del suministro de vapor
2.	Mirilla	Observar la condición de la trampa
3.	Trampa termodinámica	Descargar el condensado correctamente
4.	Válvula de retención	Evitar el flujo inverso
5.	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa del sistema de condensado

Figura 4. CONFIGURACIÓN TÍPICA PARA MONTAJE DE UNA TRAMPA PARA VAPOR TERMODINÁMICA.

(Fuente: www.spiraxsarco.com)



Parte	Componente	Función
1.	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa del suministro de vapor
2.	Filtro	Para proteger la trampa de suciedad
3.	Trampa de flotador con mirilla	Descargar el condensado correctamente
4.	Mirilla	Observar la condición del condensado
5.	Válvula de retención	Evitar el flujo inverso
6.	Válvula de aislamiento	Para aislar la trampa del sistema de condensado

Figura 5. CONFIGURACIÓN TÍPICA PARA MONTAJE DE UNA TRAMPA PARA VAPOR DE FLOTADOR Y TERMOSTÁTICA.

(Fuente: www.spiraxsarco.com)

¿Cómo se da mantenimiento a una trampa para vapor?

A la hora de realizar cualquier mantenimiento se deberá considerar:

- A. El uso de equipo de seguridad personal.
- B. Aislar completamente el área a inspeccionar. Tomando en cuenta que ninguna otra parte del sistema se ponga en riesgos, como dispositivos de protección o alarmas. Además, el aislamiento debe ser gradual.
- C. Esperar que la presión se normalice.
- D. Esperar que la temperatura disminuya hasta un nivel seguro. Utilizar dispositivos de seguridad si es necesario.

Mantenimiento según tipo de trampa:

Es necesario recordar que cada modelo de trampa para vapor posee una ficha técnica que puede ser consultada en caso que sea necesario. No obstante, la información presente a continuación, será de ayuda.

TRAMPA TERMODINÁMICA

En caso de necesitar sustituir el disco:

Desenroscar la tapa usando una llave fija, no usar llaves que pueden deformar la tapa. Si las caras de asiento del disco y del cuerpo están sólo ligeramente desgastadas, pueden rectificarse puliéndolas individualmente sobre una superficie plana, tal como una placa para probar superficies planas. Un movimiento en figura de ocho y aplicando un poco de compuesto para esmerilar, dan los mejores resultados. Si el desgaste es demasiado grande para ser rectificado por simple pulido, las caras de asentamiento del cuerpo pueden ser esmeriladas y pulidas y el disco sustituido por uno nuevo. La cantidad total de metal eliminado no debe ser mayor de 0,25 mm (0,01"). Al montar, colocar el disco con la cara ranurada en contacto con el asiento del cuerpo. Roscar la tapa lubricando la rosca con Disulfuro de Molibdeno. En la figura 6 se puede apreciar un despiece de la trampa de vapor termodinámica.

Para limpiar o sustituir el tamiz:

Desenroscar el tapón del filtro usando una llave fija, sacar el tamiz y limpiarlo o sustituirlo si está deteriorado. Al volver a montar, insertar el tamiz en el tapón y roscarlo en su alojamiento. Aplicar una fina capa de Disulfuro de Molibdeno en la rosca. Asegurarse que las caras de cierre y la junta están limpias.

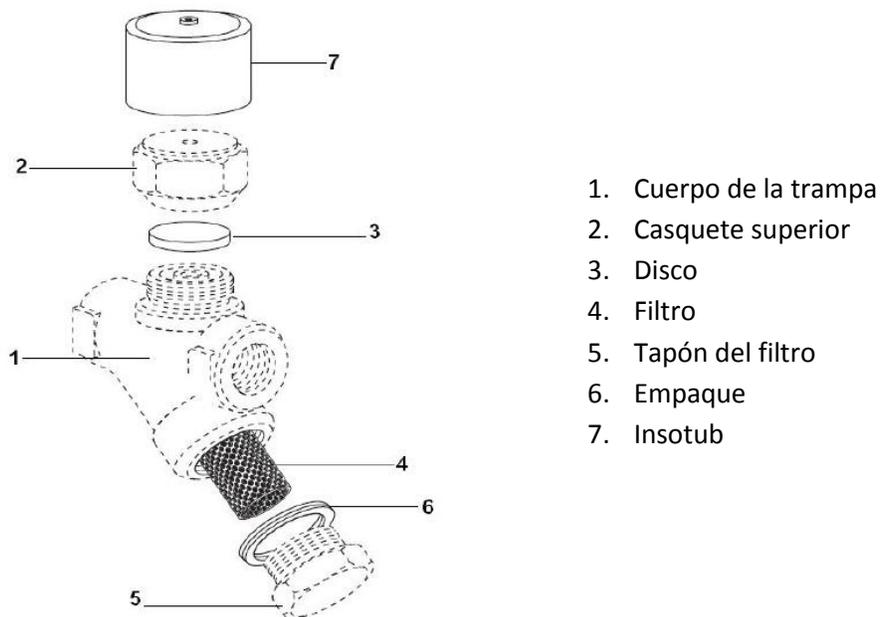


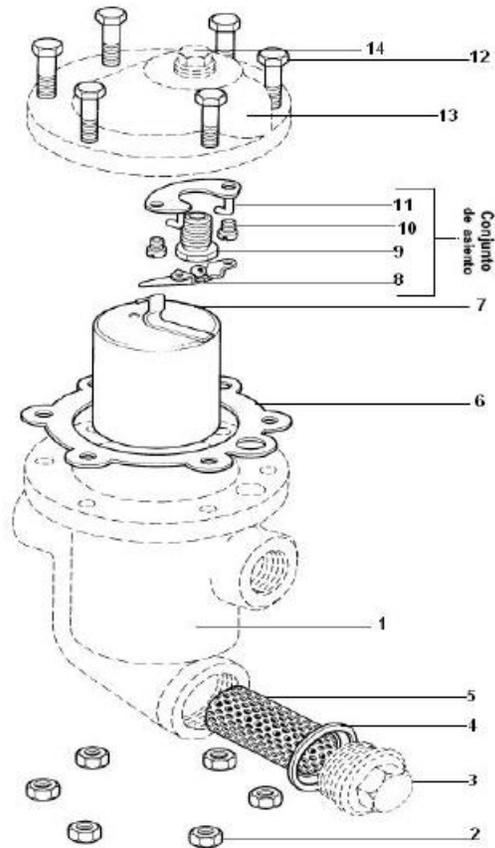
Figura 6. DESPIECE DE TRAMPA TERMODINÁMICA EQUIPADA CON FILTRO INTERNO.

