

**ANALISIS DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO EN LAS  
AREAS DE VAPOR Y ENERGIA DEL COMPLEJO INDUSTRIAL DE  
BARRANCABERMEJA**

**JAVIER EDUARDO SÁNCHEZ RAMÍREZ  
AMANDA DEL PILAR MEJÍA FAJARDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA  
2005**

**ANALISIS DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO EN LAS  
AREAS DE VAPOR Y ENERGIA DEL COMPLEJO INDUSTRIAL DE  
BARRANCABERMEJA**

**JAVIER EDUARDO SANCHEZ RAMIREZ  
AMANDA DEL PILAR MEJÍA FAJARDO**

**Proyecto de grado para optar el título de  
Ingeniero Químico**

**Director: ALVARO RAMÍREZ GARCÍA  
Ingeniero Químico Ph.D.**

**Codirectora: MARIA CRISTINA PEREIRA PÁEZ  
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA  
2005**

A Dios por ser el guía y la luz que ilumina mi camino,  
A mi madre por su esfuerzo y apoyo incondicional,  
A mi padre por su confianza,  
Mis hermanas por su colaboración,  
Amanda por su constante motivación y apoyo  
A mi nona y mi familia por su confianza y apoyo.  
A mis amigos por su amistad y confianza.

*JAVIER*

A Dios por ser la guía y la luz que ilumina mi camino,  
A mi madre por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional,  
A mi tío Mario y Jacky por su apoyo,  
A mis abuelitos y familiares por su amor y apoyo,  
A Javier por su apoyo y compañía  
A mis amigos, compañeros de estudio y  
A todos aquellos que me brindaron sus consejos.

*AMANDA*

## **AGRADECIMIENTOS**

Damos nuestro agradecimiento a:

Maria Cristina Pereira, Ingeniera química, Ingeniera de proceso.

Juan Carlos Cobos, Ingeniero químico, Coordinador Servicios Industriales

Luís Fernando Puentes, Ingeniero químico, Ingeniero de proceso

Jacqueline Saavedra, Ingeniera química, Líder de grupo de energía y pérdidas

Pedro García, Supervisor

Álvaro Ramírez García, Ingeniero químico Ph.D, Director de este proyecto

Los docentes de la Escuela de Ingeniería Química.

Al Departamento de Servicios Industriales Refinería en la GCB.

La Universidad Industrial de Santander

Por brindarnos su conocimiento, y apoyo técnico

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. GENERALIDADES	2
1.1 Generación de vapor.	2
1.1.1 Tipos de calderas.	2
1.1.2 Partes de calderas de tubos doblados.	2
1.1.3 Agua de alimentación a calderas.	3
1.1.4 Usos del vapor.	4
1.2 Condensado.	4
1.3 Desaireación.	5
1.4 Tratamiento químico.	5
1.4.1 Tratamiento con aminas.	5
1.4.2 Tratamiento con dispersantes.	6
1.4.3 Tratamiento con sulfito.	6
1.5 Sistemas de recuperación de condensado.	6
1.5.1 Sistema abierto.	6
1.5.2 Sistema cerrado.	6
1.6 Trampas de vapor.	7
1.6.1 Tipos de trampas de vapor.	7

1.7 Flujo en dos fases.	8
2. EVALUACION DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO.	11
2.1 Descripción Del sistema actual.	11
2.1.1 Área sur.	12
2.1.2 Área norte.	15
2.2 Metodología para el diagnostico de trampas de vapor.	19
2.3 Metodología para determinar la cantidad de condensado a recuperar.	19
2.3.1 Condensado precalentadores de aire de las calderas.	19
2.3.2 Condensado precalentadores de agua de las calderas.	20
2.3.3 Condensado de trampas de vapor.	21
2.4 Metodología para la revisión de las condiciones de operación y diseño.	22
2.5 Metodología para determinar el índice de recuperación de condensado.	23
2.6 Metodología para determinar los beneficios económicos en la recuperación de condensado.	25
2.7 Metodología para determinar propiedades fisicoquímicas del condensado.	29
3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA. DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADO	30
3.1 Sistema actual de recuperación de condensado.	30
3.1.1 Área sur.	30
3.1.2 Área norte.	33
3.2 Diagnostico de trampas de vapor.	33
3.2.1 Área sur.	34

