

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA RECUPERACIÓN DE
CONDENSADOS DE LAS UNIDADES U-250 Y U-2000 DEL DEPARTAMENTO
DE REFINACIÓN DE CRUDOS DE LA GRB**

JISED ANDREA GARCÍA BARAJAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA RECUPERACIÓN DE
CONDENSADOS DE LAS UNIDADES U-250 Y U-2000 DEL DEPARTAMENTO
DE REFINACIÓN DE CRUDOS DE LA GRB**

JISED ANDREA GARCÍA BARAJAS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Químico**

Director

FERNANDO VIEJO ABRANTE

Químico, Ph.D

Tutor

JUAN CARLOS ARIAS MOLINA

Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

Dios, quien nunca desamparo mis pasos en esta trayectoria universitaria.

A mis padres Jaime García y Ana Barajas porque han sido mi apoyo incondicional, me han brindado su amor y sus sabios consejos, han sido quienes me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, principios y carácter, son los que me han impulsado por este camino de aprendizaje.

A mis hermanas Anggie y Jeimy por ser parte importante de mi vida, porque junto a ellas he compartido muchas alegrías, porque me han apoyado y han creído en mis capacidades.

A mis familiares pero en especial a mi abuela quien nunca ha dudado en tenderme la mano, ha estado siempre atenta y dispuesta a brindarme su amor, apoyo y consejos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por acompañarme y guiarme, porque ha sido quien me ha fortalecido en los momentos difíciles, ha sido quien me permitido alcanzar este logro, porque todo lo que soy lo debo a él, ya que me ha brindado una vida llena de aprendizajes y sobretodo de felicidad.

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER porque me ha permitido formarme como profesional, en este lugar he vivido momentos de mucha felicidad.

Al Dr. Fernando Viejo y al Ingeniero Juan Carlos Arias, quienes con su conocimiento me ayudaron y orientaron para llevar este proyecto acabo.

A mis compañeros Luz Dary, Marlon, July, Nadia, Fracy, Gina, Alejandro, y Camilo con quienes compartí muchas aventuras, tristezas y alegrías, que finalmente aportaron para mi crecimiento personal y profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. FUNCIONAMIENTO Y PROBLEMÁTICA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LAS UNIDADES TOPPING	18
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. METODOLOGÍA	22
3.1 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS TRAMPAS	22
3.2 CÁLCULO ESTIMADO DEL CAUDAL DE DISEÑO	23
3.3 PLANTEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE ALTERNATIVAS	25
3.4 EVALUACIÓN TÉCNICO- ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS	26
3.4.1 Evaluación técnica	26
3.4.2 Evaluación económica	26
3.5 PLANTEAMIENTO DE RECOMENDACIONES	27
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
4.1 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS TRAMPAS	28
4.2 CÁLCULO ESTIMADO DEL CAUDAL DE DISEÑO	30
4.3 PLANTEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE ALTERNATIVAS	30
4.4 EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS	34
4.4.1 Evaluación técnica	38
4.4.2 Evaluación económica	40

5. CONCLUSIONES	42
6. RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo de la U-250.	16
Figura 2. Manifolds de distribución de vapor y de retorno de condensado.	19
Figura 3. Esquema de la metodología empleada para el desarrollo de la práctica empresarial.	22
Figura 4. Inventario de las trampas de vapor de las unidades U-250 y U-2000.	28
Figura 5. Fotografías tomadas el 5 de enero del 2015 en las que se muestra: a) la fuga de vapor vivo debido a la presencia de un poro en una trampa y b) los charcos formados por la descarga de condensados de la unidad U-2000.	29
Figura 6. Ubicación espacial del tanque de condensados y del sistema de recuperación de condensados de las unidades U-250 y U-2000.	33
Figura 7. Sistema de recuperación de condensados de la unidad U-250.	35
Figura 8. Sistema de recuperación de condensados de la unidad U-2000 parte 1	36
Figura 9. Sistema de recuperación de condensados de la unidad U-2000 parte 2.	37
Figura 10. Velocidad de flujo (azul) versus la velocidad erosional (rojo) para la Alternativa 1 (diámetro nominal de 6"): a) U-250 y b) U-2000.	38
Figura 11. Velocidad de flujo (azul) versus velocidad erosional (rojo) para la Alternativa 2 (diámetro nominal de 4"): a) U-250 y b) U-2000.	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Flujos y caudales de condensado en fase líquida y vapor globales (en kg/h y gpm) determinados para las unidades U-250 y U-2000.	30
Tabla 2. Dimensiones de los cabezales de la unidad U-250 para las alternativas 1 y 2.	32
Tabla 3. Dimensiones de los cabezales de la unidad U-2000 para las alternativas 1 y 2	32
Tabla 4. Máxima contrapresión del sistema de recuperación de condensados de las unidades U-250 y U-2000 para las Alternativas 1 y 2	40
Tabla 5. Resultados del análisis económico realizado para la alternativa 1 en las unidades U-250 y U-2000 con diámetro máximo de 6”.	41
Tabla 6. Resultados del análisis económico realizado para la alternativa 1 en las unidades U-250 y U-2000 con diámetro máximo de 8”.	41

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tablas de interpolación de velocidad de flujo contra presión.	51
Anexo B. Fragmento del inventario y cálculo de flujo de las trampas de la unidad U-250.	52
Anexo C. Fragmento del inventario y cálculo de flujo de los manifolds de la unidad U-250.	53
Anexo D. Trampas de vapor que descargan a un cabezal ubicado en la unidad U-250	54
Anexo E. Ubicación espacial de las trampas de vapor y del cabezal de las unidades topping.	55
Anexo F. Comparación de las velocidades de flujo y erosionales para las alternativas 1 y 2 de las unidades U-250 y U-2000	59
Anexo G. Especificaciones del TRAPMAN	60
Anexo H. Características de los diferentes tipos de trampas de vapor y sus aplicaciones	62

GLOSARIO

CABEZAL: tubería principal que transporta vapor o condensado.

GOLPE DE ARIETE: se origina cuando el condensado es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería y se detiene al impactar con algún obstáculo del sistema.

LINEAS DE TRACEO: son tuberías que transportan vapor y se encargan de calentar las tuberías de procesos e instrumentación.

MANIFOLDS: es un dispositivo que se encuentra conectado a varias tuberías con la finalidad de distribuir el vapor o coleccionar condensados.

TRAMPA DE VAPOR: es un tipo de válvula automática que filtra el condensado sin dejar escapar el vapor.

VAPOR FLASH: se forma cuando se tiene condensado caliente y se libera a una presión más baja, ya que parte del líquido se vuelve a evaporar.

VAPOR VIVO: es el que proviene de la fuga de las líneas de vapor.

VELOCIDAD EROSIONAL: es la velocidad a partir de la cual se presenta corrosión por desgaste de la superficie de las tuberías debido a la abrasión.

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS DE LAS UNIDADES U-250 Y U-2000 DEL DEPARTAMENTO DE REFINACIÓN DE CRUDOS DE LA GRB*

AUTORES: JISED ANDREA GARCÍA BARAJAS**

PALABRAS CLAVES: Trampa, Manifold, Cabezal de recuperación de condensados, cabezal de distribución de vapor, vapor flash.

El trabajo presentado en la práctica empresarial tuvo como propósito realizar un análisis técnico-económico de la implementación de un sistema de recuperación de los condensados de las unidades U-250 y U-2000 del Departamento de Refinación de Crudo de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB).

Para lograrlo, se realizó un inventario de las trampas y se determinó su ubicación en la planta. En total se inventariaron 415 trampas de las cuales 50,6% se encuentran operando correctamente (OP), 30,1% se encuentran operando en falla (OF), 10,6% están fuera de servicio (FS) y del 8,7% de las trampas no se conoce su estado de operación (NCE). Así mismo, se están perdiendo en total 14130,9 kg/h de condensado en fase líquida, y 3625,3 kg/h de vapor flash.

Posteriormente, se plantearon dos alternativas para la recuperación del condensado que se llevaron al ambiente de simulación del software INPLANT 4.3 y, de este modo, se determinó las dimensiones de la tubería para la recuperación de condensados y las velocidades del flujo a través de ella. Finalmente, se compararon los beneficios económicos mediante un análisis conocido como Factor J. Los resultados del análisis técnico permiten concluir que la Alternativa 2 no es adecuada para recuperar los condensados de baja presión porque posee una contrapresión que impide la correcta descarga de las trampas con presiones de trabajo de 35 psig y 50 psig. Además, por medio del análisis económico se concluye que la Alternativa 1 es viable y se debe implementar con un diámetro máximo de tuberías de 8" para evitar problemas de corrosión por las altas velocidades de flujo.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Director. Dr Fernando Viejo Abrante

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL- ECONOMIC ANALYSIS FOR THE RECOVERY OF CONDENSED UNITS U - 250 AND U-2000 DEPARTMENT OF CRUDE REFINING GRB *

AUTHORS: JISED ANDREA GARCÍA BARAJAS**

KEY WORDS: Trap, Manifold, Condensate Recovery head, steam distribution head, flash steam.

The work presented in business practice was to carry out a technical and economic analysis of the implementation of a system for recovering condensate from U-250 and U-2000 units Oil Refining Department of the Barrancabermeja Refinery Management (GRB).

To achieve this, an inventory of the traps was performed and its location is determined on the ground. In total 415 traps from which 50.6% are operating properly (OP), 30.1% are operating in failure (OF), 10.6% are out of service (FS) were inventoried and 8.7 % of trap operating status (NCE) is not known. Also, they are missing altogether 14130.9 kg / h of condensed liquid phase and 3625.3 kg / h of flash steam.

Subsequently, two alternatives for recovery of condensate led to the software simulation environment INPLANT 4.3 and thus the dimensions of the pipe for condensate recovery and dare flow velocities it was determined raised. Finally, the economic benefits were compared using an analysis known as Factor J. The results of the technical analysis allow to conclude that Alternative 2 is not adequate to recover the condensed low pressure because it has a counter that prevents proper trap discharge pressures Working 35 psig and 50 psig. In addition, through economic analysis it concludes that Alternative 1 is feasible and should be implemented with a maximum diameter of pipes 8 "to avoid corrosion problems due to high flow rates.

* Project of gradoe

** Physicochemical faculty of Engineering , School of Chemical Engineering . Director. Dr Fernando Viejo Abrante

INTRODUCCIÓN

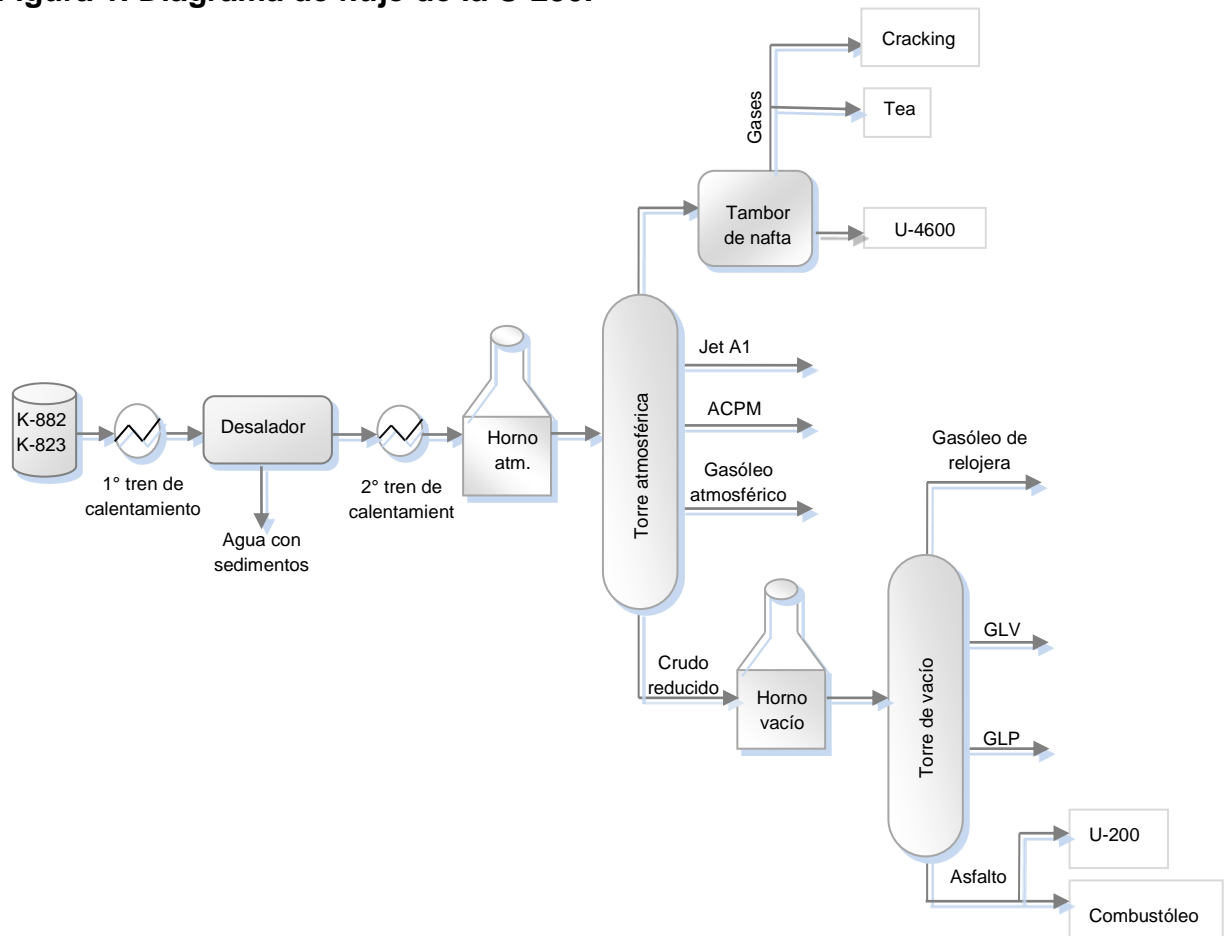
La Refinería de Barrancabermeja ECOPETROL S.A emprendió sus actividades en 1922 con el nombre de Tropical Oil Company, destilando 1.500 barriles por día (BPD) de crudo procedentes del campo La Cira-Infantas. En la actualidad, este complejo abarca 254 hectáreas, tiene 42 unidades y alrededor de 70.000 equipos, empleados en los procesos de refinación y petroquímica. La refinería carga actualmente 250.000 BPD de crudo, abarcando el 98% del mercado nacional de combustible entre gasolina motor, diésel, queroseno, éter, jet-A, avigás, gas propano y combustóleo, además de producir azufre, ceras parafínicas, bases lubricantes, polietileno de baja densidad, aromáticos, asfalto, alquilbenceno, ciclohexano y disolventes alifáticos.