TRAMPA DE BALDE INVERTIDO

En caso de inspección o recambio del balde o mecanismo:

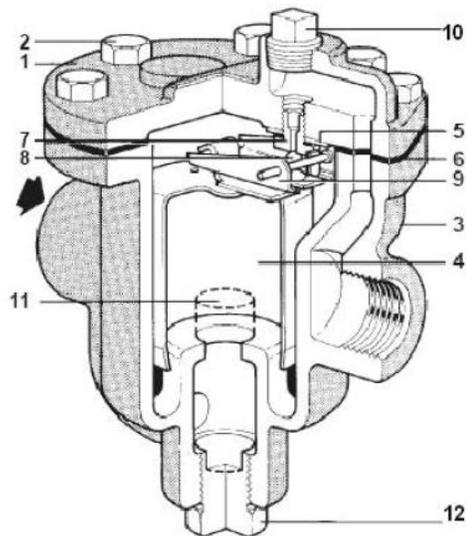
- A. Sacar la cubeta de la palanca, quitar el pasador y sacar el conjunto.
- B. Desenroscar los dos tornillos de la válvula y sacar el pivote palanca. Sacar el asiento.
- C. Asegurarse de que las caras del asiento estén limpias, montar la junta de asiento y apriete.
- D. Montar el soporte pivote palanca y ensamblar la nueva palanca.

En la figuras 7 y 8 se aprecia un despiece de una trampa de balde invertido.



1. Cuerpo de la trampa
2. Tuercas
3. Tapa de filtro
4. Empaque
5. Filtro
6. Empaque
7. Balde invertido
8. Sello de la válvula y mecanismo de acople
9. Asiento de la válvula interna
10. Tornillos de sujeción de la válvula interna
11. Mecanismo de oscilación de la válvula interna
12. Tornillos de ensamble
13. Tapa de la válvula
14. Tapón de limpieza del mecanismo de la válvula interna

Figura 7. DESPIECE DE TRAMPA DE BALDE INVERTIDO EQUIPADA CON FILTRO INTERNO.



1. Tapa de la trampa
2. Tornillos
3. Cuerpo de la trampa
4. Balde invertido
5. Eje de oscilación de la válvula interna.
6. Empaque
7. Conducto de la válvula interna
8. Asiento de la válvula interna
9. Acople del balde invertido con la válvula interna
10. Tapón superior
11. Filtro
12. Tapón del filtro

Figura 8. CORTE LONGITUDINAL DE UNA TRAMPA DE VAPOR DE TIPO BALDE INVERTIDO EQUIPADA CON FILTRO INTERNO.

TRAMPAS MECÁNICAS DE FLOTADOR (LIBRE O PALANCA)

Para el mantenimiento de este tipo de trampas hay que efectuar un despiece total, y efectuar los siguientes pasos:

- A. Inspeccionar detalladamente las piezas que constituyen el mecanismo interno de la trampa.
- B. Efectuar una limpieza total, usando líquido removedor de óxido, a la cabeza de la válvula y su asiento, las partes del sistema de venteo y al mecanismo de articulación.

En la figura 9 se puede apreciar un despiece de una trampa mecánica de boya.

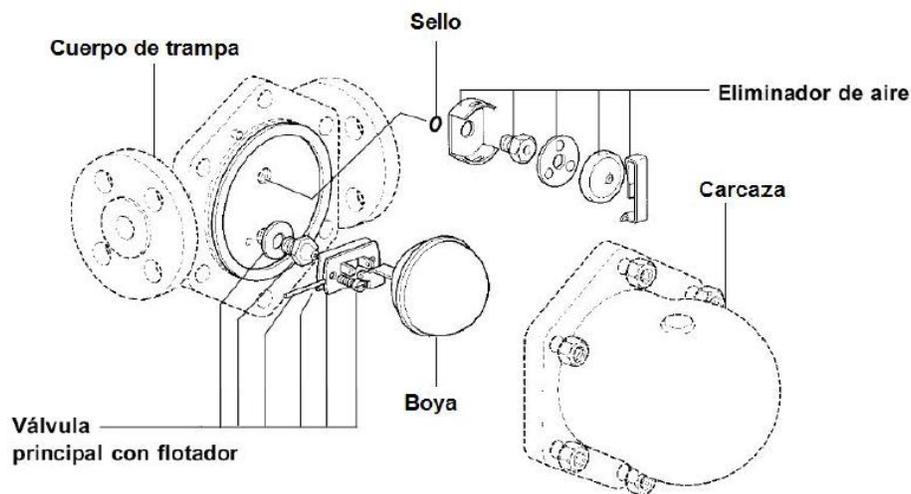


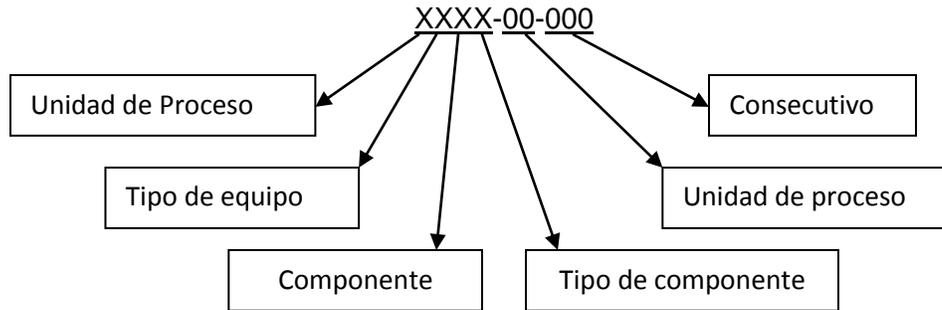
Figura 9. DESPIECE DE TRAMPA DE VAPOR MECÁNICA DE BOYA.