3.2.2 Área norte	35
3.3 Cantidad de condensado a recuperar.	37
3.4 Indicador de recuperación de condensado.	38
3.5 Condiciones de operación y diseño.	40
3.6 Propiedades fisicoquímicas del condensado.	44
3.7 Beneficios económicos en la recuperación de condensado.	44
3.8 Condensado vs generación de vapor.	48
4. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADO.	51
5. ANALISIS ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS	60
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades físico-químicas del agua de restitución ó calderas	3
Tabla 2. Patrones de flujo bifásico	9
Tabla 3. Áreas de vapor y energía	11
Tabla 4. Equipos, líneas y producción de vapor en la unidad U-950	12
Tabla 5. Líneas de recuperación de condensado U-950	12
Tabla 6. Equipos y líneas de la unidad U-900	13
Tabla 7. Líneas de recuperación de condensado Unidad U-900	14
Tabla 8. Línea principal de recuperación de condensado de refinería	14
Tabla 9. Equipos y líneas de condensado U-2400	16
Tabla 10. Líneas de recuperación de condensado U-2400	16
Tabla 11. Línea principal de recuperación de condensado central norte	16
Tabla 12. Parámetros de diseño de los precalentadores de aire	20
Tabla 13. Parámetros de diseño de los precalentadores de agua	21
Tabla 14. Propiedades fisicoquímicas del vapor	29
Tabla 15. Observaciones del sistema de recuperación de condensado U-950	30
Tabla 16. Observaciones en el área de Topping	31
Tabla 17. Observaciones línea principal de parafinas	32
Tabla 18. Cantidad trampas de vapor termodinámicas U-900	34
Tabla 19. Cantidad trampas de vapor termodinámicas U-950	35

Tabla 20. Cantidad trampas de vapor termodinámicas U-2400	36
Tabla 21. Cantidad trampas de vapor termodinámicas U-14	36
Tabla 22. Condensado a recuperar en las de vapor y energía	38
Tabla 23. Condensado a recuperar en las líneas principales de retorno	38
Tabla 24. Flujo de condensado al desaireador DH-902	39
Tabla 25. Flujo de condensado al desaireador DH-957	39
Tabla 26. Flujo de condensado al desaireador DH-958	39
Tabla 27. Flujo de condensado al desaireador DH-2421/2	40
Tabla 28. Indicador de recuperación de condensado en las calderas	40
Tabla 29. Revisión de diámetros de líneas internas en la U-950	41
Tabla 30. Revisión de diámetros de líneas internas U-900	42
Tabla 31. Revisión de diámetros de líneas internas U-2400	43
Tabla 32. Líneas principales de recuperación de condensado	43
Tabla 33. Propiedades fisicoquímicas del condensado en las áreas de vapor y energía.	44
Tabla 34. Valor energético del condensado	45
Tabla 35. Beneficio energético del condensado	45
Tabla 36. Valor del condensado a recuperar en las áreas de vapor y energía	46
Tabla 37. Beneficio económico por recuperación de condensado como agua de alimentación a calderas.	46
Tabla 38. Costo del tratamiento químico.	46
Tabla 39. Costo actual de tratamiento químico vs beneficio económico actual	48

Tabla 40. Calor del condensado desperdiciado respecto al vapor generado.	48
Tabla 41. Pérdida total de condensado respecto a la generación de vapor.	49
Tabla 42. Costo del condensado a recuperar según alternativas propuestas	62

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Desaireadores de agua de alimentación a calderas	24
Figura 2. Instalación adecuada de trampas de vapor	52
Figura 3. Corto circuito de instalaciones de trampas de vapor	53

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Sistema general de recuperación de condensado	67
Anexo B. Sistema de recuperación de condensado Unidad U-950	68
Anexo C. Sistema de recuperación de condensado Unidad U-900	69
Anexo D. Línea principal de recuperación de condensado de refinería	70
Anexo E. Línea principal de recuperación de condensado de parafinas	71
Anexo F. Sistema de recuperación de condensado Unidad U-2400	72
Anexo G. Línea principal de recuperación de condensado central del norte	73
Anexo H. Condiciones de operación y diseño	74
Anexo I. Métodos analíticos	75
Anexo J. Propiedades fisicoquímicas del condensado	77
Anexo K..Formato para mantenimiento de trampas de vapor	79
Anexo L. Propiedades fisicoquímicas del agua de calderas	80
Anexo M. Propiedades fisicoquímicas de la mezcla agua de calderas Condensado	81
Anexo N. Alternativa de recuperación de condensado unidad U-950	83
Anexo O. Alternativa de recuperación de condensado unidad U-900	84
Anexo P. Alternativa de recuperación de condensado unidad U-2400	85
Anexo Q. Alternativa de recuperación de condensado línea principal de parafinas	86

## RESUMEN

**TITULO:** ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO EN LAS AREAS DE VAPOR Y ENERGIA DE LA REFINERÍA GCB.

**AUTORES:** JAVIER EDUARDO SÁNCHEZ RAMÍREZ.  
AMANDA DEL PILAR MEJIA FAJARDO

**PALABRAS CLAVES:** sistema de recuperación de condensado, trampas de vapor, agua de calderas.

### **DESCRIPCION O CONTENIDO:**

El estudio del sistema de recuperación de condensado en las áreas de vapor y energía de la refinería en ECOPETROL S.A. de Barrancabermeja, tuvo como finalidad identificar problemas y deficiencias causantes de aumento del consumo del agua de calderas, y plantear alternativas para mejorar el sistema de recuperación de condensado.