El crudo es extraído principalmente de los campos Apiay, Cusiana, Cupiagua, Caño Limón, Castilla y Rubiales. Después de ser extraído, es almacenado en el Área de Materias Primas y posteriormente enviado al Departamento de Refinación de Crudo. Este último se ocupa de la remoción de impurezas y posterior separación física de las diferentes fracciones que componen el petróleo crudo, con el objetivo de entregar los productos dentro de sus especificaciones de calidad. El Departamento está conformado por cinco unidades “topping” comprendidas por las plantas U-150/130, U-200, U-250, U-2000 y U-2100 y que producen nafta (gasolina), Jet A1, ACPM, gasóleo y asfalto [1].

FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES TOPPING

Las unidades topping permiten obtener los diferentes cortes del crudo por medio de la operación unitaria de destilación en dos secciones: atmosférica y de vacío (ver Figura 1) [1].

Figura 1. Diagrama de flujo de la U-250.



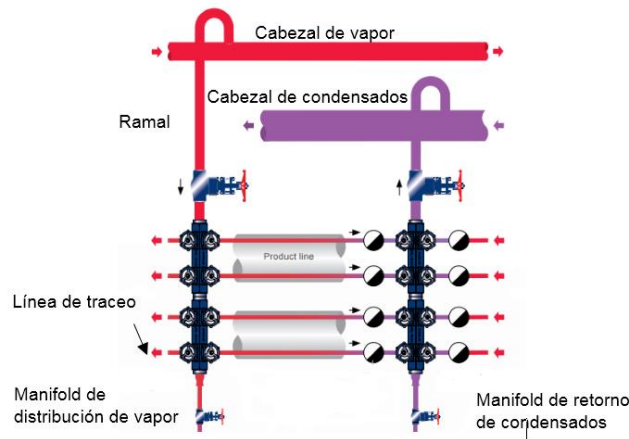
El crudo proveniente de los tanques de casabombas N° 2, K-822 y K-823, se mezcla con agua (2% de la carga) para ingresar a un primer tren de calentamiento, con el objetivo de darle la temperatura óptima (287°F) al crudo antes de la entrada al desalador, donde el agua se sedimenta arrastrando gran parte de las sales que contiene el crudo y que son promotoras de la corrosión en la cima de la torre atmosférica. El crudo se extrae por la parte superior del desalador y se destina al segundo tren de calentamiento que intercambia calor con los reflujo de las torres de destilación para llevarlo a una temperatura de 500°F. Seguidamente, el crudo precalentado es llevado al horno donde se transmite la energía necesaria para vaporizarlo parcialmente y, después, ingresarlo a la torre atmosférica en la zona flash [2-7].

Por el circuito de cima se obtiene nafta que se recolecta en un tambor. Por otro lado, como medios se obtienen Jet A1 y ACPM y, simultáneamente, como corte pesado, se extrae el gasóleo atmosférico y el crudo reducido. El crudo reducido ingresa al horno de vacío por la zona de convección y sale por la de radiación vaporizándose parcialmente y, a continuación, se alimenta a la torre de vacío por la zona de vaporización instantánea. Como producto más liviano se obtiene gasóleo de relojera (mezcla de vapor de agua, gasóleo y gases no condensables) y también se recupera gasóleo liviano de vacío (GLV) y el gasóleo pesado de vacío (GPV) como cortes medios, además de asfalto como producto pesado, destinado a combustóleo o a la unidad U-200.

1. FUNCIONAMIENTO Y PROBLEMÁTICA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LAS UNIDADES TOPPING

Las unidades topping cuentan con sistemas de distribución de vapor que acompañan a las líneas de proceso con el fin de proveer al producto una temperatura adecuada que permita disminuir la viscosidad del mismo. Esto se traduce en una disminución del esfuerzo de los equipos de bombeo, además de evitar la obstrucción de líneas debido al enfriamiento de productos como crudo reducido o asfalto que a temperatura ambiente son prácticamente sólidos. También, el sistema de distribución de vapor es empleado en las unidades para proporcionar vapor de despojo en la torre atmosférica y de vacío, e igualmente es usado como promotor del vacío de la torre del mismo nombre. El vapor es transportado por medio de tuberías de 1", 3/4", 1/2" ó 1/8" conocidas como líneas de traceo y es suministrado por el Departamento de Servicios Industriales. Este servicio llega a cada unidad por medio de tres cabezales para el vapor de alta (400 psig), de media (150 psig) y de baja (50 psig), a partir de los cuales se dividen en ramales que llegan a los manifolds de vapor, formando una red que recorre toda la unidad (Figura 2). El sistema puede lograr temperaturas óptimas en las unidades, lo que permite un máximo intercambio de calor y máximo ahorro energético.

Figura 2. Manifolds de distribución de vapor y de recolección de condensados.



Fuente: Modificado de Spirax sarco, <<Steam tramping overview>>, 2014

Este sistema se ve afectado por la corrosión y los golpes de ariete debido a la presencia del condensado que se forma como producto secundario de la transferencia de calor. Para evitarlo, se instalan trampas de vapor que son válvulas automáticas que abren al condensado, pero cierran en presencia de vapor de agua. Sin embargo, las trampas que hay en las unidades topping no están operando correctamente, ya que algunas descargan vapor vivo y se encuentran disparando al piso. Este hecho trae problemas de seguridad para el personal, ya que pueden sufrir quemaduras por la descarga o caídas al resbalar por causa de los charcos que se forman, debido a que el vapor caliente produce perforaciones en el suelo sobre el cual es descargado. Otro problema que se presenta es el hecho de que el vapor al condensarse llega al sistema de aguas aceitosas provocando un incremento de temperatura de estas aguas y el despojo de vapores tóxicos como H_2S . Además, debido a que las aguas aceitosas son enviadas a la planta de aguas residuales (PTAR), se produce el incremento de temperatura del efluente acarreando problemas legales, ya que la normativa ambiental prohíbe que el agua residual sea descargada a fuentes hídricas a temperaturas mayores de $40^{\circ}C$, por lo que se debe llevar a cabo una etapa de enfriamiento del efluente previo a su descarga.

Como solución se propone que el condensado sea enviado a la caldera mediante un sistema de recuperación, ya que otorga como beneficio la reducción del costo de combustible, debido a que el condensado contiene aproximadamente el 25% de la energía utilizable del vapor, requiriendo menor energía para llevar el agua líquida a vapor. También, se permite alcanzar una reducción del agua de reposición, que a su vez repercute en la disminución de costos por tratamientos químicos y los costos de tratamiento de efluentes, ya que no serán necesarios procesos de enfriamiento para cumplir con la normativa ambiental [8] [9].

Basado en lo anterior, la presente práctica empresarial tuvo como propósito realizar un análisis técnico-económico de la implementación de un sistema de recuperación de los condensados de las unidades topping del Departamento de Refinación de Crudo. Es de aclarar que dicho estudio fue enfocado en las unidades U-250 y U-2000, ya que en la primera unidad se encuentra un cabezal de recolección instalado pero que actualmente está fuera de servicio porque fue mal dimensionado; mientras que, en el caso de la unidad U-2000, no hay trabajos adelantados concernientes a este tema. En las unidades U-150/130, U-200 y U-2100 ya se realizó el estudio [10].

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis técnico-económico de la implementación de un sistema para la recuperación de condensados de las líneas de vapor de las unidades topping U-250 y U-2000 del Departamento de Refinación de Crudo de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar e identificar el estado de las trampas de vapor de las unidades U-250 y U-2000.
- Generar alternativas de sistemas de recuperación de condensados para dichas unidades.
- Realizar una evaluación técnico-económica de las alternativas generadas.
- Plantear recomendaciones para la implementación de un sistema de recuperación de condensados para las unidades topping U-250 y U-2000.

3. METODOLOGÍA

En la figura 3 se encuentra el esquema de la metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo.

Figura 3. Esquema de la metodología empleada para el desarrollo de la práctica empresarial.



3.1 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS TRAMPAS

A través de la inspección se identificaron las trampas y se realizó un inventario de las mismas en el que se clasificaron por marca, modelo, diámetro, tipo de unión, presión de descarga y estado de operación. El diámetro se definió de 1", 3/4", 1/2"

y 1/8"; en el caso del tipo de unión, las trampas se catalogaron por tener unión soldada, bridada o roscada; la presión de operación se clasificó en 400, 150, 50 y 35 psig; para el estado de operación se analizó si la trampa opera adecuadamente(OP); en falla (OF), para lo cual se consideró si el dispositivo se encuentra descargando vapor vivo, tiene un poro, no tiene válvula, o cualquier tipo de falla que impida el correcto funcionamiento del trampa; o si se encuentra fuera de servicio (FS), para lo cual se tuvo en cuenta si la línea estaba desconectada o la válvula de la trampa se encontraba cerrada debido a que la línea a la que calentaba (en el caso de las líneas de traceo) se encontraba fuera de operación. También, se le asignó un número de identificación y se ubicó cada trampa dentro de la planta, reseñándola con su correspondiente numeración con la finalidad de facilitar las acciones de mantenimiento.

También, se realizó un inventario de los manifolds ubicados en la unidad U-250, ya que en esta unidad había un sistema de recolección de condensados, con los respectivos manifolds de distribución de vapor y retorno de condensado.

3.2 CÁLCULO ESTIMADO DEL CAUDAL DE DISEÑO

A continuación, se calculó el caudal estimado de diseño conociendo el número de trampas que había por planta, sus condiciones de operación y modelo. Para lograrlo, se determinó el flujo de condensado expulsado por cada trampa usando las fichas técnicas de las trampas otorgadas por el proveedor [11-24]. Dichos documentos, incluyen la curva de flujo contra presión de descarga, a partir de la cual se obtuvo una tabla de interpolación, empleada para determinar el flujo másico de condensado retirado por las trampas a su presión de trabajo (Anexo A). Dicho flujo se denominó teórico ($M_{teórico}$) en unidades de kg/h. Sin embargo, este valor de flujo equivale a una descarga continua algo que no ocurre en la práctica ya que dentro de la trampa se encuentra una mezcla de líquido y vapor que

repercute en la descarga, es decir, que la trampa descarga sólo el condensado pero, en el instante en donde llegue vapor, ésta se cierra, haciendo su operación intermitente.

Para corregirlo, se emplea un factor llamado porcentaje de apertura (A), que equivale al tiempo que la trampa descarga condensado dividido por el tiempo en el que se toma la muestra, es decir que durante dos minutos se contabilizó el tiempo que la trampa descargaba condensado (ver ecuación (1)). A partir de la multiplicación del flujo másico teórico con el factor A, se obtiene entonces el flujo másico realmente descargado (M_{real}) (ver ecuación (2)).

$$A = \frac{\text{tiempo de descarga}}{\text{tiempo en que se toma la muestra}} \quad \text{Ecuación}$$

(1)

$$M_{real}(kg/h) = M_{teórica} * A \quad \text{Ecuación}$$

(2)

Por otro lado, cabe mencionar que todo el condensado descargado por la trampa no se encuentra en fase líquida ya que parte del condensado presurizado al ser expulsado a la atmósfera (presión inferior) se evapora nuevamente. A esta nueva fase se le conoce con el nombre de “vapor flash”. El porcentaje de vapor flash descargado por cada trampa se determina mediante la ecuación (3) [6].

$$\% \text{ Vapor flash} = \frac{h_{lp1} - h_{lp2}}{h_{vp2} - h_{lp2}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

donde, h_{lp1} = Entalpía específica del condensado a alta presión antes de ser descargado.

h_{lp2} = Entalpía específica del condensado a baja presión a la cual se descargó.

h_{vp2} = Entalpía específica del vapor a la presión de descarga.

Para conocer la cantidad de vapor flash descargado (M_{vapor}) basta multiplicar las ecuaciones (2) y (3) (ver ecuación (4)). Ahora bien, para calcular el flujo final de condensado ($M_{líquido}$) sólo es necesario restar al flujo másico real, el flujo de vapor flash (ver ecuación (5)).

$$M_{vapor}(Kg/h) = M_{real} * (\% \text{ Vapor flash}) \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$M_{líquido}(Kg/h) = M_{real} - M_{vapor} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Finalmente, para determinar el caudal de diseño se realiza la sumatoria del flujo másico del condensado como se muestra en la ecuación (6). Igualmente, se procede para determinar el caudal de condensado en fase vapor realizando la sumatoria de vapor flash descargado como se muestra en la ecuación (7)

$$Q_{líquido}(gpm) = \frac{\sum M_{líquido}}{\rho_{líquido} * 0,22709} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$Q_{vapor}(gpm) = \frac{\sum M_{vapor}}{\rho_{vapor} * 0,22709} \quad \text{Ecuación (7)}$$

donde, $\rho_{líquido}$ es la densidad del agua que equivale a 958,115 kg/m³, medida a presión atmosférica y a la temperatura de saturación. Para el caso del vapor de agua su densidad (ρ_{vapor}) equivale a 0,596 kg/m³ [25] [26].