7. Codificación

Con el fin de facilitar el mantenimiento preventivo de las trampas para vapor se desarrolla un instructivo que permita el chequeo rápido y ordenado de las trampas para vapor.

A continuación se muestra la codificación que se le dará a las trampas para vapor de acuerdo a la unidad a la que pertenezca o el lugar donde se encuentran.

Se asignará un código de acuerdo con:



A. El primer caracter (letra mayúscula)

De izquierda a derecha en código indica la **Unidad de Proceso** para la cual realiza la función:

Abreviatura	Significado
A	API (aguas oleaginosas)
C	Crudo
D	Sistema de agua contra incendio
G	Gascon
M	Muelle
H	Destilado
P	Platformado
T	Conversión térmica
U	Utilidades
V	Vacío
Y	Patio (Off site)
Z	Sistema de agua de enfriamiento

B. El segundos caracter (letra mayúscula)

De izquierda a derecha en código el segundo caracter indica el tipo de equipo del que se trata, se utilizará la letra **"Y"** para indicar que se trata de **otros equipos**.

C. El tercer caracter (letra mayúscula)

De izquierda a derecha en código el tercer caracter indica componente, en este caso se utilizará la letra **"K"**, que indica **equipo mecánico**.

D. El cuarto caracter (letra mayúscula)

De izquierda a derecha en código el cuarto caracter indica el tipo de componente, se asignará entonces la letra **"T"**, que hace referencia a **trampa para vapor**.

E. Primeros caracteres en números

Los dos primeros números de izquierda a derecha del código indican la Unidad de Proceso a la que pertenece el equipo, de acuerdo con el siguiente cuadro.

Abreviatura	Unidad de proceso	Número
A	API (Aguas oleaginosas)	26
C	Crudo	20
D	Profundidad (Agua contra incendio)	28
G	Gascón	24
H	Destilado	22
P	Platformado	23
T	Conversión Térmica	29
U	Utilidades	25
V	Vacío	21
M	Muelle	30
Y	Off Site	27
Z	Sumidero (Agua de enfriamiento)	55

F. Segundos caracteres en números

Los últimos tres números corresponderán al número de **consecutivo** de la trampa para vapor.

8. Listas de chequeo

Las listas de chequeo que se emplearán para la inspección de trampas se pueden observar en las siguientes dos páginas. Estas constan de un encabezado donde se anota el nombre del operario que realiza la inspección, la fecha y la hora de esta, el código de la trampa que está siendo inspeccionada y el período de inspección anual que se está ejecutando.

Además en la ficha posee cuatro columnas de verificación por cada instrucción a las cuales corresponde **CO** cuando el mecanismo tiene un funcionamiento **correcto**, **MA** cuando se le dio **mantenimiento**, **RE** cuando se realizó un **reemplazo** de la pieza o mecanismo y **NA** en caso de que **no aplique**. Adicionalmente se coloca una columna para observaciones en caso de que sean necesarias y si estas son extensas para el espacio brindado, se colocó al reverso de la ficha otro apartado para estas. Por el reverso de la hoja también se puede encontrar la codificación de las trampas de acuerdo con el área donde se encuentren.



INSPECCIÓN DE TRAMPAS PARA VAPOR

Inspeccionó: _____

Código de trampa

Fecha y hora: _____

Período: _____

#	Instrucción	CO ¹	MA	RE	NA	Observaciones
1	Inspeccione visualmente la trampa y asegúrese que la trampa no presenta fisuras o fugas de vapor vivo. Si la falla no es evidente utilice líquidos penetrantes para detectar fisuras internas. Reemplace la trampa si el fallo es total.					
2	Revise el filtro de la trampa, límpielo o reemplácelo en caso de daño. Asegúrese también que no existan partículas en el interior de la trampa.					
3	Verifique el estado de las juntas de la trampa y reemplace si se encuentran desgastadas					
4	Si el cuerpo de la trampa se encuentra oxidado límpielo con líquido para remover este.					
5	TRAMPA TERMODINAMICA Asegúrese que la tapa aislante o casquillo de la trampa se encuentre en buen estado, sin fisuras o deformaciones. Reemplace de ser necesario.					
6	Revise el disco interno, este no debe tener fisuras o deformaciones. Reemplace en caso de desgaste.					
7	Revisar el estado del asiento del disco, asentar de ser necesario. La cantidad de metal eliminado no debe sobrepasar los 0,25mm.					
8	Inspeccione bajo el disco y elimine cualquier obstrucción en la entrada y salida del vapor. Usar limpia boquillas.					
9	TRAMPA DE FLOTADOR Asegúrese del correcto funcionamiento del mecanismo interno de oscilación del flotador, reemplazar si es necesario.					
10	Revise el estado del asiento de la válvula interna. Si es necesario líjelo y púlalo ligeramente.					
11	Inspeccione y limpie el sistema de venteo de aire. Reemplácelo de ser necesario.					
12	Revise la boya y asegúrese de que no tenga perforaciones, cámbiela de ser así.					
13	TRAMPA DE BALDE INVERTIDO Limpie el mecanismo de oscilación del balde y reemplácelo si es necesario.					
14	Inspeccione el balde y en caso de que presente perforaciones o grietas reemplácelo.					
15	Revise el estado del asiento de la válvula interna, lijar y pulir ligeramente si es necesario.					
16	Revise el estado del sistema de venteo de aire y límpielo. En caso de daño reemplácelo.					