La evaluación del estado actual del sistema de recuperación se realizó mediante inspección de las trampas de vapor, líneas principales e internas y equipos en cada una de las áreas, medición de las condiciones de operación y comparación con las de diseño; y mediante análisis de los parámetros fisicoquímicos del condensado, agua de calderas y agua de alimentación a calderas. Además se planteó alternativas para mejorar o cambiar equipos y sistemas de recuperación de condensado.

El estudio del sistema de recuperación de condensado permitió estimar las cantidades de condensado a recuperar, el impacto económico y las deficiencias del sistema actual de recuperación. Esta información sirvió de base para que el personal se concientizara sobre el uso eficiente de la energía y la necesidad de implementar acciones para mejorar las condiciones y calidad del condensado a recuperar.

## **SUMMARY**

**TITLE:** ANALYSIS OF THE CONDENSATE RECOVERY SYSTEM ON THE AREAS OF STEAM AND ENERGY OF THE REFINERY

**AUTHORS:** JAVIER EDUARDO SÁNCHEZ RAMÍREZ.  
AMANDA DEL PILAR MEJIA FAJARDO

**KEY WORDS:** condensate recovery system, steam trap, water for the boilers.

### **DESCRIPTION OR CONTENT:**

The study of the condensate recovery system on the areas of steam and energy of the refinery at ECOPETROL S.A. of Barrancabermeja has a purpose identified problems and deficiencies causing of the increase of consumption of water for the reboilers, and to pose alternative to improve the condensate recovery systems.

The evaluation of actual state of recovery system by inspection of the steam traps, principal and internal lines and equipment, establishing their operations and design conditions, doing analysis of the condensate, water for the boilers an desaireadores water physical-chemical parameters. Beside to posed alternatives to improve or change the condensate to recovery equipments.

The study of the condensate recovery system permitted identify the quantities of condensate to recovery an the economics benefit and deficiencies of the recovery system permitting conscious to the people for the efficient use of the energy and carry out actions to improve the conditions and quality of the condensate to recovery.

## INTRODUCCION

En la actualidad las empresas deben buscar alternativas que permitan hacer uso eficiente de los servicios industriales y las dirijan hacia una productividad y calidad mayor. Una de las alternativas es la recuperación de condensado al sistema de generación de vapor que permite disminuir el consumo y los costos de tratamiento químico de agua para calderas.

La recuperación de condensado constituye una etapa de los ciclos termodinámicos de generación de potencia en la que se aprovecha su condición térmica y las propiedades fisicoquímicas para mejorar el rendimiento del ciclo.

Actualmente en las industrias se utilizan metodologías para asegurar el retorno del condensado a las calderas y evitar desperdicios de energía. El condensado representa aproximadamente el 19% del costo de producción de vapor.

El análisis se inicio con el reconocimiento de cada una de las áreas de vapor y las líneas principales de retorno de las plantas de proceso de la refinería; posteriormente se recopiló la información de las condiciones de diseño y variables de operación, con el fin de identificar y proponer alternativas de mejora en planta y operación que permitan establecer y estimar los ahorros en el uso del condensado como fuente de restitución de agua para calderas, así como determinar las propiedades fisicoquímicas adecuadas del condensado.

Esperamos que este trabajo sea un aporte significativo que estimule la reducción de costos de producción de vapor, riesgos industriales y ambientales.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Generación de vapor.**

El vapor es un medio muy eficiente de transporte de calor debido a su alta capacidad calorífica. En instalaciones petroleras este es uno de los servicios más utilizados en diversos procesos tales como transferencia de calor, accionamiento de equipos rotativos, generación de energía y procesos de separación y despojo.<sup>(5)</sup>

El vapor en la refinería se produce en calderas acuotubulares.

#### **1.1.1 Tipos de calderas**

Existen dos tipos de calderas: pirotubulares y acuotubulares, se diferencian entre si por la capacidad de generación de vapor, teniendo en cuenta que las calderas acuotubulares son diseñadas para producir mayores cantidades de vapor<sup>(5)</sup>.

Las calderas acuotubulares son de dos tipos: tubos horizontales rectos y tubos doblados; los diseños para las calderas de tubos doblados se estandarizaron en tres tipos básicos: A, O y D acorde a la distribución del tambor de lodos y el tambor de vapor.

#### **1.1.2 Partes de calderas de tubos doblados**

- Tambor de vapor
- Tambor de lodos
- Hogar
- Equipos de recuperación de calor:

- Calentador de aire.
- Precalentador de aire.
- Supercalentador.

### 1.1.3 Agua de alimentación a calderas

El agua, sea cual sea su fuente, tiene una gran cantidad de impurezas que desarrollan un efecto negativo en la generación de vapor es por esto que para una buena transferencia de calor es necesario someter el agua de restitución ó el condensado a tratamiento físico-químico para minimizar los depósitos de impurezas y otros efectos indeseables en las paredes de los tubos. Las fuentes de suministro de agua son:

- Agua de restitución o alimentación: mezcla de agua desmineralizada y agua suavizada.
- Condensado.