3.3 PLANTEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE ALTERNATIVAS

Por medio de los inventarios realizados se procedió a plantear las alternativas de sistemas de recuperación del condensado generado en las unidades U-250 y U-2000, considerando “máximo flujo”, es decir, que todas las trampas de vapor presentes en cada unidad descargaban al mismo tiempo. También se consideró que un flujo bifásico “líquido/vapor”, recorre el sistema de tuberías, con el fin de

evitar que el diámetro del cabezal fuera pequeño; como ocurrió con la unidad U-250 en donde el cabezal fue dimensionado considerando que el fluido era totalmente líquido. Cada alternativa se simuló en el software INPLANT 4.3 que permite, mediante la simulación del flujo a través del sistema de tuberías, obtener un conocimiento detallado de la velocidad de flujo en cada sección, los valores de contrapresión producto de la cabeza estática del fluido, la caída de presión debido a la fricción y los accesorios, la máxima velocidad alcanzada por el sistema, y la velocidad a la que el fluido provoca corrosión en cada sección del sistema.

3.4 EVALUACIÓN TÉCNICO- ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

3.4.1 Evaluación técnica Para evaluar las alternativas se empleó como criterio la comparación de las velocidades de flujo con las velocidades máximas erosionales correspondientes a cada sección de tubería, con el fin de buscar la alternativa que permitiera prevenir las elevadas velocidades causantes de la erosión en el sistema. Igualmente, se revisó que las contrapresiones del sistema fueran menores que la presión de descarga de las trampas con el fin de garantizar la adecuada descarga de vapor.

3.4.2 Evaluación económica Se revisaron los beneficios económicos que otorga cada alternativa, calculando el ahorro estimado al implementar el proyecto (R) (Ecuación (8)). Para ello se consideró como ganancias, el ahorro en tratamiento de agua de calderas (C_{ac}), el menor costo por tratamiento del agua residual industrial (C_{ar}), el costo por captación de agua del río Magdalena (C_{am}), además de considerar la energía contenida en el condensado (C_e), ya que se requerirá de menor transferencia de calor para cambiar su fase. El ahorro estimado se analizó en dos situaciones, una considerando el ahorro cuando el proyecto se ha implementado (R_1) y la otra situación cuando el proyecto no se ha implementado (R_2).

Finalmente, se compararon los beneficios económicos mediante un análisis de riesgo financiero, Factor J, que es el principal parámetro para determinar la rentabilidad económica de un proyecto en la etapa de la ingeniería conceptual en la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB). Para ello fue necesario determinar el costo total de la inversión (C_i) en el que se considera el costo de las tuberías, mano de obra y puesta en sitio, englobados en el término C_t ; y el costo por el trabajo al realizar el estudio (C_{ic}) (ecuaciones 9 y 10).

$$R = M_{\text{líquido}} * 8,760 * (C_{ac} + C_{ar} + C_{am} + C_e) [\$/\text{COP/año}] \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$C_i = (C_t + C_{ic}) [\$/\text{COP/año}] \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$\text{Factor J} = \frac{R_1 - R_2}{C_i} \quad \text{Ecuación (10)}$$

3.5 PLANTEAMIENTO DE RECOMENDACIONES

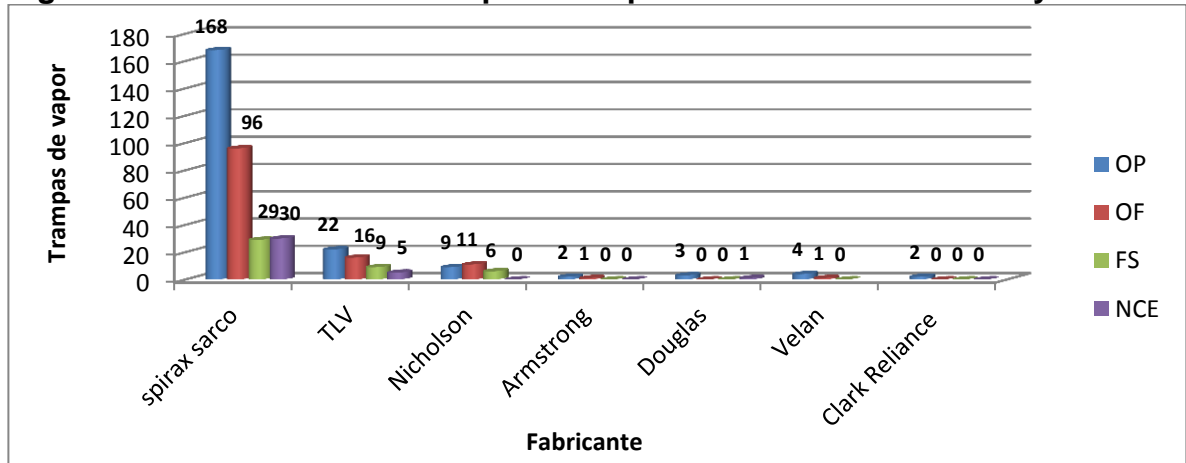
Al concluir el análisis comparativo se procedió a plantear las recomendaciones que permitieran implementar un sistema de recuperación de condensados eficiente, acompañado del beneficio inherente que trae consigo al sistema de distribución de vapor.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS TRAMPAS

En la figura 4 se muestra el inventario de las trampas de vapor de las unidades U-250 y U-2000, clasificadas por fabricante, en donde se describe su estado de operación. En la primera columna de derecha a izquierda se muestra el número de trampas que se encuentran operando correctamente (OP); la segunda representa el número de trampas que están operando en falla (OF); la tercera son las trampas que se encuentran fuera de servicio (FS) y la cuarta columna al número de trampas a las que no se pudo identificar su estado de operación (NCE)¹. Para ver con más detalle el inventario y la numeración de las trampas ver Anexos B y C.

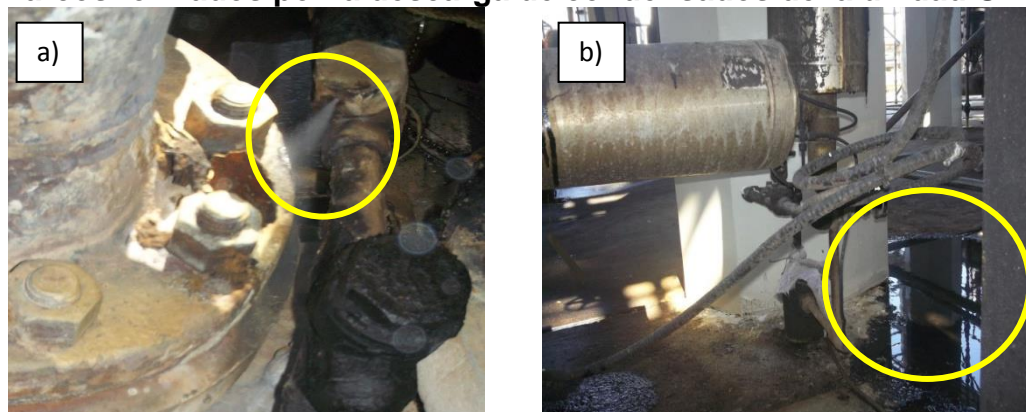
Figura 4. Inventario de las trampas de vapor de las unidades U-250 y U-2000.



¹Dentro de la etapa de clasificación de las trampas hubo algunas de ellas que no se pudieron clasificar debido a que en la unidad U-250 se encontraron dos cabezales pequeños que recolectan parte de los condensados de las trampas de la zona de los hornos (H-253), lo que impidió la identificación del estado de operación de los dispositivos conectados a dichos cabezales (Anexo D).

Mediante el inventario realizado en las unidades U-250 y U-2000 se determinó que hay en servicio 415 trampas de las cuales 50,6% se encuentran operando correctamente (OP), 30,1% se encuentran operando en falla (OF), 10,6% están fuera de servicio (FS) y del 8,7% de las trampas no se conoce su estado de operación (NCE). Entre las fallas en servicio más comúnmente encontradas son las fugas y poros en bridas, en algunas válvulas y en las trampas; también se observó elevada corrosión en algunas líneas de trazo y manifolds de vapor. Como ejemplo, en la figura 5, se muestra una fuga de vapor vivo debido a la presencia de un poro en una trampa y los charcos formados por la descarga de condensados de la unidad U-2000.

Figura 5. Fotografías tomadas el 5 de enero del 2015 en las que se muestra: a) la fuga de vapor vivo debido a la presencia de un poro en una trampa y b) los charcos formados por la descarga de condensados de la unidad U-2000.



El análisis realizado permitió concluir que las trampas se encuentran en malas condiciones debido a varios factores entre los que se destacan la falta de mantenimientos periódicos y seguimiento a las mismas; y el inadecuado análisis de las condiciones de operacionales para la selección de las trampas, ya que existen dieciocho modelos diferentes de siete fabricantes, por lo que el sistema de purga de las líneas de vapor no se encuentra estandarizado. En ese sentido, se instalan aquellas trampas que se encuentran disponibles en la bodega.

4.2 CÁLCULO ESTIMADO DEL CAUDAL DE DISEÑO

Posterior al inventario realizado en las unidades U-250 y U-2000 se procedió a realizar los cálculos de flujo de condensado descargado por cada trampa. Seguidamente, se realizó el cálculo del caudal de condensado en fase líquida y vapor usando las ecuaciones 1-7 (ver sección 3.2 del documento). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Flujos y caudales de condensado en fase líquida y vapor globales (en kg/h y gpm) determinados para las unidades U-250 y U-2000.

Unidades	Flujo másico de líquido total [kg/h]	Caudal de líquido total [gpm]	Flujo másico de vapor total [kg/h]	Caudal de vapor total [gpm]
U-250	6831,2	31,4	1736,1	12827,2
U-2000	7299,7	33,5	1889,2	13958,3
Total	14130,9	64,9	3625,3	26785,5

Como se puede observar en las unidades U-250 y U-2000 se están perdiendo en total 14130,9 kg/h de condensado en fase líquida equivalentes a 64,9 gpm, que son descargados a los sistemas de aguas aceitosas; además se descarga 3625,3 kg/h (26785,5 gpm) de vapor flash a la atmósfera, sin considerar las pérdidas de vapor vivo por causa del mal estado de la trampas. En el Anexo B se encuentra los cálculos de flujo másicos realizados y la cantidad del vapor flash formado por cada trampa.

4.3 PLANTEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las alternativas que se plantearon para las dos unidades U-250 y U-2000 se realizaron con base a estudios previos realizados en la GRB [10]. Las alternativas seleccionadas y llevadas a lenguaje de simulación de IMPLANT 4.3 fueron dos:

- **Alternativa 1. Sistema de tuberías que descargan el condensado a un tanque a presión atmosférica.**

Se consideró un sistema de recuperación de condensados a nivel del banco de tuberías de las plantas y donde el condensado es recolectado en un tanque atmosférico equipado con bombas para su disposición hacia las calderas.

- **Alternativa 2. Sistema de tuberías que descargan el condensado a un tanque presurizado.**

Se planteó trabajar con un cabezal ubicado también a nivel del banco de tuberías de las plantas, que descargue el condensado de las unidades y lo disponga finalmente en un tanque presurizado a 30 psig equipado con bombas para su posterior disposición hacia las calderas. Es de aclarar que para la selección de la presión se tuvo en cuenta que el sistema de recuperación de condensados de la unidad U-250, aunque actualmente no se encuentra en servicio, fue diseñado para manejar una presión de descarga de recolección de 30 psig. Además, en HDT se recolecta el condensado a 50 psig, pero debido a que en las plantas hay algunas trampas que descargan condensado a presiones entre 50 y 35 psig se decidió que la presión del tanque sería de 30 psig [27]. Para ambas alternativas el tanque de recolección se localizaría dentro del área del nuevo desalador D-253 A.

Por medio de la programación se dimensionó el cabezal de recolección de condensados para ambas alternativas. Las tablas 2 y 3 muestran las dimensiones de los cabezales obtenidas de la simulación de las unidades U-250 y U-2000 para ambas alternativas.

Tabla 2. Dimensiones de los cabezales de la unidad U-250 para las alternativas 1 y 2.