¹ CO: funcionamiento correcto. MA: se brinda mantenimiento. RE: se da un reemplazo. NA: no aplica

9. Programación de los chequeos y responsables

El Departamento de Procesos de Refinería y el Departamento de Mantenimiento serán los encargados de establecer las frecuencias de inspección y los responsables de realizarlas. Para esto deben tomarse en cuenta los periodos de mantenimiento recomendados por el fabricante para cada equipo y la disponibilidad de equipos y personal con que cuente la empresa.

El siguiente cuadro indica la periodicidad recomendada por fabricantes para darle mantenimiento a las trampas para vapor.

Cuadro 1. Periodicidad de inspección de trampas para vapor.

FRECUENCIA ANUAL				
Presión de operación (psig)	Aplicación			
	Pierna colectora	Trasegado	Intercambiadores	Proceso
0-100	1	1	2	3
101-250	2	2	2	3
251-450	2	2	3	4
450 en adelante	3	3	4	12

Fuente: Bulletin 310-D. Armstrong Steam Trap Testing Guide for Energy Conservation.

10. Recomendaciones

- ✓ Contar con el equipo especializado de inspección de trampas para vapor, para así mantener un registro actualizado de las condiciones del sistema de vapor.
- ✓ Instalar manómetros y termómetros adecuados en las líneas de conducción de vapor, con el fin de permitir el adecuado monitoreo del sistema y sus condiciones de operación.
- ✓ Crear un procedimiento de selección y dimensionamiento adecuado de las trampas para vapor a ser instaladas en el plantel.
- ✓ Asignar un departamento o personero dentro de la organización que sea el responsable del monitoreo integral del sistema de vapor. Esto permite un mayor control, como por ejemplo la detección oportuna de deficiencias en el sistema y la generación mejoras continuas para el mismo.

Bibliografía

- Armstrong International, Inc. (2006). *Armstrong Steam Trap Testing Guide for Energy Conservation* Recuperado de <http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/310.pdf>
- Armstrong International, Inc. (s. f.). *Guía para la Conservación de Vapor en el Drenado de Condensados* Recuperado de <http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/n101spanish.pdf>
- Capehart, B., Turner, W. & Kennedy, W. (2006). *Guide to energy management* (Quinta ed.) United States of America: The Fairmont Press, Inc..
- COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA. México (2002). *GUÍA DE VAPOR PARA LA INDUSTRIA*. Recuperado de <http://www.docstoc.com/docs/3245911/COMISION-NACIONAL-PARA-EL-AHORRO-DE-ENERGIA-GU%C3%8DA-DE-VAPOR>
- Moscoso, R. (s. f.). *GUIA PARA EL CHEQUEO DE OPERACIÓN DE LAS TRAMPAS PARA VAPOR*. Recuperado de <http://www.nstvenezuela.com/catalogo/08%20INTRODUCCION%20GUIA%20PARA%20EL%20CHEQUEO%20DE%20OPERACION%20DE%20TRAMPAS%20PARA%20VAPOR.pdf>
- Spirax-Sarco S.A. (s. f.). *GUIA DE REFERENCIA TECNICA. DISTRIBUCION DEL VAPOR* Recuperado de <http://www.spiraxsarco.com/mx/applications/overview/steam-distribution-and-utilisation.asp>
- Spirax-Sarco S.A. (2000). *Purgador termodinámico TD42 Instrucciones de instalación y mantenimiento* Recuperado de <http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/IM/p068-24.pdf>

ANEXO 3

**CONFIGURACIÓN ESPACIAL DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN
DE CONDENSADOS DEL PLANTEL DE REFINERÍA, RECOPE S.A.**



— SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADOS



DEPARTAMENTO DE PROCESOS DE REFINACION

UBICACION ESPACIAL DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADOS

FECHA
10/2011

EDICION
1

ANEXO 4

MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS DEL PLANTEL DE REFINERÍA, RECOPE S.A.

Memoria de Cálculo

A continuación se presenta la memoria de cálculo para el sistema de recuperación de condensados del Plantel de Refinería de RECOPE S.A., esta se elaboró en el segundo semestre del año 2011, bajo la supervisión del Departamento de Ingeniería de Procesos.

1. Distribución de vapor por equipos

Para poder conocer con exactitud la distribución del vapor por equipos es necesario contar con un balance de vapor. Actualmente, en la refinería no se dispone de los datos suficientes para realizarlo, por lo que se debió hacer una estimación de la demanda en las áreas involucradas

Para realizar esta, se suponen distintos escenarios de distribución de vapor, los que se presentan en la siguiente tabla, estos varían en cuanto al porcentaje de vapor que se asigna a las áreas de bunker y asfalto, se hace la distinción entre estas ya que representan la mayor cantidad de producto a almacenar y las condiciones más críticas de almacenamiento.

Tabla 1. Distribución de vapor por área de acuerdo al producto almacenado, Plantel de Refinería, RECOPE.

ÁREA	% CONSUMO					
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
IFO	10	10	10	10	10	10
Traceo	10	10	10	10	10	10
Crudo Pesado	5	5	5	5	5	5
Bunker	10	20	25	30	40	50
Asfalto	65	55	50	45	35	25
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Para cada uno de estos escenarios se realizó el cálculo de las dimensiones del sistema, con el fin de probar su sensibilidad. Una vez con los resultados de esta el trabajo fue presentado al Departamento de Ingeniería y al Departamento de Procesos de Refinación, con el fin de discutir cuál es, según su criterio de experto, el más cercano a la realidad.

En este caso, se decidió trabajar con el escenario 3 (Tabla 1). Para este proyecto se presentarán entonces los cálculos respectivos.

Tabla 2. Distribución de vapor por área de acuerdo al producto almacenado para el escenario 3, Plantel de Refinería, RECOPE.

REA	% CONSUMO	CONSUMO (kg/h)	85% RETORNO	(kg/h)
IFO	10	2000		1900
Traceo	10	2000		1900
Crudo Pesado	5	1000		950
Bunker	25	5000		4750
Asfalto	50	10000		9500
TOTAL	100	20000		19000

Una vez conocida la distribución general del vapor es necesario proceder con la distribución por equipos. En este caso, al no poseer los datos certeros de los equipos instalados se efectúa una estimación de las cargas de acuerdo con el volumen de almacenamiento de cada tanque. En esta distribución además se considera la construcción de los nuevos tanques de almacenamiento de bunker y asfalto, los que tendrán las siguientes capacidades:

Tabla 3. Tanques proyectados para construcción, Plantel de Refinería, RECOPE.