Es necesario establecer intervalos manejables de algunas propiedades en el agua de restitución o alimentación que permita controlar las impurezas en los sistemas de vapor y evite daños en los equipos. Los rangos adecuados de las propiedades fisicoquímicas del agua se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del agua de restitución ó calderas.

Propiedades	Unidad	Rango adecuado
pH		6.4-7
Dureza	ppm	<0.2
Alcalinidad	ppm	10-15
Sílice	ppm	5-10
Concentración de oxígeno	ppm	<0.5
Concentración de hierro	ppm	<0.1

Fuente: Datos reportados por la planta de tratamiento agua en la refinería

#### **1.1.4 Usos del vapor**

- Intercambiadores de calor: el vapor es usado en equipos en las que se requiere intercambio térmico con otro fluido de proceso. Se utiliza vapor de 25, 50, 150 y 400 Psig.
- Precalentador de aire para calderas: es un intercambiador en el que se precalienta el aire en la descarga del ventilador con un flujo de vapor de 25 Psig.
- Deshollinadores: son sistemas que usan vapor para la limpieza externa de los tubos de las calderas, donde se presentan los depósitos de cenizas producto de la combustión. Durante la limpieza se forma condensado en el interior de los tubos de los deshollinadores.
- Turbinas: son equipos rotativos cuya fuerza motriz es vapor de 400 Psig utilizados en la generación de energía eléctrica y el bombeo de fluidos.

#### **1.2 Condensado**

El condensado se forma a partir de vapor utilizado en turbinas, deshollinadores, precalentadores de aire y intercambiadores de calor que va cediendo parte de su energía. Debido a sus propiedades fisicoquímicas y termodinámicas éste es recuperado y retornado al sistema de condensado como fuente de alimentación de agua para calderas. Cuando el condensado entra a la línea de retorno un porcentaje se evapora por lo que se presenta flujo en dos fases. Por lo tanto se requiere realizar condensación de la fase vapor antes de retornar al desaireador. Antes de retornar el condensada o agua de restitución a la caldera, se realiza un proceso mecánico para retirarle CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y otros gases ácidos no condensables y luego se realiza tratamiento químico. <sup>(5)</sup>

### **1.3 Desaireación.**

El agua que ingresa al desaireador (agua de alimentación a la caldera, condensado, agua de calderas), es desaireada en una atmósfera de vapor de 25 psig donde se calienta el agua hasta 212°F a una presión entre 14.7-15 Psig. Como la solubilidad del oxígeno en el agua es muy pequeña bajo estas condiciones el 97-98 % del oxígeno y pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub> que entra es liberado hacia el vapor y es removido del sistema por medio de ventilación. El oxígeno restante que no es fácilmente eliminado es removido mediante la caída del agua sobre bandejas en el interior de desaireador con el fin de eliminar las últimas cantidades de oxígeno.

Teóricamente la cantidad de vapor utilizado en la desaireación se condensa y corresponde a un 10% de la cantidad de agua total de alimentación a las calderas.<sup>(3,4)</sup>

### **1.4 Tratamiento químico.**

Los valores a que los contaminantes deben ser reducidos, están determinados por la presión y temperatura de operación de los equipos. El programa de tratamiento químico externo para agua de alimentación a calderas apunta al control de seis clasificaciones de impurezas:

- Dureza
- Alcalinidad
- Sílice
- Gases: CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>
- Hierro
- Cloruros

#### **1.4.1 Tratamiento con aminas**

La fuente de dióxido de carbono en el condensado es la descomposición de carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de alimentación o la soda adicionada para el control de alcalinidad. Un porcentaje del dióxido de carbono presente como gas disuelto en el agua es eliminado por

desaireación, el restante es eliminado mediante el tratamiento químico con aminos al agua de alimentación a calderas, para evitar la corrosión en líneas y equipos. <sup>(5)</sup>

#### **1.4.2 Tratamiento con dispersantes**

Cada contaminante tiene una solubilidad definida en el agua y cuando ésta es excedida el contaminante se precipita formando depósitos. Algunos contaminantes son iones de sílice, calcio, magnesio, manganeso y hierro. La formación de depósitos se controla por medio de la adición de polímeros que modifican la estructura de los cristales y actúan como secuestrantes, es decir mantienen solubles los contaminantes. <sup>(5)</sup>

#### **1.4.3 Tratamiento con sulfito**

Se realiza tratamiento con sulfito de sodio para el control del oxígeno disuelto que queda después de la desaireación; el sulfito sódico reacciona para formar sulfato sódico soluble. <sup>(5)</sup>

### **1.5 Sistemas de recuperación de condensado**

#### **1.5.1 Sistema abierto**

El sistema abierto posee un sistema de tuberías de conducción las que llevan el condensado desde las trampas de vapor hacia el tanque flash y/o desagüe; el tanque descarga el vapor flash a la atmósfera que ocasiona una pérdida de energía. Se emplea en sistemas en que el condensado es frío (160-180 °F). <sup>(5)</sup>