Cabezal U-250	Diámetro		Longitud [m]		Longitud total [m]
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 1	Alternativa 2	
CABEZAL PRINCIPAL	2"	1"	19,5	14,3	49,6
	3"	2"	2,1	7,3	
	4"	3"	2,3	2,3	
	6"	4"	31,5	31,5	
CABEZAL DESALADOR (D253A)	1,5"	1,5"	58,2	58,2	58,2
CABEZAL HORNOS	3"	2"	17,3	17,3	71,1
	4"	3"	19,9	19,9	
	6"	4"	33,9	33,9	

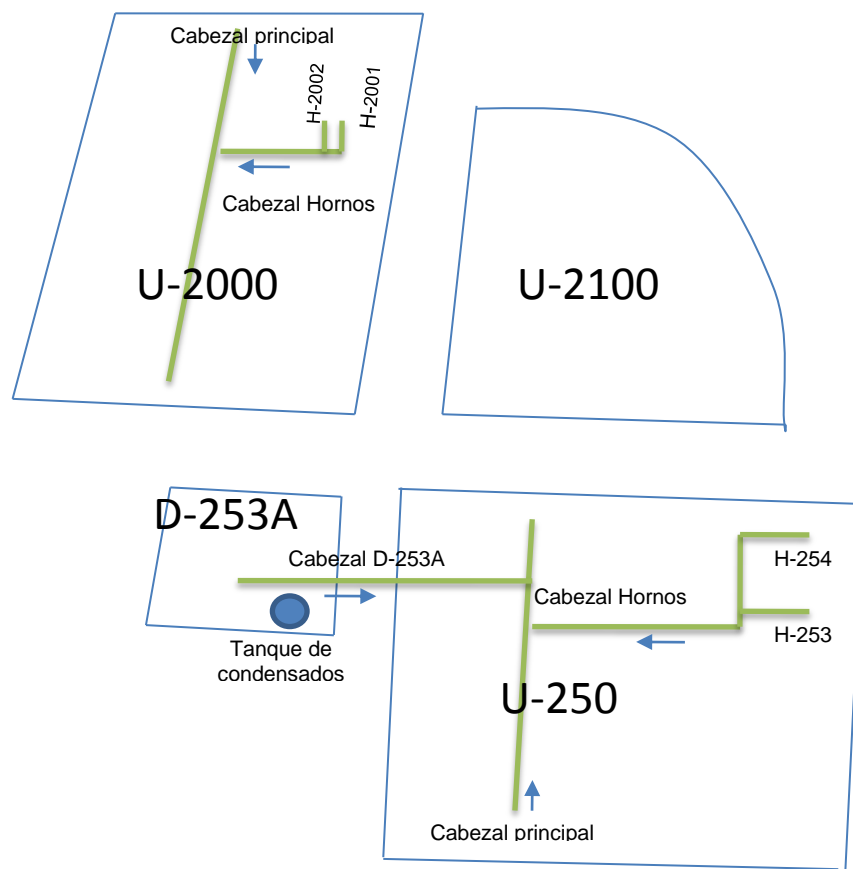
Tabla 3. Dimensiones de los cabezales de la unidad U-2000 para las alternativas 1 y 2

Cabezal U-2000	Diámetro		Longitud [m]		Longitud total [m]
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 1	Alternativa 2	
CABEZAL PRINCIPAL	3"	1"	16,1	3,9	104,6
	4"	2"	12,1	6,3	
	6"	3"	76,3	18,0	
	---	4"	---	76,3	
HORNOS (H-2001 H2002)	1"	1"	4,7	4,7	33,9
	2"	1,5"	7,9	7,9	
	3"	2"	21,4	21,4	

Se puede concluir que el diseño del sistema de recolección de condensados de la unidad U-250 está conformado por un cabezal principal que mide 49,6 m, que tiene como diámetro máximo 6" para la Alternativa 1, y 4" para la Alternativa 2 además de poseer dos cabezales secundarios, uno que recolecta el condensado de los hornos (H-253 y H-254) y el otro que recolecta el condensado del área del desalador nuevo (D-253A), ya que esta zona se encuentra distanciada de la planta (ver figura 6). En el caso de la unidad U-2000, el sistema de recuperación de condensado está conformado por una cabezal principal de longitud de 104,6 m, y diámetro máximo de 6" para la Alternativa 1, y 4" para la Alternativa 2. Este cuenta

con un cabezal secundario que tiene como finalidad recolectar el condensado de los hornos (H-2001 y H-2002) (ver anexo E). Es de aclarar que para las dos unidades en el caso de la Alternativa 1 se seleccionó un diámetro de 6" como valor inicial de acuerdo a la recomendación realizada por parte del personal encargado del Departamento de Refinación de Crudo; mientras que para la Alternativa 2 se seleccionó de 4" ya que el flujo de condensado en fase líquida será mayor debido a que este cabezal está sometido a mayor presión, por consiguiente se requerirá una tubería de menor diámetro.

Figura 6. Ubicación espacial del tanque de condensados y del sistema de recuperación de condensados de las unidades U-250 y U-2000.



4.4 EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

Las alternativas fueron llevadas a la interfaz del simulador INPLANT 4,3 que permite diseñar sistemas de tuberías y describir las características hidráulicas de los sistemas (ver figuras 7-9). Cabe recordar que para la simulación se consideró flujo bifásico líquido-vapor y el máximo flujo de condensado, que representa que todas las trampas descargan al mismo instante (ver sección 3.4.1). Finalmente, con la simulación se obtuvo la velocidad de flujo en cada tramo de tubería y la velocidad erosional, además de las contrapresiones máximas a las que las trampas serían sometidas.

Figura 7. Sistema de recuperación de condensados de la unidad U-250.

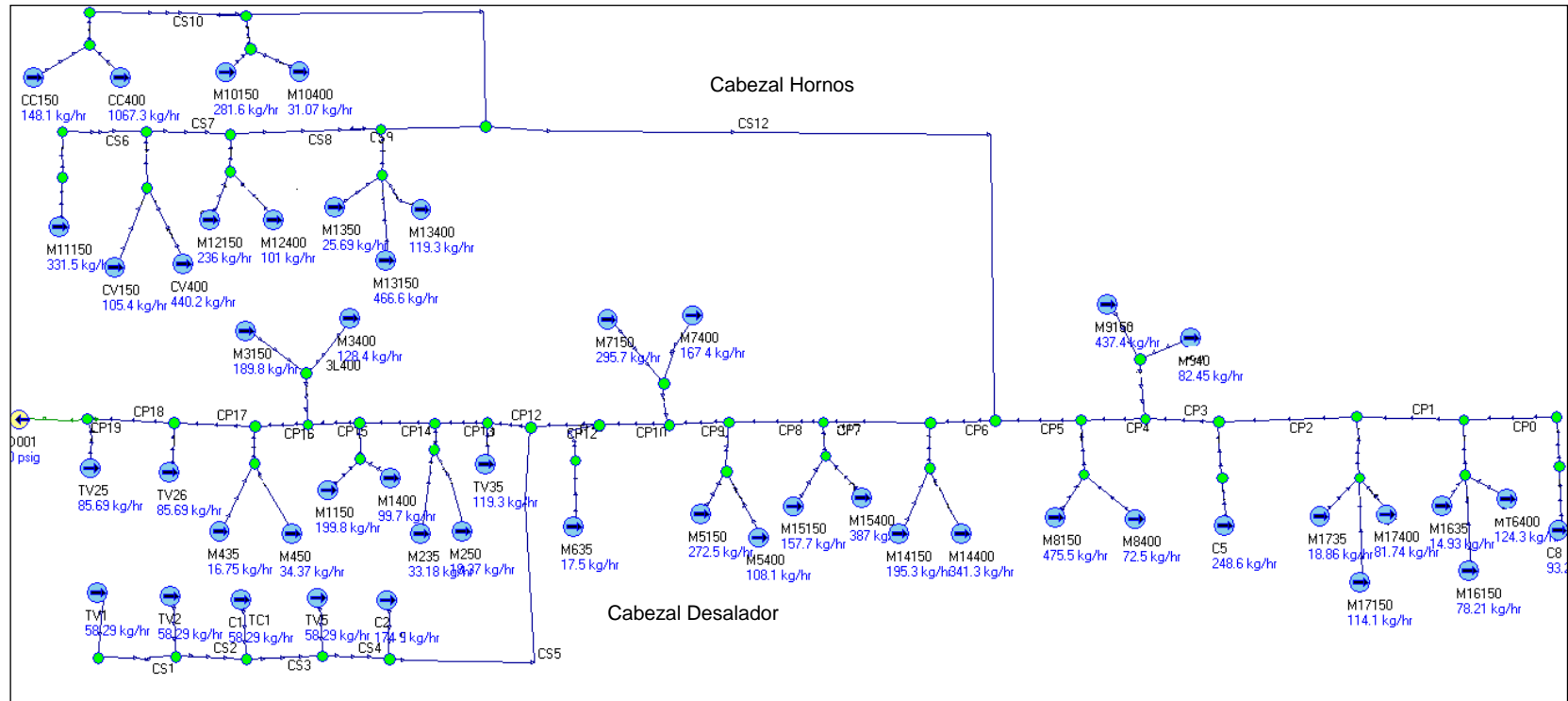


Figura 8. Sistema de recuperación de condensados de la unidad U-2000 parte 1

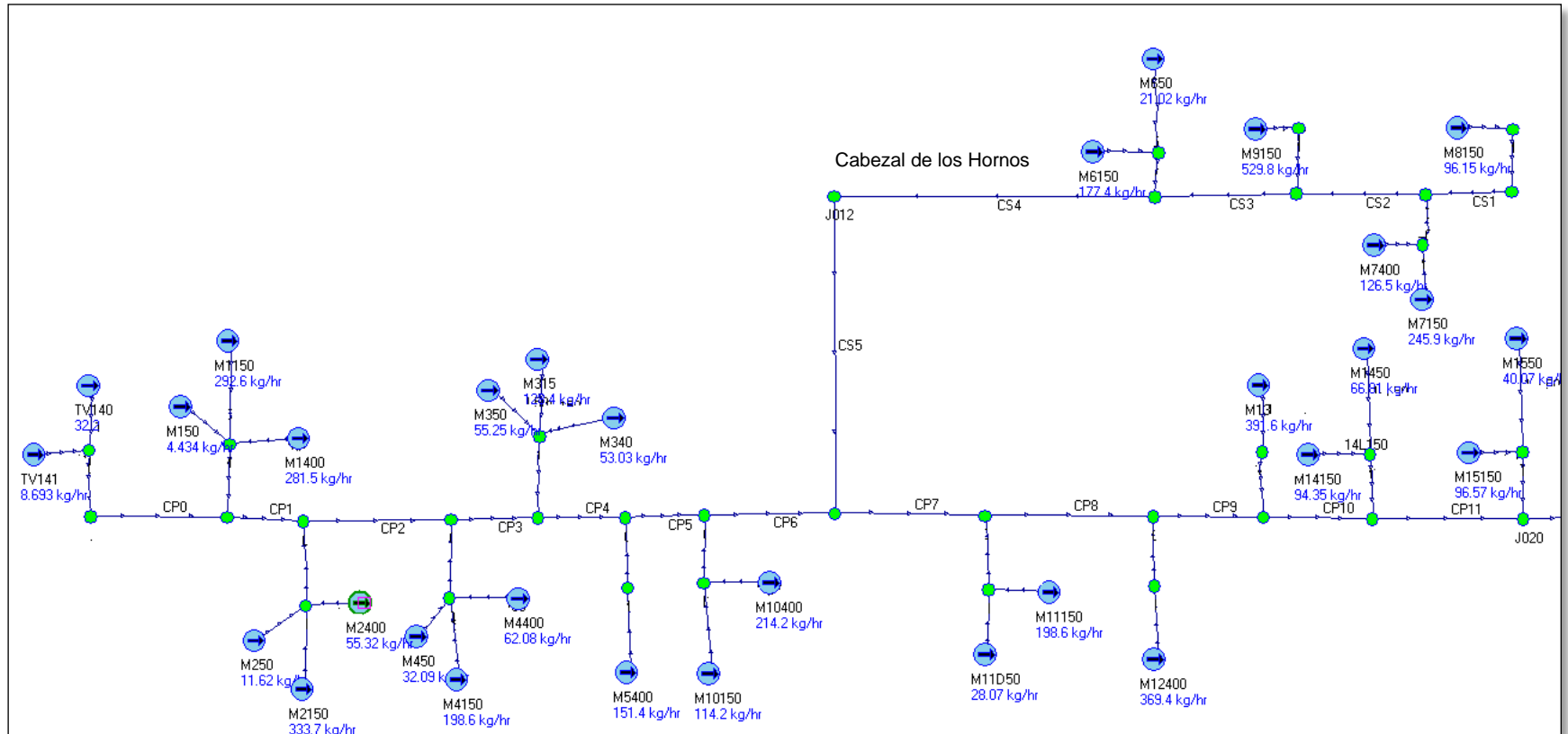
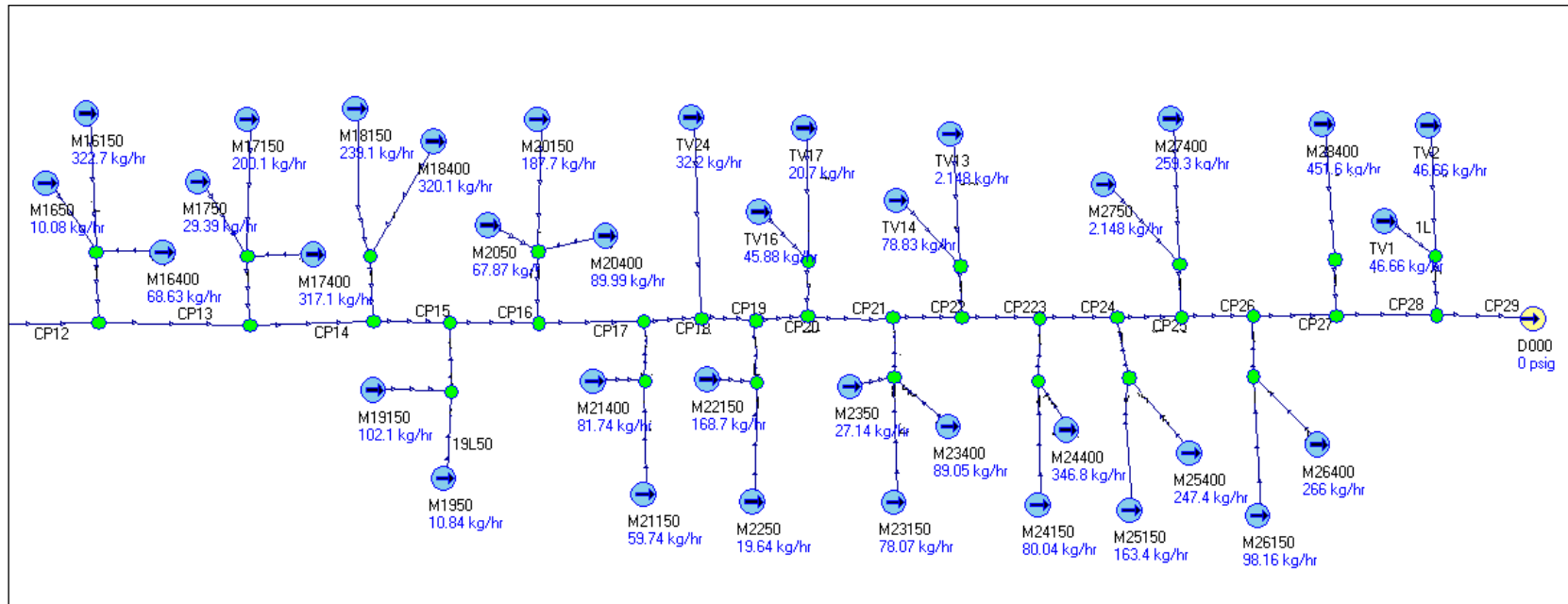
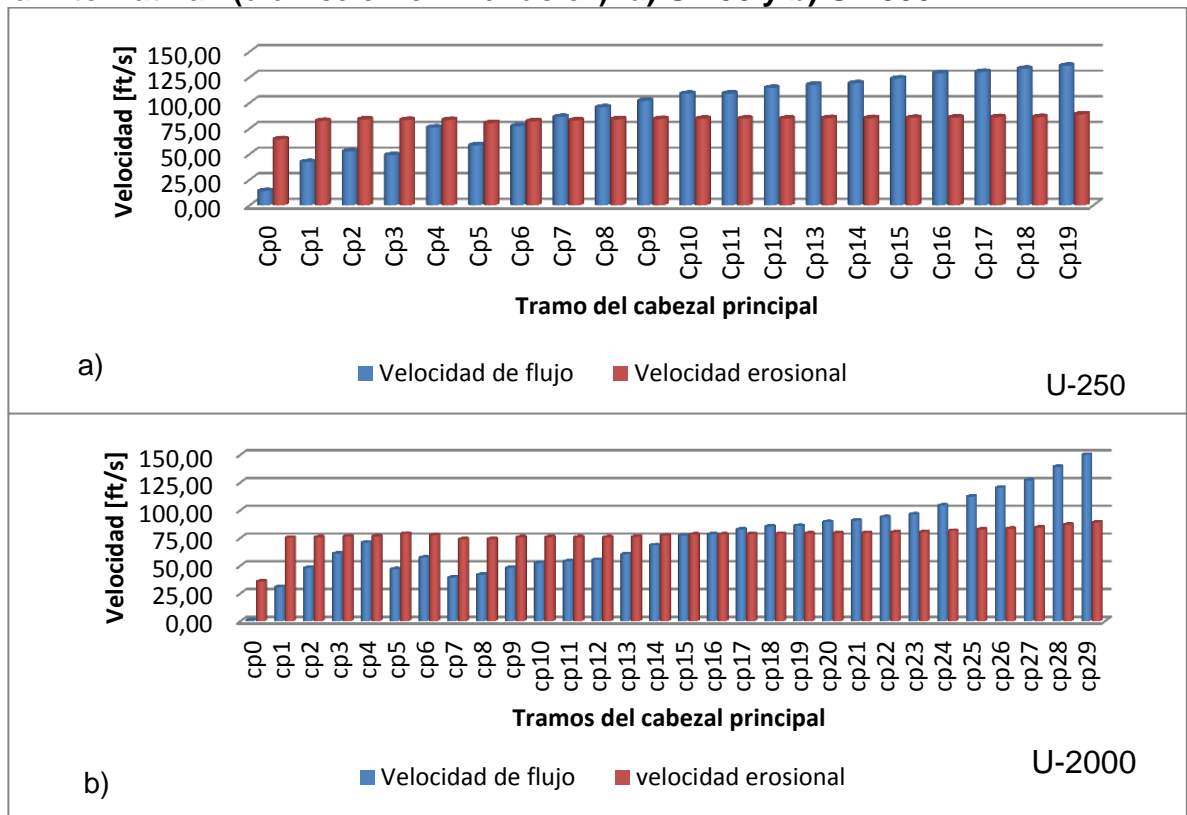