Producto	Tanque	Capacidad (BBL)
Bunker	1	100 000
	2	15 000
	3	15 000
Asfalto	1	15 000
	2	15 000

Considerando la distribución del escenario 3, se presentan las siguientes tablas las cuales muestran las cantidades de vapor por tanque, en este caso se está utilizando el pico de producción de vapor de 15 000 kg/h y se supone que los tanques son abastecidos con el 95% de estos, ya que se deben considerar 5% en pérdidas por fugas de vapor, equipos en mal estado y/o que no sean considerados para incluirlos en la recuperación de condensados. Además, en el caso de los nuevos tanques su consumo de vapor fue determinado de acuerdo con un factor de consumo obtenido a partir de los tanques ya existentes.

Tabla 4. Distribución de vapor por área de acuerdo al producto almacenado para el escenario 3, Plantel de Refinería, RECOPE.

Distribución Asfalto				
EQUIPO	CAPACIDAD (m3)	CONSUMO %	CONSUMO VAPOR (kg/h)	95% RETORNO (kg/h)
Nuevo 1	2125,0		2989,1	2839,6
Nuevo 2	2125,0		2989,1	2839,6
TK 754	1301,2	18%	1830,3	1738,8
TK 755	1301,9	18%	1831,2	1739,6
TK 951	259,3	4%	364,8	346,5
TK 952	2123,5	30%	2986,9	2837,6
TK 953	2123,4	30%	2986,8	2837,5
TOTAL	7109,3	100%	10000,0	9500,0

Distribución Bunker				
EQUIPO	CAPACIDAD (m3)	CONSUMO %	CONSUMO VAPOR (kg/h)	95% RETORNO (kg/h)
Nuevo 1	12500,0		4985,6	4736,3
Nuevo 2	2125,0		847,5	805,2
Nuevo 3	2125,0		847,5	805,2
TK 727	12536,2	100%	5000,0	4750,0
TK 728	12729,3	100%	5000,0	4750,0
TK 729	12266,8	100%	5000,0	4750,0
TOTAL	37532,3	100%	15000,0	14250,0

Distribución IFOs y Consumo Interno				
EQUIPO	CAPACIDAD (m3)	CONSUMO %	CONSUMO VAPOR (kg/h)	95% RETORNO (kg/h)
TK 735	2060,9	30%	604,9	574,7
TK 736	1897,8	28%	557,1	529,2
TK 737	1963,4	29%	576,3	547,5
TK 7210	891,6	13%	261,7	248,6
TOTAL	6813,7	100%	2000,0	1900,0

Distribución Crudo Pesado

EQUIPO	CAPACIDAD (m3)	CONSUMO %	CONSUMO VAPOR (kg/h)	95% RETORNO (kg/h)
TK 7016	6794,1	33%	330,5	314,0
TK 7017	3485,2	17%	169,5	161,1
TK 7018	3483,1	17%	169,4	161,0
Calentador	6794,1	33%	330,5	314,0
TOTAL	20556,6	100%	1000,0	950,0

En el caso del bunker, se le asigna a cada tanque (727, 728, 729) la totalidad del consumo de vapor del área, ya que según indicaciones del Departamento de Procesos de Refinación, estos tanques se calientan únicamente cuando está siendo descargado el producto para ventas. Por lo tanto, el consumo de vapor se da en un tanque a la vez, no obstante el sistema de recuperación de condensados debe quedar previsto para una eventual operación donde los tanques sean alimentados todos a la vez.

2. Enrutamiento de tuberías

En este caso se supone un sistema de colección abierto, que tendrá tres puntos principales de drenado, cada uno dado por un tanque colector de condensados, en las siguientes figuras se puede observar la distribución en planta de las tuberías y los lugares elegidos para la colocación de los tanques colectores.



Figura 1. Ubicación del sistema de recuperación de condensados en el Plantel de Refinería, RECOPE S.A.