#### **1.5.2 Sistema cerrado**

Se diferencia del anterior en que posee un tanque flash cerrado; de esta manera no existe pérdida de energía por venteo. Este sistema es mucho

más eficiente que el abierto y es empleado en aquellos equipos que posean un flujo de condensado de gran presión (alta temperatura 212 °F o más). En estos sistemas se obtiene vapor flash de expansión que puede ser utilizado en sistemas que empleen vapor de baja presión.<sup>(5)</sup>

## **1.6 Trampas de vapor.**

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

### **1.6.1 Tipos de Trampas de vapor.**

- Mecánicas
- termostáticas
- termodinámicas

**Trampas mecánicas:** funcionan bajo el principio de la diferencia de densidades entre el vapor y el condensado. El vapor que ingrese a la trampa se condensa y luego se descarga. Las trampas de flotador y balde invertido son un ejemplo muy común donde el condensado y el vapor ingresan a la trampa, el vapor debido a su densidad cierra la válvula de salida hasta que el nivel de condensación dentro de la trampa permita que el flotador actúe la válvula permitiendo la salida del condensado.<sup>(5)</sup>

**Trampas termostáticas:** operan bajo el principio de diferencia de temperatura el cual es monitoreado por un termostato que esta constantemente comparando la temperatura del condensado con el fin de

aprovechar al máximo la temperatura del mismo dentro de los equipos. Inicialmente el condensado permanece a igual temperatura que el vapor pero con el tiempo tiende a disminuir su temperatura, entonces se abre la válvula de la trampa para efectuar el desalojo de condensado presente aguas arriba de la trampa. <sup>(3)</sup>

**Trampas termodinámicas:** las trampas termodinámicas operan por diferencia en la velocidad del vapor y el condensado en la superficie de la línea. Normalmente las trampas termodinámicas son utilizadas para evacuar el posible condensado producido en los sistemas de vapor, mediante un disco interno que permite el paso de vapor el cual sella el paso de vapor utilizando el disco hasta que el condensado entra y levanta el disco permitiendo la descarga de condensado. <sup>(3)</sup>

## 1.7 Flujo en dos fases

Cuando un líquido que está inicialmente saturado y pasa por una tubería se forma flujo en dos fases debido a que la presión decrece por la fricción; la temperatura de saturación disminuye debido a la pérdida de presión, y una porción de líquido se evapora.

Respecto a flujos paralelos con relaciones constantes líquido-gas, se han llevado a cabo trabajos abundantes tanto experimentales como teóricos para predecir la caída de presión, las fracciones volumétricas y los patrones de flujo para corrientes en tuberías. En tuberías horizontales los patrones de flujo se correlacionan empíricamente como función de las velocidades de flujo y las propiedades del mismo, sin embargo, las fronteras y los límites entre tales patrones no se han definido con plena claridad. Se han reportado los siguientes tipos generales de patrones de flujo tabla 2, representativos

para líquidos con viscosidad inferior a 100 centipoises aproximadamente y gases cuyas densidades son semejantes a la del aire <sup>(1)</sup>.

Tabla 2. Patrones de flujo bifásico

<i>Tipo</i>	<i>Característica</i>	<i>Velocidad del gas (ft/s)</i>	<i>Velocidad del líquido (ft/s)</i>
Flujo en burbuja	Dispersión de las burbujas de gas en el líquido.	1-10	5-10
Flujo tapón	Tapones de líquido y gas que se desplazan a lo largo de la tubería.	<3	<2
Flujo estratificado	El líquido fluye a lo largo de la base de la tubería y el gas lo hace entre una entrecara líquido-gas	2-10	<0.5
Flujo ondular	El gas se mueve entre las entrecaras originando ondas en la dirección del flujo	15	<0.3
Flujo con golpeteo	El gas se desplaza con rapidez, capta periódicamente una onda origina un golpeteo rápido que pasa la tubería a mayor velocidad promedio que la del líquido.		
Flujo anular	El líquido fluye con una película en torno a la pared interna de la tubería, y el gas fluye como si fuera el núcleo.	>20	
Flujo disperso	El líquido es arrastrado por el gas en gotas finísimas.	>200	

Fuente: Golvier, Radford y Donn [Can.J. Chem. Eng., 35,58-70(1957)]

Aplicando un balance de energía mecánica se observa que la caída de presión total en una tubería es el resultado de dos contribuciones: elevación y pérdidas.

$$\Delta P = \Delta Z - h_L \quad (1)$$

$\Delta P$ : caída de presión total

$\Delta Z$ : altura

$h_L$ : pérdidas

El aporte en las pérdidas es ocasionado por: tuberías, válvulas de control, expansiones, contracciones y accesorios.

Para calcular la caída de presión por pérdidas en tuberías horizontales que transportan flujo en dos fases se aplica la correlación empírica de Lockhart y Martinelli [Chem.Eng.prog, 45,39-48 (1949)], o se determina experimentalmente con instrumentos de medición.