Figura 9. Sistema de recuperación de condensados de la unidad U-2000 parte 2.



4.4.1 Evaluación técnica En las figuras 10 y 11 se puede observar las velocidades a la que transcurre el fluido por los tramos de tuberías del cabezal principal² (azul) y la velocidad erosional (rojo). En el eje x de las figuras se encuentra el tramo de tubería a analizar al que se le asignó las siglas de Cp que significan cabezal principal.

Figura 10. Velocidad de flujo (azul) versus la velocidad erosional (rojo) para la Alternativa 1 (diámetro nominal de 6''): a) U-250 y b) U-2000.

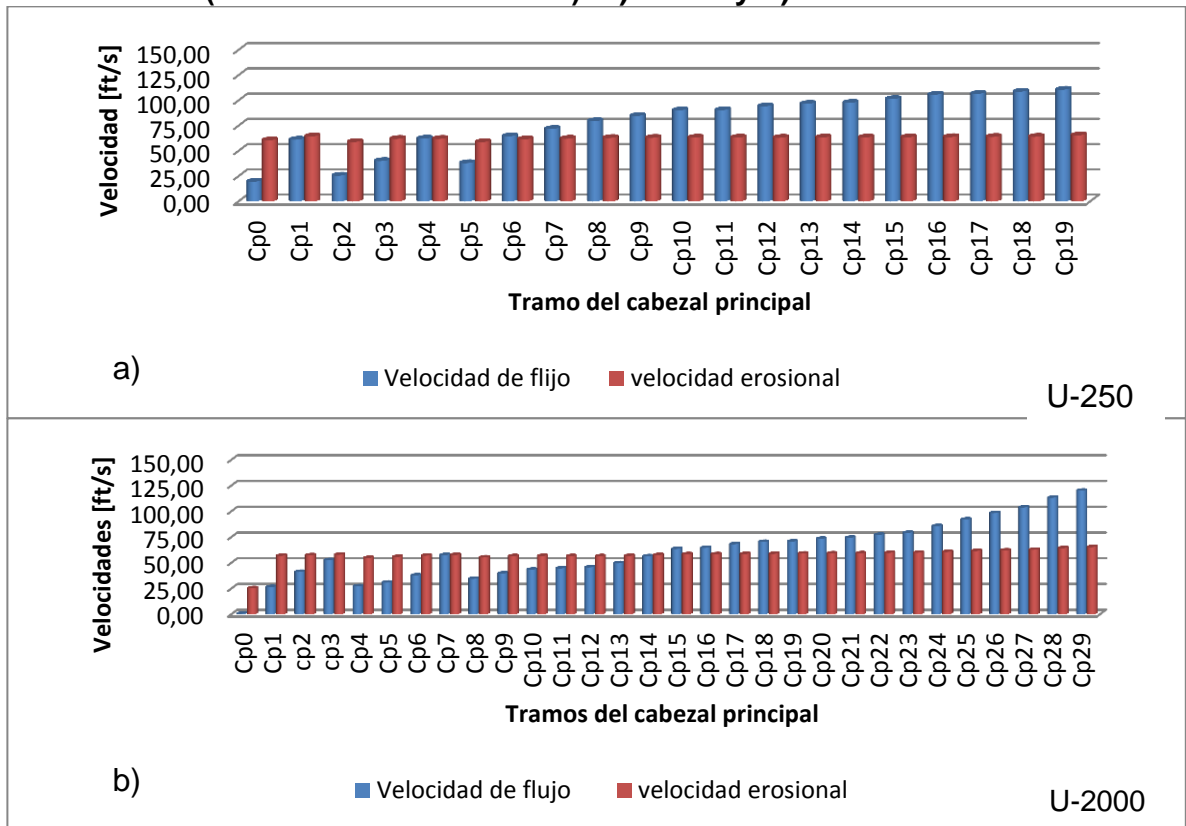


En base a los resultados obtenidos se puede ver que, en ambos casos, la velocidad del flujo supera los límites de la velocidad erosional, lo que indica que a futuro el cabezal sufrirá problemas de corrosión en el interior de la tubería. Sin embargo, debido a que se asumió flujo máximo de condensado, se está realizando

² En el análisis técnico-económico se dio prioridad al cabezal principal debido a que es el cabezal más costoso y que presenta problemas de altas velocidades de flujo. Sin embargo se realizó el análisis de velocidad y de contrapresión de los cabezales del desalador y los hornos que se incluyen en el (Anexo F).

un sobredimensionamiento del cabezal, ya que el flujo será menor en la realidad, lo que hace que esta probabilidad disminuya, aunque sigue existiendo. Por otro lado, las contrapresiones máximas presentes en los sistemas de recuperación de condensados se muestran en la tabla 4.

Figura 11. Velocidad de flujo (azul) versus velocidad erosional (rojo) para la Alternativa 2 (diámetro nominal de 4''): a) U-250 y b) U-2000.



Se puede observar que las contrapresiones presentes en la Alternativa 1 para las unidades estudiadas son relativamente bajas con respecto a la presión de descarga de las trampas de 35 y 50 psig, por lo que no se presenta ningún impedimento para la descarga del condensado. Sin embargo, en el caso de la Alternativa 2, tanto para la unidad U-250 como para la unidad U-2000, las contrapresiones máximas superan 45 psig, lo que implica que en la unidad U-250 las trampas que descargan condensados a presión de 35 psig no podrán

descargar. En el caso de la unidad U-2000, los resultados indican que, aunque no hay presencia de trampas de 35 psig, las trampas de 50 psig tendrán problemas al descargar el condensado ya que la diferencia de presión (presión de descarga menos la contrapresión) es considerablemente pequeña. Por esta razón, se descarta la Alternativa 2 para recuperar los condensados de las unidades U-250 y U-2000.

Tabla 4. Máxima contrapresión del sistema de recuperación de condensados de las unidades U-250 y U-2000 para las Alternativas 1 y 2

Unidades	Alternativa 1 [psig]	Alternativa 2 [psig]
U-250	4,87	46,73
U-2000	9,57	45,90

4.4.2 Evaluación económica Para realizar el análisis económico se recurrió a la relación beneficio/costo conocida como factor J^3 (ver sección 3.4.2), que se calcula considerando los beneficios obtenidos al implementar el proyecto (R_1) y al no hacerlo (R_2). En este caso, es de destacar que el Departamento de Refinación de Crudo no está obteniendo beneficios al no recolectar los condensados, razón por la cual R_2 toma el valor de cero. También se consideraron los costos de inversión para la implementación de cada alternativa (C_i), costos que incluyen los precios de las tuberías y mano de obra para su instalación, que se calcularon empleando los paramétricos de costos propios de Ecopetrol que se basan en la información histórica de contratos ejecutados.

En las tablas 5 y 6 se presentan los valores de R_1, C_i y del factor J calculados para la alternativa 1 para las unidades U-250 y U-2000. Es de aclarar que debido a que las velocidades de flujo superaban las erosionales, se realizó el cálculo del factor J considerando la Alternativa 1 cuyo diámetro del cabezal es de 6", y adicionalmente se determinó para un diámetro de 8" con objeto de evitar el problema mencionado.

³ Para el cálculo del factor J se tuvo en cuenta el costo del cabezal principal y los cabezales secundarios.

Tabla 5. Resultados del análisis económico realizado para la alternativa 1 en las unidades U-250 y U-2000 con diámetro máximo de 6”.

Unidad	R1 [COP]	Ci [COP]	Facto J
U-250	599'991.350	310'643.708	1,93
U-2000	646'379.813	338'614.957	1,91

Tabla 6. Resultados del análisis económico realizado para la alternativa 1 en las unidades U-250 y U-2000 con diámetro máximo de 8”.

Unidad	R1 [COP]	Ci [COP]	Facto J
U-250	599'991.350	332'394.340	1,80
U-2000	646'379.813	358'818.792	1,80

Se puede observar que el factor J para la Alternativa 1 con diámetro del cabezal de 6” es mayor que para la misma alternativa pero con diámetro de 8”, esto se debe a que el costo de inversión en el caso del cabezal de 8. Si se comparan los costos de los cabezales con diámetro máximo de 6” y de 8” la diferencia en inversión estructural es de alrededor de 20 millones [COP], razón por la cual es recomendable usar la alternativa con diámetro máximo de 8”, debido a que tendrá una vida útil más prolongada a comparación de la alternativa que emplea el diámetro de 6”, ya que esta última tiene alta probabilidad de presentar erosión y se requerirá un constante monitoreo y mantenimiento.