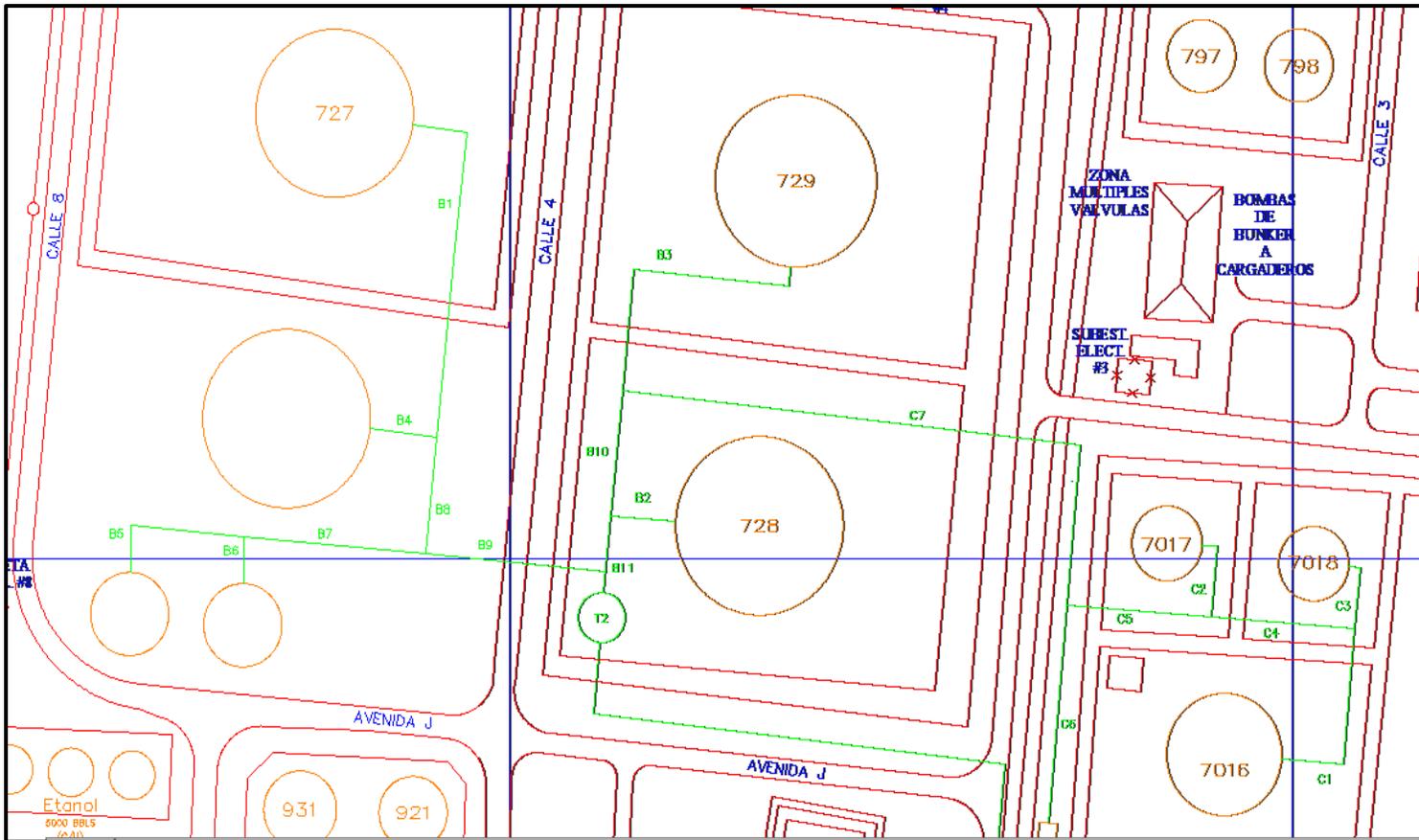
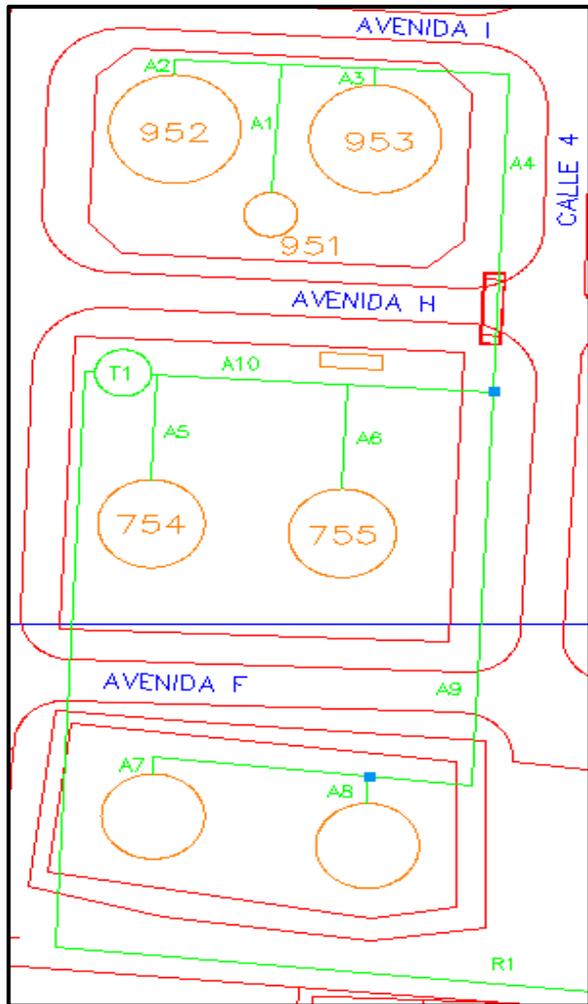
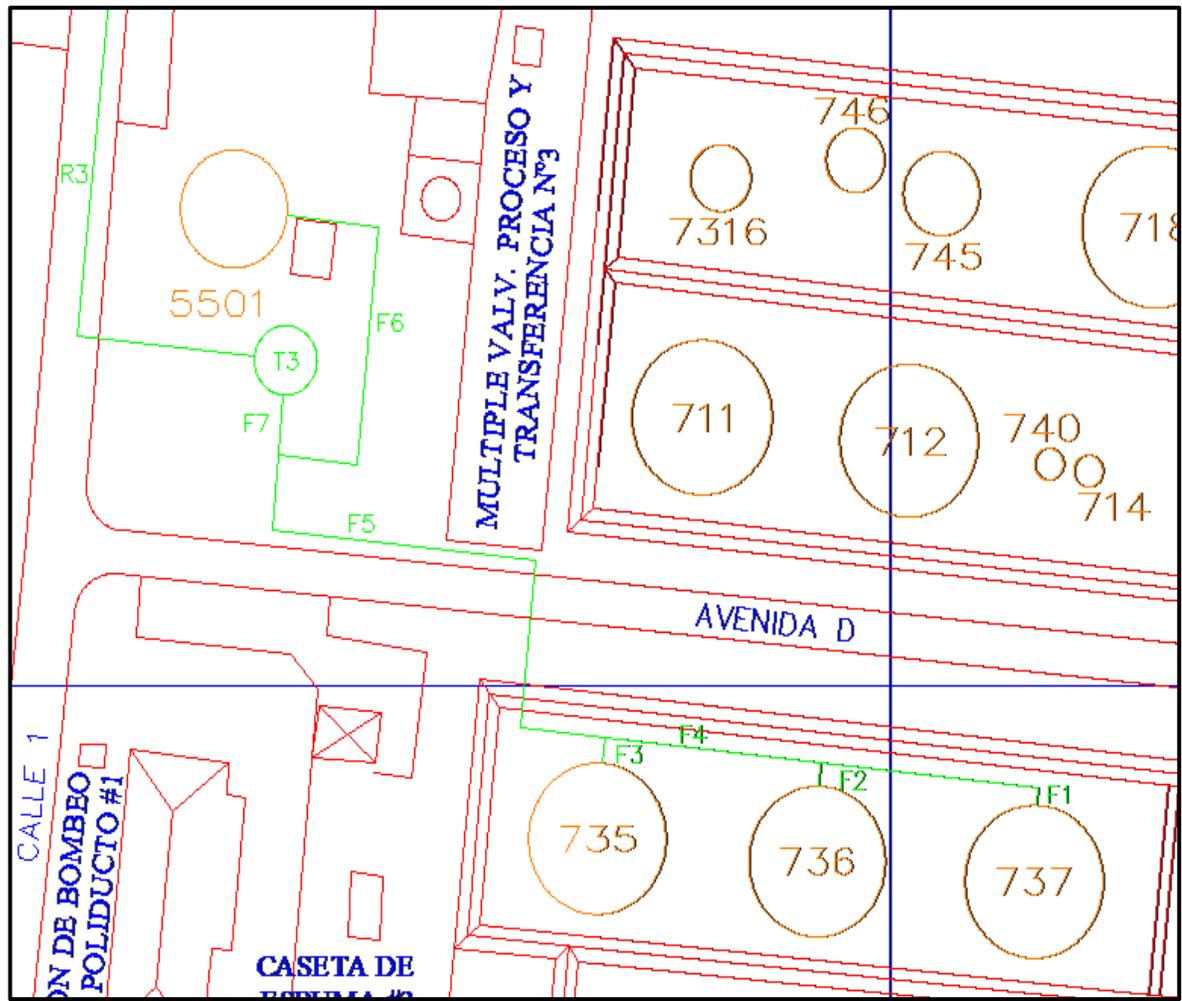