La base de la correlación es que la caída de presión bifásica es igual a la caída de presión monofásica de cualquiera de las fases multiplicada por un factor que es función de las caídas de presión monofásica de las fases:

$$\Delta P_{GL} = \Delta P_G * Y_G \quad (2)$$

$\Delta P_{GL}$ : caída de presión bifásica por pérdidas.

$\Delta P_G$ : caída de presión por pérdidas en la fase gaseosa

$$Y_G = \Phi^2$$

$\Phi = f(X, G_L, \text{patrón de flujo}),$

$$X = \left( \frac{\Delta P_L}{\Delta P_G} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$\Delta P_G$  ó  $\Delta P_L$  se calcula por medio de la ecuación de Darcy.

## 2. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO

La evaluación del estado actual del sistema de recuperación de condensado se realizó mediante inspección de las calderas, líneas, equipos e instrumentos donde se genera condensado, mediante el planteamiento de metodologías a utilizar en el diagnóstico de trampas de vapor, cuantificación de las cantidades de condensado a recuperar, revisión de las condiciones de operación y comparación con las de diseño del sistema actual, cálculo del índice de recuperación, determinación del impacto económicos y caracterización del condensado a la entrada de los desaireadores utilizando los métodos analíticos estándares en la refinería para establecer y precisar alternativas de mejora.

### 2.1 Descripción del sistema actual.

Servicios industriales refinería se divide en dos áreas de generación de vapor y líneas principales de retorno de condensado provenientes de plantas de proceso, donde existen sistemas de recuperación de condensado abiertos, tabla 3, Anexo A.

Tabla 3. Áreas de vapor y energía

Área	Unidad de proceso	Calderas	Turbo generadores	Sistemas de calentamiento de combustóleo	Líneas principales de retorno
Sur	U-900	4	3	—	2
	U-950	5	2	—	
Norte	U-2400	5	3	—	1
	U-14	—	—	1	

### 2.1.1 Área sur

#### Unidad U-950

La unidad tiene dos zonas de vapor, Distral y Nuevas que se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Equipos, líneas y producción de vapor en la unidad U-950

<i>Equipos, líneas y producción de vapor</i>	<i>Descripción</i>	
	<i>Distral</i>	<i>Nuevas</i>
Calderas	B-954, B-955, B-956	B-951, B-952
Turbogeneradores	TG-951, TG-952	
Líneas de recuperación de condensado	25, 150, 400 Psig	150 Psig
Desaireador	DH-957	DH-958
Economizador	_____	E-952
Tanques almacenamiento de agua para calderas	K-955	K-951
Producción de vapor (Diseño)	450 klb/h	150 klb/h

El sistema de recuperación de condensado de la unidad U-950 tiene tres líneas de recuperación de condensado distribuidas en Distral y Nuevas proveniente de la descarga de las trampas de vapor; y de plantas de proceso, la descripción de la unidad se presenta en la tabla 5, Anexo B

Tabla 5. Líneas de recuperación de condensado Unidad U-950

<i>Presión de la línea (Psig)</i>	<i>Diámetro (in)</i>	<i>Origen del condensado</i>		<i>Descarga del condensado</i>	
		<i>Distral</i>	<i>Nuevas</i>	<i>Distral</i>	<i>Nuevas</i>
25	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precalentadores</li> <li>• Descarga turbinas de bombas.</li> </ul>		K-955	
150	2 1/2	• Descarga de	• Economizador	K-955	DH-958

		condensado de turbina de ventiladores de 25 Psig. • Sistema de calentamiento del combustóleo. • Admisión en la turbina de bombas. • Línea de vapor de atomización de 150 y 400 Psig			
400	2 1/2	• Deshollinado. • Admisión de turbina de generadores, ventiladores y bombas de alimentación de agua.		K-900	
45	4	<i>Unidad de especialidades</i>			DH-958
35	4	<i>Orthoflow</i>			

### Unidad U-900

La unidad está compuesta por los siguientes equipos y líneas y se describen en la tabla 6, Anexo C. Las calderas de la unidad 900 están diseñadas para producir 400 klb/h de vapor.

Tabla 6. Equipos y líneas unidad U-900

<i>Equipos y líneas</i>	<i>Descripción</i>
Calderas	B-901 A/B/C
Turbogeneradores	TG-901, TG-902, TG-903
Líneas de recuperación de condensado	25,150 Psig
Desaireador	DH-902
Tanques almacenamiento agua calderas	K-900
Intercambiador de calor "Economizador"	E-913, E-914

Tabla 7. Líneas de recuperación de condensado Unidad U-900

<i>Presión de la línea (Psig)</i>	<i>Diámetro (in)</i>	<i>Origen del condensado</i>	<i>Descarga del condensado</i>
25	2	• Precalentadores	Manifold de carga y luego a la succión de las bombas M/NP 903 y al DH-902
150	2	• Intercambiador de calor E-913 y E-914	

### Línea principal de recuperación de condensado de refinería

El sistema de recuperación de condensado de refinería tiene una longitud de 1550 ft y 4 in de diámetro. El condensado proviene de las siguientes plantas de proceso y tiene dos facilidades de descarga del condensado, tabla 8, Anexo D:

Tabla 8. Línea principal de recuperación de condensado de refinería

<i>Origen del condensado</i>		<i>Descarga del condensado</i>
<i>Planta</i>	<i>Presión (Psig)</i>	
Topping		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manifold de carga y luego es enviado a la succión de las bombas M/NP-903 y al DH-902.</li> <li>• Desaireador DH-958</li> </ul>
Unidad de craqueo catalítico Modelo IV "U-300"	40	
Unidad de craqueo catalítico Orthoflow "U-500"	35	
Unidad de especialidades	45	

- *Topping*: el área está formada por cuatro unidades de proceso; el condensado proviene de sistemas de calentamiento de líneas de carga y producto, eyectores, intercambiadores de calor y turbinas de bombas.
- *Unidad de craqueo catalítico Modelo IV*: tiene un sistema de recuperación de condensado de rehervidores, trampas de vapor y turbinas de compresores que llega a los Drum D-321, D-303 y D-304,

y se envían por medio de la bomba P-308 A/B a la línea principal de recuperación de condensado de refinería.

- *Unidad de craqueo catalítico Orthoflow:* tiene un sistema de recuperación de condensado de rehervidores, trampas de vapor y turbinas de compresores que llegan al desaireador DH-591 y se envía por medio de la bomba P-514 A/B a una de las dos facilidades de descarga de condensado: línea principal de recuperación de condensado de refinería o al desaireador DH-958 de la unidad U-950.
- *Unidad de especialidades:* se producen disolventes como el varsol, hexano, disolvente 1,2, 22 y 32. Cuando se produce varsol se utiliza vapor de 400 Psig, para los demás disolventes se utiliza vapor de 150 Psig. El condensado del vapor de 400 y 150 Psig se envía a la misma línea de recuperación de condensado.

### **Línea principal de recuperación de condensado de parafinas.**

La planta de parafinas tiene un sistema de recuperación de condensado de 850 ft de longitud formado por dos líneas de 4 in de diámetro que se unen expandiéndose a 6 in de diámetro y se envía el condensado al tanque K-955 ubicado en la unidad U-950 ó al desaireador DH-902 ubicado en la unidad U-900, Anexo E.

### **2.1.2 Área norte**

#### **Unidad U-2400**

La unidad está compuesta por los siguientes equipos y líneas tabla 9, Anexo F las calderas de la unidad 2400 están diseñadas para producir 1500 klb/h de vapor.

Tabla 9. Equipos y líneas de condensado de la unidad U-2400

<i>Equipos y líneas</i>	<i>Descripción</i>
Calderas	B-2401/2/3/4/5
Turbogeneradores	TG-2401/2/3
Líneas de recuperación de condensado	25,150 y 400 Psig
Desaireador	DH-2421/2
Tanques almacenamiento agua calderas	K-2401

El sistema de recuperación de condensado de la unidad U-2400 cuenta con las siguientes líneas de recuperación de condensado que se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Líneas de recuperación de condensado Unidad U-2400

<i>Presión de la línea (Psig)</i>	<i>Diámetro (in)</i>	<i>Origen del condensado</i>	<i>Descarga del condensado</i>
25	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precalentadores</li> <li>• Descarga de las turbinas de bombas.</li> </ul>	Tambor flash K-1809
150	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de calentamiento de combustóleo.</li> <li>• Admisión de las turbinas de las bombas.</li> <li>• Línea de vapor de atomización de 150,400 Psig.</li> </ul>	DH-2421 DH-2422
400	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deshollinado</li> <li>• Admisión en turbinas de ventiladores y bombas de alimentación de agua</li> </ul>	
	6	Línea principal de recuperación de condensado de Central del norte	

## U - 14

En esta unidad se almacena combustóleo, está compuesta por dos intercambiadores E-2440 A/B, 4 bombas y un sistema de calentamiento (tracing). El sistema de recuperación de condensado de la unidad cuenta con una línea de 150 Psig, que recibe condensado de trampas de vapor y

líneas de calentamiento y lo envía a la línea principal de recuperación de condensado de central del norte.

### **Línea principal de recuperación de condensado de central del norte**

El sistema de recuperación de condensado de central del norte tiene una longitud de 1200 ft y 6 in de diámetro. El condensado proviene de las siguientes plantas de proceso y descarga en los desaireadores de la unidad U-2400 tabla 11, anexo G.

Tabla 11. Línea principal de recuperación de condensado central del norte.

<i>Origen del condensado</i>	
<i>Planta</i>	<i>Presión (Psig)</i>
Unidad de craqueo catalítico "UOPII"	50
Etileno	60
Polietileno	45
Aromáticos	80
Turbogeneradores TG-2421, TG-2422	45
Alquilación	80
U-14	60

- *Alquilación:* el condensado de alta y baja presión de los rehervidores de torres fraccionadoras son enviados al drum D-4591 para disminuir la temperatura y retirar el vapor flash, se almacena en el drum D-4590 y se envía a la línea principal de recuperación de condensado de central del norte.