5. CONCLUSIONES

Del análisis del estado actual de las trampas de vapor de las unidades U-250 y U-2000 de la GRB se concluyó que:

- Existen 18 modelos diferentes de trampas de vapor que pertenecen a 7 fabricantes, lo que indica que el sistema de purga de las líneas de vapor no se encuentra estandarizado.
- En la actualidad hay 415 trampas en dichas unidades, de las cuales 30,1% se encuentran operando en falla y 10,6% están fuera de servicio. Esto indica que el sistema de vapor no es eficiente, ya que no se está drenando todo el condensado de las líneas y se presentan pérdidas de vapor vivo por medio de las trampas que se encuentran operando en falla.
- Debido a que el Departamento de Refinación de Crudo no posee un sistema de recuperación de condensados en las unidades estudiadas, actualmente se descargan de las líneas de vapor 14130,9 kg/h de condensado líquido al sistema de aguas aceitosas y 3625,3 kg/h de vapor flash son liberados a la atmósfera.
- La alternativa seleccionada para recuperar los condensados de las unidades U-250 y U-2000 es la Alternativa 1, debido a que la Alternativa 2 presenta una contrapresión máxima superior a los 45 psig lo que impediría que las trampas que trabajan con una presión de 35 psig no podrán descargar condensado y las de 50 psig tendrán dificultades para hacerlo.

6. RECOMENDACIONES

Como resultado de la evaluación técnico-económica se recomienda:

- Implementar la Alternativa 1 con un diámetro máximo del cabezal de 8" en lugar de 6" para evitar daños por corrosión en las tuberías causados por las altas velocidades de flujo.
- A continuación se presentan otras recomendaciones adicionales para tener un sistema de descarga y recolección de condensados en buenas condiciones:
- Realizar una verificación del estado de las trampas usando equipos especializados que combinen los métodos de inspección por ultrasonido y por temperatura, con objeto de realizar un diagnóstico fiable [28]. Por esta razón, se recomienda usar el dispositivo conocido como TRAPMAN que es fácil de usar y de transportar (Anexo G).
- Estandarizar los tipos de trampas ubicados en los sistemas de vapor y realizar rondas mensuales de verificación para tener un control del estado de los dispositivos. Para esto es necesario tener en cuenta las características de los purgadores que se encuentra en el Anexo H.
- Realizar un correcto aislamiento que implique: i) aislar los manifolds y ii) aislar las trampas termodinámicas (mediante una tapa aislante) y las mecánicas (mediante tela aislante) para evitar las pérdidas energéticas.
- Usar trampas con filtros incluidos o instalar filtros antes de las trampas para evitar que éstas se vean afectadas debido a la acumulación de partículas como herrumbre en el interior de las mismas, provocando fugas porque no hay un correcto sellado de la válvula.
- De manera adicional, se recomienda que para las líneas de trazo de vapor, se utilicen diámetros iguales o mayores a 3/4" para evitar las altas velocidades de flujo y, de este modo, evitar la erosión de las líneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ecopetrol S.A. Manual de inducción: Departamento de Refinación de Crudos. Barrancabermeja, Colombia. 2012. 57p
- [2] Ecopetrol S.A. Manual de descripción de procesos de la Unidad Crudo U-250. Barrancabermeja, Colombia. 2013. 399p
- [3] Ecopetrol S.A. Manual de descripción de procesos de la Unidad Crudo U-2000. Barrancabermeja, Colombia. 2013. 447p.
- [4] Ecopetrol S.A. Diagrama grande de control: Planta TOPPING 250. Barrancabermeja, Colombia.
- [5] Ecopetrol S.A. Diagrama grande de control: Planta TOPPING 2000. Barrancabermeja, Colombia.
- [6] FOSTER WHEELER USA CORPORATION. Crude and vacuum Distillation Unit U-250: Utilities planimetric layout - steam system.
- [7] FOSTER WHEELER USA CORPORATION. Crude and vacuum Distillation Unit U-200: Utilities planimetric layout - steam system.
- [8] Ente regional de Castilla y León. Manual técnico diseño y calculo de redes de vapor, Castilla y León: I. Sorles. León, España. 2010. 131p.
- [9] TLV. Introduction to condensate recovery [en línea]. <<http://www.tlv.com/global/TI/steam-theory/introduction-to-condensate-recovery.html>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [10] ALVAREZ, Erick. Elaboración de alternativas para el diseño de un sistema de recuperación de condensado para las unidades topping del Departamento de Refinación de Crudo de la GRB. Trabajo de grado ingeniero Químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico Quimica, 2015. 66 p.

- [11] ARMSTRONG. Trampas de vapor y equipos para trazas de vapor [en línea]. <<https://www.armstronginternational.com/node/365524>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [12] DOUGLAS. Thermodynamic steam traps DC50 A105 [en línea]. <http://www.douglas-italia.com/Thermodynamics_trap/ThermoDynamic6.html> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [13] NICHOLSON. Steam traps & specialties designer's guide [en línea]. <<http://www.mmcontrol.com/NicholsonLit.php>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [14] SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TD42 [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD42>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [15] SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TD42L /H [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD42L>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [16] SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TD52, TDS52 y TDS52LC [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TDS52>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [17] SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TDC [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TDC>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [18] TLV. Thermodyne steam trap P46SR [en línea]. <<http://www.globalvalves.com.au/steam/p46sr.pdf>> [Citado en 24 de febrero de 2015]
- [19] TLV. Trampa de vapor powerdyne P46SRN, P46SRM y P46SRW [en línea]: <http://www.tlv.com/global_pdf/tla/l-p46rn-hp.pdf> [Citado en 24 de febrero de 2015]

- [20] Spirax_Sarco. Purgador termodinámico para vapor TD32F [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD32F>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [21] Spirax_Sarco. Purgador termodinámico para vapor TD42S2 [en línea].<<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD42S2>> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [22] TLV. Thermodyne steam tramp A46S [en línea]. <http://www.tlv.com/global_pdf/archived-documents/e-a46s0-hp.pdf> [Citado en 24 de febrero de 2015]
- [23] TLV. Trampa termostática de presión balanceada L21S [en línea]. <http://www.tlv.com/global_pdf/tla/l-l21s0-hp.pdf> [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [24] TLV. Trampa de vapor powerdyne P21S [en línea].< http://www.tlv.com/global_pdf/tla/l-p21sc-hp.pdf > [Citado en 24 de febrero de 2015].
- [25] La Guía MetAs: Densidad del agua. Jalisco. Junio, 2010.
- [26] Universidad del país vasco. Densidad de sustancias comunes [en línea] <http://www.ehu.eus/rperez/Fisicabio/docs/densidad_visco.pdf> [citado en 02 de julio de 2015].
- [27] ECOPETROL S.A. P&ID Cabezal de condensados unidad Prime G
- [28] TLV. Una Guía para la inspección de trampas de vapor [en línea] <<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/steam-trap-test.html>> [Citado en 13 de febrero de 2015].

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, Erick. Elaboración de alternativas para el diseño de un sistema de recuperación de condensado para las unidades topping del Departamento de Refinación de Crudo de la GRB. Trabajo de grado ingeniero Químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico Quimica, 2015. 66 p.

ARMSTRONG. Trampas de vapor y equipos para trazas de vapor [en línea]. <<https://www.armstronginternational.com/node/365524>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

DOUGLAS. Thermodynamic steam traps DC50 A105 [en línea]. <http://www.douglas-italia.com/Thermodynamics_trap/ThermoDynamic6.html> [Citado en 24 de febrero de 2015].

ECOPETROL S.A. Diagrama grande de control: Planta TOPPING 2000. Barrancabermeja, Colombia.

ECOPETROL S.A. Diagrama grande de control: Planta TOPPING 250. Barrancabermeja, Colombia.

ECOPETROL S.A. Manual de descripción de procesos de la Unidad Crudo U-250. Barrancabermeja, Colombia. 2013. 399p

ECOPETROL S.A. Manual de descripción de procesos de la Unidad Crudo U-2000. Barrancabermeja, Colombia. 2013. 447p.

ECOPETROL S.A. Manual de inducción: Departamento de Refinación de Crudos. Barrancabermeja, Colombia. 2012. 57p

ECOPETROL S.A. P&ID Cabezal de condensados unidad Prime G

ENTE REGIONAL DE CASTILLA Y LEÓN. Manual técnico diseño y calculo de redes de vapor, Castilla y León: I. Sorles. León, España. 2010. 131p.

FOSTER WHEELER USA CORPORATION. Crude and vacuum Distillation Unit U-250: Utilities planimetric layout - steam system.

FOSTER WHEELER USA CORPORATION. Crude and vacuum Distillation Unit U-200: Utilities planimetric layout - steam system.

LA GUÍA METAS: Densidad del agua. Jalisco. Junio, 2010.

NICHOLSON. Steam traps & specialties designer's guide [en línea]. <<http://www.mmcontrol.com/NicholsonLit.php>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

Spirax_Sarco. Purgador termodinámico para vapor TD32F [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD32F>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TD42 [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD42>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TD42L /H [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD42L>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

Spirax_Sarco. Purgador termodinámico para vapor TD42S2 [en línea].<<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TD42S2>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TD52, TDS52 y TDS52LC [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TDS52>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

SPIRAX_SARCO. Purgador termodinámico para vapor TDC [en línea]. <<http://www.spiraxsarco.com/search/pages/Results.aspx?k=TDC>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

TLV. Introduction to condensate recovery [en línea]. <<http://www.tlv.com/global/TL/steam-theory/introduction-to-condensate-recovery.html>> [Citado en 24 de febrero de 2015].

TLV. Thermodyne steam tramp A46S [en línea]. <http://www.tlv.com/global_pdf/archived-documents/e-a46s0-hp.pdf> [Citado en 24 de febrero de 2015]

TLV. Thermodyne steam trap P46SR [en línea].<<http://www.globalvalves.com.au/steam/p46sr.pdf>> [Citado en 24 de febrero de 2015]

TLV. Trampa de vapor powerdyne P21S [en línea].<http://www.tlv.com/global_pdf/tla/l-p21sc-hp.pdf> [Citado en 24 de febrero de 2015].

TLV. Trampa de vapor powerdyne P46SRN, P46SRM y P46SRW [en línea]: http://www.tlv.com/global_pdf/tla/l-p46rn-hp.pdf [Citado en 24 de febrero de 2015]

TLV. Trampa termostática de presión balanceada L21S [en línea].
<http://www.tlv.com/global_pdf/tla/l-l21s0-hp.pdf> [Citado en 24 de febrero de 2015].

TLV. Una Guía para la inspección de trampas de vapor [en línea]
<<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/steam-trap-test.html>> [Citado en 13 de febrero de 2015].

Universidad del país vasco. Densidad de sustancias comunes [en línea]
<http://www.ehu.eus/rperez/Fisicabio/docs/densidad_visco.pdf> [citado en 02 de julio de 2015].

ANEXOS

Anexo A. Tablas de interpolación de velocidad de flujo contra presión.

TD42H				TDC				TDS52			
3/4		1/2		3/4		1/2		3/4		1/2	
Y [kg/h]	X [kg/cm ²]	Y [kg/h]	X [kg/cm ²]	X [kg/h]	Y [kg/cm ²]	X [Kg/h]	Y [kg/cm ²]	X [kg/h]	Y [kg/cm ²]	X [kg/h]	Y [kg/cm ²]
383.33	2.04	195.56	2.04	190.51	0.35	140.61	0.35	247.62	2.27	152.38	2.21
433.33	3.06	234.62	3.06	213.19	0.70	156.49	0.70	433.68	5.00	237.89	5.00
460.00	3.57	253.85	3.57	254.01	1.41	185.97	1.41	623.16	10.00	368.42	10.00
690.00	10.00	446.67	10.00	290.30	2.11	210.92	2.11	780.95	15.00	492.63	15.00
711.11	11.22	466.67	11.22	367.41	3.52	260.82	3.52	926.32	20.00	581.47	20.00
857.14	20.00	610.00	20.00	526.17	7.03	367.41	7.03	1031.58	25.00	675.79	25.00
914.29	25.00	660.00	25.00	657.71	10.55	453.59	10.55	1138.95	30.00	746.95	30.00
942.86	30.00	700.00	30.00	757.50	14.06	517.10	14.06			820.63	35.00
985.71	35.00	755.56	35.00	861.83	17.58	576.06	17.58			856.84	40.00
				952.54	21.09	639.57	21.09				
				1020.58	24.61	694.00	24.61				
				1102.23	28.12	739.36	28.12				

Anexo B. Fragmento del inventario y cálculo de flujo de las trampas de la unidad U-250.

No.	Marca	Modelo	Diámetro	Tipo Unión	Aislada	Presión (PSIG)	Estado	Descarga (kg/h)	Vapor flash (kg/h)
1	Spirax Sarco	TD42H	3/4	Bridada	Si	150	OP	58,29	9,52
2	Spirax Sarco	TD42H	3/4	Bridada	Si	150	OP	58,29	9,52
5	Spirax Sarco	TD42H	3/4	Bridada	Si	150	OP	58,29	9,52
6				Bridada	No	0	FS	0	0
7	Spirax Sarco	TDC	3/4	Roscada	No	150	FS	43,85	7,16
8	Spirax Sarco	TDC	3/4	Roscada	No	150	OP	43,85	7,16
9	Spirax_Sarco	TDC	3/4	Roscada	No	50	OP	18,37	1,65
11	Spirax_Sarco	TDS52	1/2	Soldada	No	150	OF	34,12	5,58
12	Spirax_Sarco	TDC	1/2	Roscada	No	400	OP	18,48	4,73
13	TLV	P46SR	1/2	Soldada	No	150	OP	74,53	12,18
14	TLV	P46SR	1/2	Soldada	No	150	OP	74,53	12,18
15	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	Si	150	OP	58,29	9,52
16	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	No	150	OP	58,29	9,52
17	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	No	400	OP	31,07	7,94
18	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	No	400	OP	31,07	7,94
19	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	No	150	FS	58,29	9,52
20	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	No	150	FS	58,29	9,52

Anexo C. Fragmento del inventario y cálculo de flujo de los manifolds de la unidad U-250.