Figura 2. Detalle de las tuberías de recuperación de condensados del área de bunker y crudo pesado.



(A)



(B)

Figura 2. Detalle de tuberías de recuperación de condensados del área de asfalto (A) e IFOS y consumo interno de combustible (B).

3. Dimensionamiento de tuberías

Para realizar el cálculo del dimensionamiento de tuberías se tomó en cuenta la distribución vapor y el enrutamiento de tuberías presentado en las figuras 1, 2 y 3.

El sistema de vapor de la refinería genera vapor saturado a 17 barg, en este caso se asumen que esta es la presión de llegada a los tanques ya que no se tienen datos certeros de esto. Además, se trabaja bajo el supuesto de que el sistema de recuperación de condensados manejará una presión de aproximadamente 4 barg. Para estas condiciones se establece entonces un volumen específico de vapor seco saturado de 0,4625 m³/kg, y se estima que habrá un 10% de vapor flash.

Vapor Flash:

$$\text{Porcentaje de vapor flash} = \frac{(h_{f \text{ a } P1}) - (h_{f \text{ a } P2})}{(h_{fg \text{ a } P2})}$$

P1	=	Presión inicial
P2	=	Presión final
hf	=	Entalpía específica del líquido (kJ/kg)
hfg	=	Entalpía específica del vapor (kJ/kg)

$$\text{Porcentaje de vapor flash} = \frac{844,9 - 640,23}{2108,5} * 100 = 9,7 \% \approx 10\%$$

Diámetro de tuberías

A continuación se presenta una tabla con los detalles para cada una de las tuberías involucradas estas, la ubicación y/o configuración de estas se puede observar en las figuras 1, 2 y 3, de acuerdo con el código asignado. Luego, se presenta un ejemplo del cálculo para un tramo de tubería.

Tabla 5. Dimensionamiento de tubería para el sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE S.A.

ID	TRAMO	CAUDAL		CAUDAL		DIÁMETRO		VELOCIDAD
		LONGITUD (m)	CONDENSADO (kg/h)	VAPOR FLASH (m3/s)	DIÁMETRO (m)	DIÁMETRO (pulg)	COMERCIAL (pulg)	
A1	TK 951-A4	22	346,5	0,004	0,017	0,663	1	9
A2	TK 952-A4	3	2837,6	0,036	0,048	1,897	2	18
A3	TK 953-A4	3	2837,5	0,036	0,048	1,897	2	18
A4	A4-A10	102	6021,5	0,077	0,070	2,763	3	17
A5	TK 754-A10	18	1738,8	0,022	0,038	1,485	2	11
A6	TK 755-A10	18	1739,6	0,022	0,038	1,485	2	11
A7	TK Nuevo 1-A9	34	2839,6	0,036	0,048	1,897	2	18
A8	TK Nuevo 1-A9	3	2839,6	0,036	0,048	1,897	2	18
A9	A9-A10	83	5679,2	0,073	0,068	2,683	3	16
A10	Recolector T1	50	15179,2	0,195	0,111	4,387	6	11
C1	TK 7016-C4	49	314,0	0,004	0,016	0,631	1/2	21
C2	TK 7017-C4	21	161,1	0,002	0,011	0,452	1/2	11
C3	TK 7018-C4	18	161,0	0,002	0,011	0,452	1/2	11
C4	C4-C5	37	475,0	0,006	0,020	0,776	1	11
C5	C5-C6	37	636,0	0,008	0,023	0,898	1	15
C6	C6-C7	53	314,0	0,004	0,016	0,631	1/2	21
C7	Calentador-B10	157	950,0	0,012	0,028	1,097	1	22
B1	TK 727-B8	88	4750,0	0,061	0,062	2,454	3	13
B2	TK 728-B11	18	4750,0	0,061	0,062	2,454	3	13
B3	TK 729-B10	75	4750,0	0,061	0,062	2,454	3	13
B4	TK Nuevo 1-B8	17	4736,3	0,061	0,062	2,450	3	13
B5	TK Nuevo 2-B7	12	805,2	0,010	0,026	1,010	1	20
B6	TK Nuevo 3-B7	12	805,2	0,010	0,026	1,010	1	20
B7	B7-B9	47	1610,3	0,021	0,036	1,429	2	10
B8	B8-B9	28	9486,3	0,122	0,088	3,468	4	15