INVENTARIO DE LOS MANIFOLDS DE LA UNIDAD U-250										
No.	Servicio	Marca	Modelo	Diámetro	Tipo Unión	Aislada	Presión (PSIG)	Estado	Descarga (kg/h)	Vapor flash (kg/h)
C1	Manifold de suministro de vapor	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Bridada	Si	150	OP	58,29	9,52
C2	Manifold de retorno de condensado	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Bridada	Si	150	OP	174,86	28,57
C3	Manifold de suministro de vapor	Spirax_Sarco	TDS52	3/4	Soldada	No	150	OF	64,04	10,46
C4	Manifold de suministro de vapor	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	Si	400	OP	31,07	7,94
C5	Manifold de retorno de condensado	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	Soldada	Si	400	OP	248,56	63,55
C6	Manifold suministro de vapor	Spirax_Sarco	TDS52	1/2	Soldada	No	150	FS	34,12	5,58
C7	Manifold de suministro de vapor	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	soldada	No	400	OP	31,07	7,94
C8	Manifold de retorno de condensado	Spirax_Sarco	TD42H	3/4	soldada	Si	400	OP	93,21	23,83
C9	Manifold de suministro de vapor	Spirax_Sarco	TDS52	1/2	Soldada	No	150	OF	34,12	5,58
C10	Manifold de retorno de condensado	TLV	A46S	3/4	Soldada	No	150	FS	0	0
C11	Manifold de suministro de vapor	Spirax_Sarco	TD42S2	1/2	Soldada	No	400	OF	54,01	13,81
C12	Manifold de suministro de vapor	TLV	P46SRN	3/4	Soldada	No	400	OP	46,66	11,93
C13	Manifold de suministro de vapor	Spirax_Sarco	TD42S2	1/2	Soldada	No	150	OP	27,34	4,47
C14	Manifold de retorno de condensado	Spirax_Sarco	TD42S2	1/2	Soldada	No	400		54,01	13,81
C15	Manifold de suministro de vapor	TLV	P46SRN	3/4	Soldada	No	400		46,66	11,93

Anexo D. Trampas de vapor que descargan a un cabezal ubicado en la unidad U-250

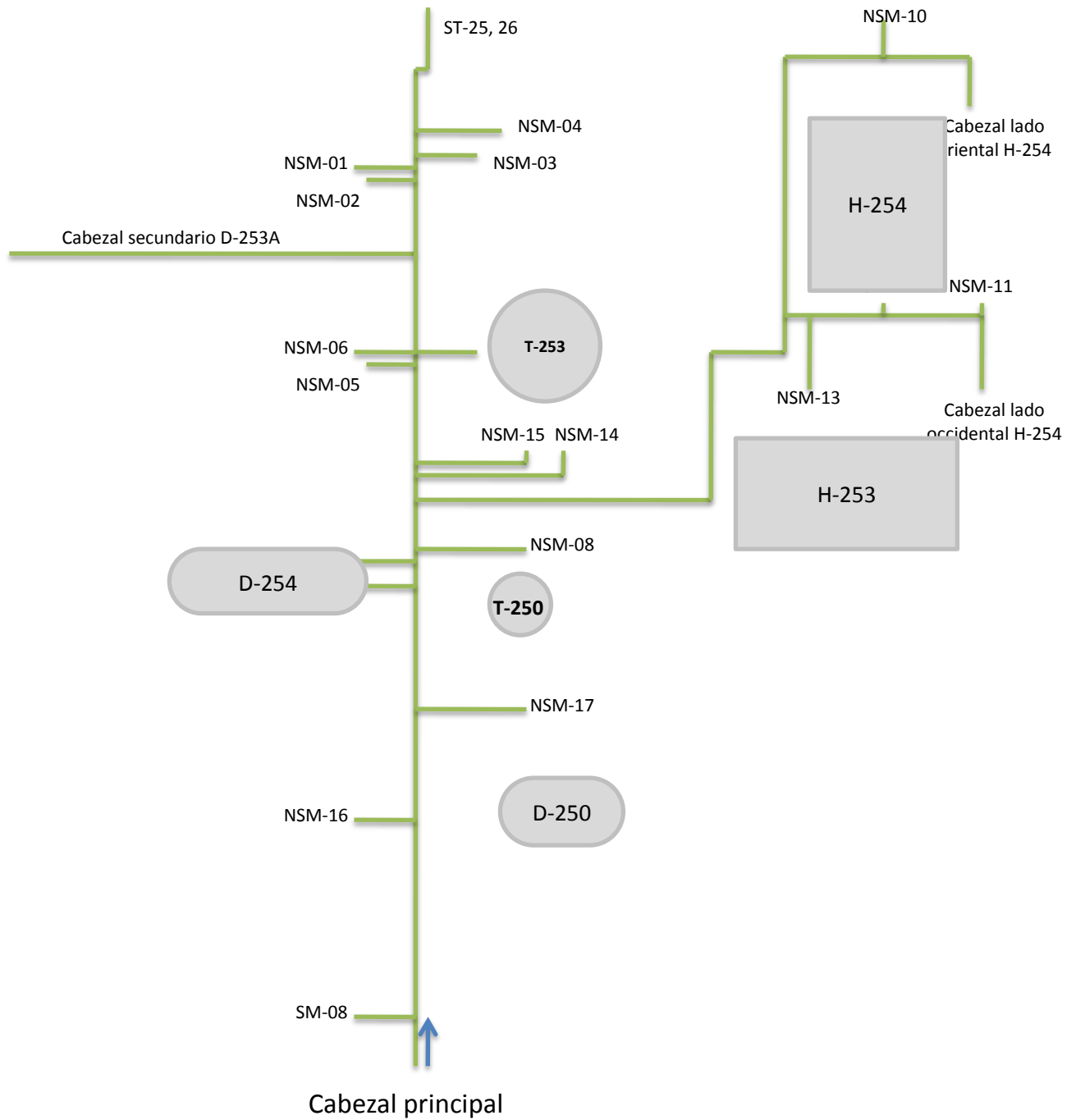
Cabeza ubicado en el lado oriental del horno H-254



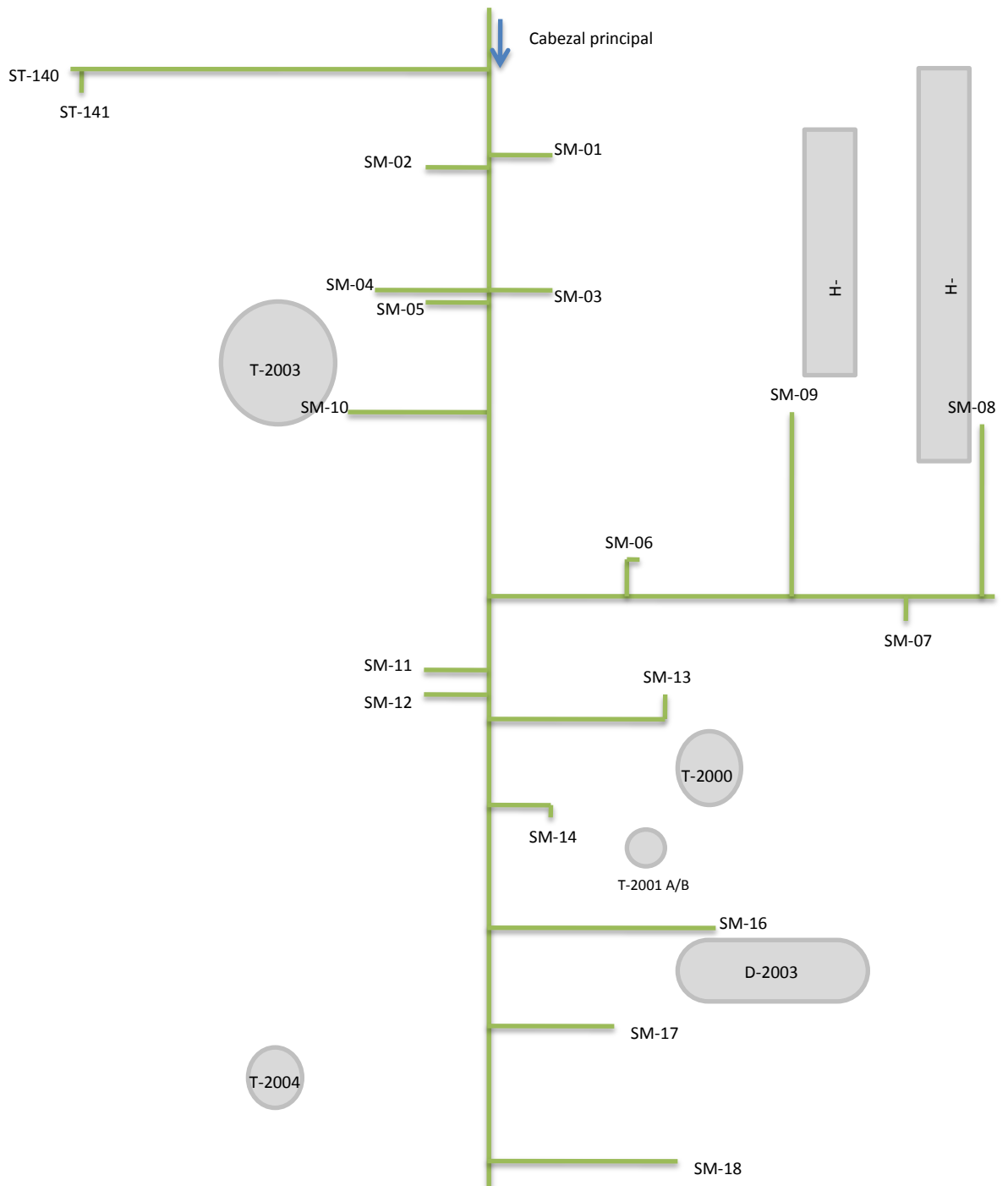
Cabezal ubicado en el lado occidental del horno H-254



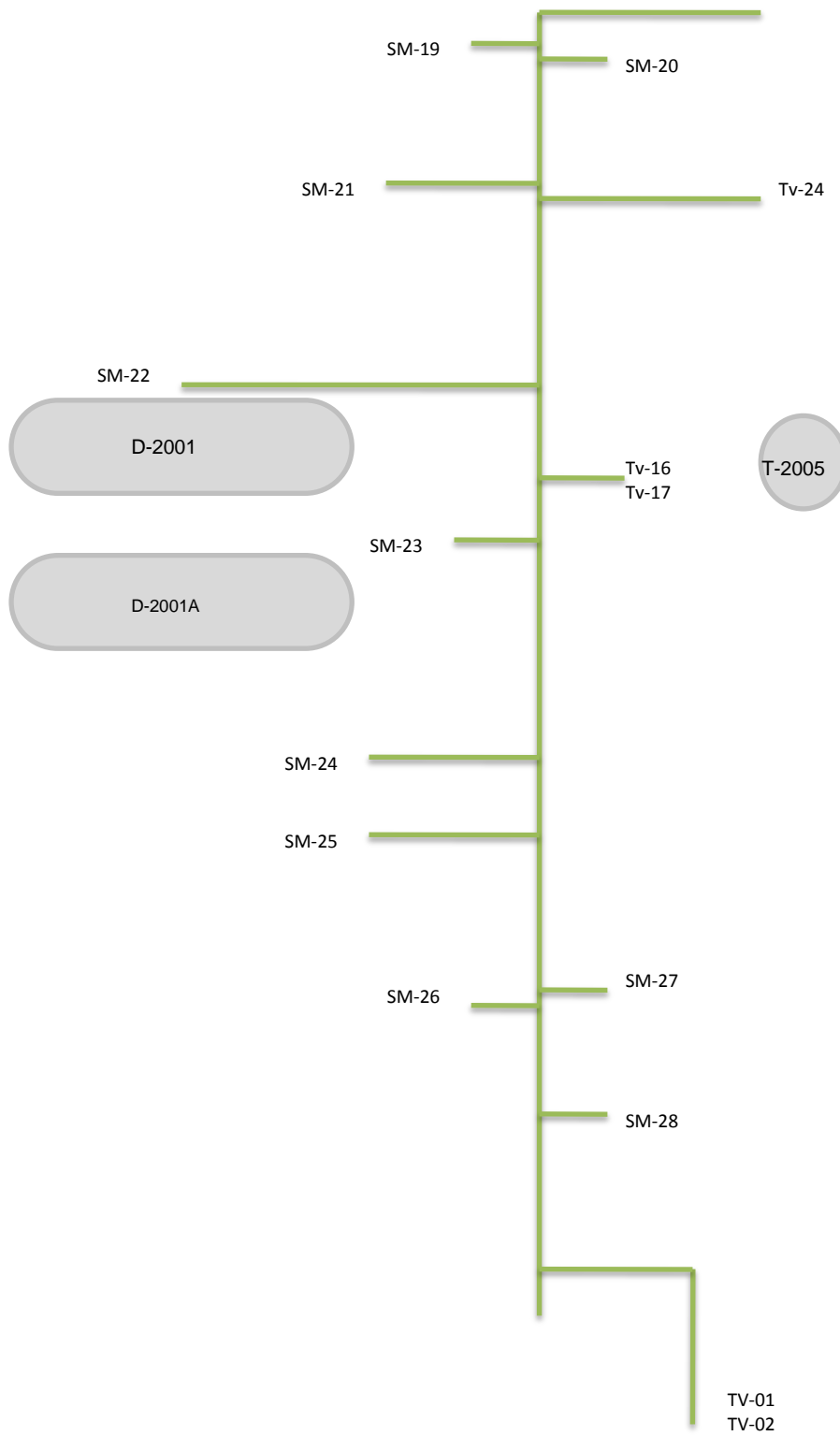
Sistema de recolección de condensados de la unidad U-250.



Cabezal de la Unidad U-2000 parte 1

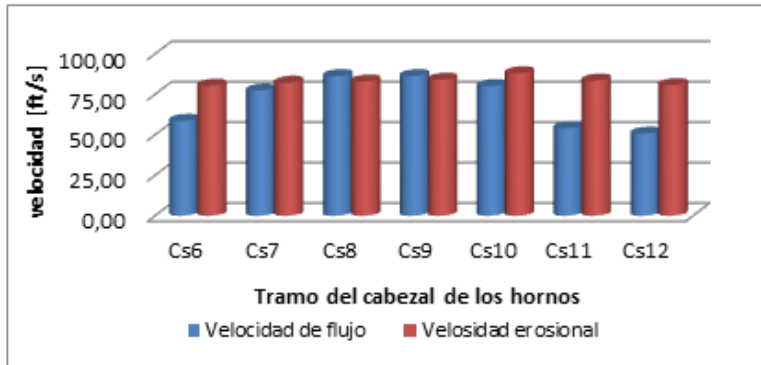


Cabezal U-2000 parte 2

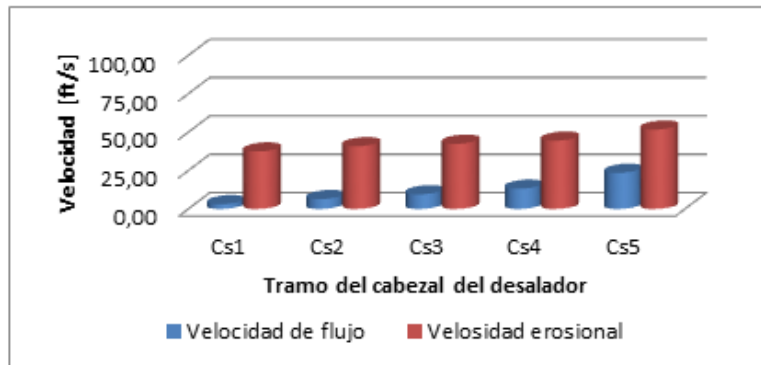
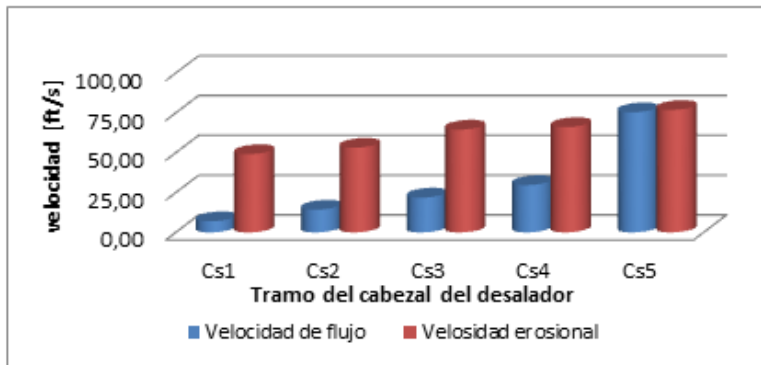
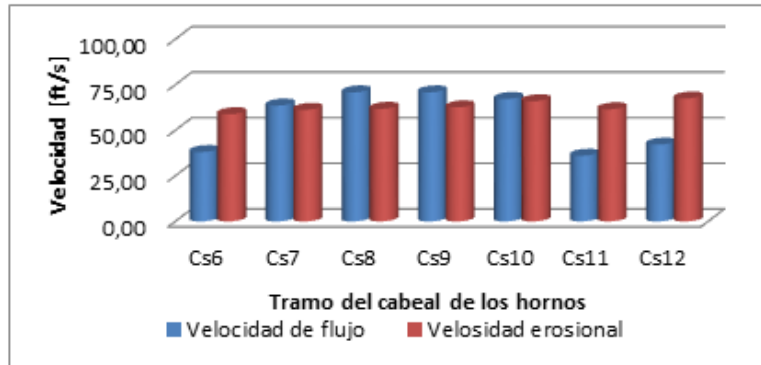


Anexo F. Comparación de las velocidades de flujo y erosionales para las alternativas 1 y 2 de las unidades U-250 y U-2000

Análisis de velocidad de los cabezales secundarios de la unidad U-250 para la Alternativa 1



Análisis de velocidad de los cabezales secundarios de la unidad U-250 para la Alternativa 2



Anexo G. Especificaciones del TRAPMAN

SDS M1600-



TrapMan® MODEL TM5N/TrapManager®

COMPUTERIZED STEAM TRAP MANAGEMENT SYSTEM FOR PRODUCTIVE MAINTENANCE

Features

Measurement and analysis system consisting of:

- **TM5N** hardware – a precision ultrasonic and temperature testing instrument in which the **TLV** diagnostic technology is stored.
 - **TrapManager** software – a comprehensive Windows based program used for the input of data and analysis of results.
1. **TM5N** instrument combines three instruments in one probe: ultrasonic and temperature measurement plus data logging function.
 2. **TM5N** tests a steam trap by comparing its operation to data from laboratory tests of an identical trap held in its memory.
 3. **TM5N** judgement is automatic and repeatable.
 4. Data from **TM5N** is easily uploaded to the **TrapManager** software.
 5. **TrapManager** summarizes and analyzes the results, making the data available in a variety of reports, tables and graphs.
 6. **TrapMan**'s judgement accuracy has been validated by Lloyd's Register.



Specifications (Diagnosis Hardware)

Model	TM5N	TM5N-EX*
Description	Standard	Intrinsically safe : Certified to meet all of the following standards ATEX : ⓂII2G Ex Ib IIB T3 DEMKO 12 ATEX 1212672X cULus : Class I, Zone 1, AEx Ib IIB T3 Class I, Zone 1 Ex Ib IIB T3 File No. E346614 IECEX : Ex Ib IIB T3 IECEX UL 12.0016X
Measurement Period	15 seconds (Time period required to hold the probe against the trap)	
Automatic Judgement	Good, Leak (Small, Medium, Large), Blowing, Blocked, Low Temperature, Temperature Adjustment Failure	
Manual Judgement	Not in S (not in service), L/Gasket (gasket leak), L/Body (body leak), NO CHECK (not inspected)	
Memory	Total available registered trap models: 3400 possible, Call registered models: max. 30 models per trap type Number of steam traps that can be tested and survey data memorized at one time: approximately 1600 Information items: 20. Model, Judgement, Temperature, Pressure, Inspection Data, Application, Installation Data, Connection, etc.	
Display	16 digits×2 lines, 5×7 Matrix LCD	
Steam Pressure Range	0.05 – 8.0 MPaG (differential pressure of at least 0.05 MPa)	
Steam Trap Surface Temperature	0 – 350 °C	
Operating Temperature	0 – 40 °C	
Humidity Range	20 – 80% RH	
Other Features	Registered model search, Display brightness/contrast settings, Earphone volume control	
Power	Main Battery**: NI-MH 3.6 VDC 750 mAh (AAA enloop × 3), Backup Battery**: Lithium 36 mAh (holds data for approx. 10 years.) Charger: 2 hour charge (special charger with protection against overcharge) includes battery reconditioning Continuous Operation: 10 hours (with back-light off), 8 hours (with back-light on) Auto Power OFF: Auto Power OFF function if no operation for more than 5 minutes (defaults to enabled, can set to disabled) Resume: Yes (indicates trap No. when power went off).	

* The **TM5N-EX** is approved for use in hazardous locations only while inserted in the leather case. Do not remove the case while in a hazardous location. Product markings are provided on the product enclosure beneath the leather case. For hazardous areas, the **TM5N-EX** should be used by trained personnel with knowledge of the hazardous locations/classifications.

** The main battery may be replaced by the customer. At time of replacement exchange all batteries for new. New and old batteries should not be mixed. Since the main battery is recyclable, dispose of it in an environmentally friendly manner and according to local regulations. For the backup battery, return unit to TLV for replacement.

NOTE: This device includes a hardware control/disable function. Because periodic maintenance is necessary in order to maintain highly accurate diagnosis, a warning will be displayed on screen when periodic maintenance is due (2 years from first use). Please contact TLV at this time to request maintenance. If maintenance is not carried out, the unit will be automatically locked.

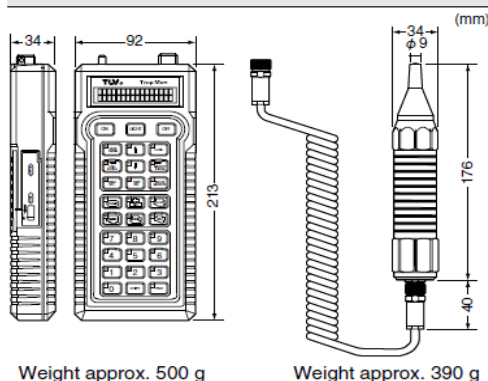
Copyright © TLV

Specifications (Analysis Software)

Model		TrapManager (ver. 3.4.x)*	
Main Features	Management Log	Master Trap List, Failed Trap Reminder List, and Inspection History List can be displayed and maintained.	
	Trap Route	Survey route can easily be set and saved	
	Analysis	The data can be analyzed and saved by selecting various conditions in detail as well as display graphs	
	Report	Includes: Log Details, Inspection History, Failed Trap Reminder List, Trap Route, Surveys, and Trap Code	
Communication		Automatic data transfer	
PC Requirements	OS	Windows 2000, Windows XP, Windows Vista, Windows 7	
	CPU	Minimum	133 MHz (Win 2000), 300 MHz (Win XP), 800 MHz (Win Vista / Win 7)
		Recommended	1 GHz or higher
	Hard Disk		60 MB Minimum
	Memory (RAM)		512 MB Minimum
	CD-ROM Drive		2x (double speed) minimum
	Display	Minimum	SVGA (800x600) with 256 colors
Recommended		XGA (1024x768) with 16 bit color	

* TrapManager ver. 3.4.x or later is required in order to use the **TM5N** (standard) / **TM5N-EX** (Intrinsically Safe) Diagnostic Units. If you are already using the **TrapMan** system with **TrapManager** ver. 3.3.x or earlier, you will need to upgrade to ver. 3.4.x or later.

Dimensions



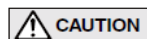
Product Components

TM5N/TM5N-EX

- Main Units: Main Body, Coil Cord
- Accessories: Special Electrical Charger, Protective Leather Case, Belt-loop Holder, Strap, Flat File, Carrying Case, Earphone (TM5N only), Communications Cable (USB)
- Manual: Pocket Guide, Instruction Manual (pdf file is also included on CD-ROM)

TrapManager

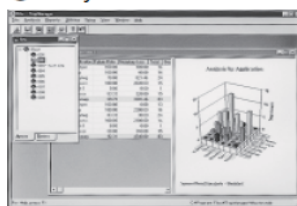
- Software: (CD-ROM)
 - Accessories: Hardlock Key (HASP)
 - Manual: Quick Start Guide (pdf file on CD-ROM)
- eneloop, Windows, and HASP are registered trademarks of SANYO Electric Co. Ltd., Microsoft Corporation, and SafeNet Inc. respectively.



1. Use ONLY the TLV-provided battery charger included in the package for charging the unit.
2. The communications cable and HASP included in the package must be used when the unit is connected to the PC.

Sample Screen of TrapManager

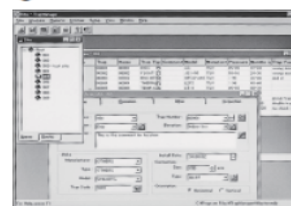
① Analysis



② Report



③ Maintenance



Manufacturer ISO 9001/ISO 14001
TLV CO., LTD.
 Kakogawa, Japan
is approved by LRDA Ltd. to ISO 9001/14001

Copyright © TLV (O)

<http://www.tlv.com>

SDS M1600-08 Rev. 2/2014
 Products for intended use only.
 Specifications subject to change without notice.

Fuente: TLV [en línea] <http://www.tlv.com>

Anexo H. Características de los diferentes tipos de trampas de vapor y sus aplicaciones

FUNCTION	Thermostatic	Thermodynamic	Mechanical		Orifice	Free Float
			F & T	IB		
Response to Load Changes	Moderate	Slow	Fast	Moderate	Very Slow	Fast
Air Venting	High	Low	Med/High	Low	Low	High
Thermal Efficiency	High	Medium	Med/High	Medium	High†	Med/High
Applications	Drip Legs Tracing Process Eqpt.	Drip Legs Tracing	Drip Legs Process Eqpt.	Drip Legs Process Eqpt.	Drip Legs	Drip Legs Process Eqpt.
Affected By Ambient Temperatures	No (unless insulated)	Yes	No (susceptible to freezing)		No	No (may freeze)
Relative Cost	Low	Low	Medium	Med/Low	Low	Medium
Capacity	Medium	Low	High		Low	High
Pressure Range	to 650 psi	10 to 600 psi	to 650 psi	to 250 psi	to 2500 psi	to 650 psi
Size vs. Capacity	Small	Medium	Large		Small	Large
Life Expectancy	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Long	Long
Ease of Maintenance	Very Easy	Very Easy	Moderate		Very Easy	Moderate
Orientation Limits	No	No	Yes		No	Yes

Fuente: Nicholson Steamtrap – CIRCOR interna