ID	TRAMO	LONGITUD (m)	CAUDAL	CAUDAL	DIÁMETRO	DIÁMETRO	DIÁMETRO	VELOCIDAD (m/s)
			CONDENSADO (kg/h)	VAPOR FLASH (m3/s)	DIÁMETRO (m)	DIÁMETRO (pulg)	COMERCIAL (pulg)	
B9	B9-B11	46	11096,6	0,143	0,095	3,751	4	18
B10	B10-B11	30	5700,0	0,073	0,068	2,688	3	16
B11	B11-T2	19	21546,6	0,277	0,133	5,226	6	15
F1	TK 737-F4	30	547,5	0,007	0,021	0,833	1	13
F2	TK 736-F4	3	529,2	0,007	0,021	0,819	1	12
F3	TK 735-F4	3	574,7	0,007	0,022	0,854	1	13
F4	F4-F5	28	1076,7	0,014	0,030	1,168	2	6
F5	F5-F7	75	1651,4	0,021	0,037	1,447	2	10
F6	TK 7210-F7	49	248,6	0,003	0,014	0,561	1/2	16
F7	F7-T3	7	1900,0	0,024	0,039	1,552	2	11

Ejemplo para tramo "A2":

En el caso de las tuberías para sistemas de recuperación de condensados se debe considerar que se tienen dos fluidos, agua (condensados) y vapor (vapor flash). Como se conoce, el vapor ocupa un mayor volumen que el agua por lo que la tubería debe estar dimensionada en función de este. Para el tramo "A2" se tiene:

$$\text{Caudal condensado} = 2837,6 \text{ kg/hr}$$

(Tomado de la tabla 4)

$$\text{Caudal vapor flash} = \frac{2837,6 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} * 0,10 * 0,4625 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{3600} = 0,036 \text{ m}^3/\text{s}$$

(0,4625 m³/kg es el volumen específico del vapor seco saturado a 4 barg de presión)

$$\text{Diámetro tubería} = \sqrt{\frac{Q}{V} * \frac{1}{\pi} * 2} = \sqrt{\frac{0,036 \text{ m}^3/\text{s}}{20 \text{ m/s}} * \frac{1}{\pi} * 2} = 0,048 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro de la tubería} = 0,048 \text{ m} * 39,37 \frac{\text{pulg}}{\text{m}} = 1,897 \text{ pulg}$$

De esta forma, consultando la literatura, el diámetro comercial de la tubería es de 2 pulgadas.

$$\text{Diámetro de la tubería} = 1,897 \text{ pulg} \approx 2 \text{ pulg}$$

Recalculando la velocidad, para tener certeza de cumplir con las especificaciones de mantenerla entre 15 y 20 m/s.

$$\text{Velocidad condensado} = \frac{Q}{\pi * \left(\frac{D_{\text{comercial}}}{39,37 * 2}\right)^2} = \frac{0,036 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * \left(\frac{2 \text{ pulg}}{39,37 * 2}\right)^2} = 17,76 \text{ m/s}$$

En el caso de las tuberías llamadas “recolector” se hace una ponderación de la cantidad de condensado que van a recibir, de tal manera que de acuerdo a las conexiones que tengan aumentan su diámetro, por ejemplo para el “recolector 1” del área de asfalto:

$$Caudal\ condensado = 6021,5\ kg/hr$$

(Tomado de la tabla 4, es la suma de A1, A2 y A3)

$$Caudal\ vapor\ flash = \frac{6021,5\ \frac{kg}{hr} * 0,10 * 0,4625\ \frac{m^3}{kg}}{3600} = 0,077\ m^3/s$$

(0,4625 m³/kg es el volumen específico del vapor seco saturado a 4 barg de presión)

$$Diámetro\ tubería = \sqrt{\frac{Q}{V} * \frac{1}{\pi} * 2} = \sqrt{\frac{0,077\ m^3/s}{20\ m/s} * \frac{1}{\pi} * 2} = 0,070\ m$$

$$Diámetro\ de\ la\ tubería = 0,070\ m * 39,37\ \frac{pulg}{m} = 2,763\ pulg$$

De esta forma, consultando la literatura, el diámetro comercial de la tubería es de 3 pulgadas.

$$Diámetro\ de\ la\ tubería = 2,763\ pulg \approx 3\ pulg$$

Recalculando la velocidad, para tener certeza de cumplir con las especificaciones de mantenerla entre 15 y 20 m/s.

$$Velocidad\ condensado = \frac{Q}{\pi * \left(\frac{D_{comercial}}{39,37 * 2}\right)^2} = \frac{0,077\ m^3/s}{\pi * \left(\frac{3\ pulg}{39,37 * 2}\right)^2} = 16,96\ m/s$$

4. Dimensionamiento de tanques colectores de condensado y tubería de retorno a calderas.

En este caso cada tanque colector debe tener capacidad para recolectar los condensados del área respectiva y además se estima un tiempo de retención del agua de 2 horas, esto debido a las condiciones de operación que se manejan en el Plantel.

La siguiente tabla muestra la capacidad de almacenamiento de cada tanque colector y en las figuras 1, 2 y 3 puede observar su ubicación espacial dentro del área de la Refinería.

Tabla 6. Características de tanques colectores del sistema de retorno de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

ID	Colector	Flujo de condensado captado (m ³ /h)	Tiempo de retención (h)	Capacidad (m ³)
T1	1	12,2	2	24
T2	2	17,4	2	35
T3	3	1,5	2	3

En el caso de las tuberías de retorno de agua a calderas, estas se calculan considerando una velocidad del agua de 1,5 m/s. En la siguiente tabla se muestran la longitud aproximada y el diámetro comercial para estas:

Tabla 7. Características de la tubería de retorno del sistema de recuperación de condensados, Plantel de Refinería, RECOPE.

Identificación	Longitud (m)	Diámetro Comercial de Tubería (pulg)
R1	283	1 ½
R2	370	1 ½
R3	96	½