- *Polietileno*: el condensado de trampas de vapor y intercambiadores es enviado al drum de almacenamiento, se disminuye la temperatura y la cantidad de vapor flash y se envía a la línea principal de central del norte.
- *Etileno*: el condensado de trampas de vapor y intercambiadores es enviado al drum de almacenamiento , donde se disminuye la temperatura y la cantidad de vapor flash; y se envía al desaireador, y a la línea principal de central del norte
- *Aromáticos*: el condensado de intercambiadores de calor es utilizado en la planta como agua de alimentación a la caldera y el restante es enviado a la línea principal de central del norte.
- *Unidad de craqueo térmico"UOPII"*: el condensado de trampas de vapor y turbinas de compresores es enviado al drum de condensados, donde se disminuye la temperatura y la cantidad de vapor flash y se envía al desaireador y a la línea principal de central del norte.
- *Turbogeneradores*: el condensado formado en condensadores de superficie es enviado hacia la línea principal de recuperación de condensado de central del norte.

## **2.2 Metodología para el diagnostico de trampas de vapor**

Una etapa fundamental en el análisis del sistema de recuperación de condensado es identificar los tipos de trampas de vapor en cada una de las áreas de vapor y energía, para estimar las descargas típicas de condensado a los sistemas de retorno.

Para determinar el porcentaje de trampas de vapor en falla se utilizó un medidor ultrasónico ULTRA PROBE UE SYSTEMS que permite percibir el funcionamiento del mecanismo interno de la trampa, los resultados se pueden ver en el siguiente capítulo.

## **2.3 Metodología para determinar la cantidad de condensado a recuperar**

La cantidad de condensado procedente de las áreas de vapor y energía pueden determinarse mediante balances de energía utilizando como estimativo parámetros de diseño y descarga típica de condensado de las trampas de vapor termodinámicas definidas por cada fabricante.

### **2.3.1 Condensado de precalentadores de aire de las calderas**

Se utilizaron los parámetros de diseño de los precalentadores tabla 12, ubicados en cada caldera, y se plantea un balance de energía para determinar la cantidad de vapor utilizado y conocer el flujo de condensado en cada uno de los precalentadores de aire:

Balance de energía:

$$-Q_{\text{Vapor}} = Q_{\text{Aire}}$$

$$Q_{\text{Aire}} = \text{calor sensible}$$

$$Q_{\text{Vapor}} = (\text{calor latente} + \text{calor sensible}) = m_v \cdot h_v$$

$$Q_{\text{Aire}} = m_A * C_{pA} * (T_{fA} - T_{iA}) \quad (4)$$

$$m_v = \frac{Q_{\text{Aire}}}{h_v} \quad (5)$$

$m_A$  : flujo másico de aire (lb/h)

$m_v$  : flujo másico del vapor (lb/h)

$h_v$  : entalpía del vapor (BTU/lb)

$T_{iA}$  : temperatura entrada de aire (°F)

$T_{fA}$  : temperatura salida de aire (°F)

$C_{pA}$  : capacidad calorífica del aire (BTU/lb°F)

Tabla 12. Parámetros de diseño de los precalentadores de aire

Parámetros de diseño	Unidades	U-950 (Distral)	U-900	U-2400	
				B-2401/2/3	B-2404/5
Presión del vapor	Psig	25	25	25	25
Temperatura entrada de vapor	°F	347	347	347	347
Entalpía del vapor	BTU/lb	1213	1213	1213	1213
Flujo másico de aire	lb/h	245500	152000	210000	320000
Temperatura entrada de aire	°F	80	90	95	95
Temperatura salida de aire	°F	135	167	135	135
Capacidad calorífica del aire	BTU/lb°F	0.24	0.24	0.24	0.24

Fuente: Data Sheet calderas servicios industriales.

### 2.3.2 Condensado de precalentadores de agua de calderas.

Algunas calderas de las áreas de vapor no cuentan con un sistema interno de precalentamiento de agua donde utilizan los gases de combustión para el precalentamiento del agua dentro de la caldera llamado economizador, se encuentran instalados intercambiadores que utilizan vapor de 25 Psig para el precalentamiento externo del agua de alimentación antes de ingresar a las calderas.

Se utilizaron los parámetros de diseño de los intercambiadores que se presentan en la tabla 13 y se plantea un balance de energía para determinar la cantidad de vapor utilizado y conocer el flujo de condensado en cada uno de los precalentadores de agua.

$$-Q_{\text{Vapor}} = Q_{\text{Agua}}$$

$$Q_{\text{Agua}} = \text{Calor sensible}$$

$$Q_{\text{Vapor}} = (\text{Calor sensible} + \text{Calor latente}) = m_v \cdot h_v$$

$$Q_{\text{Agua}} = m_A \cdot C_{pA} \cdot (T_{fA} - T_{iA}) \quad (6)$$

$$m_v = \frac{Q_{\text{Agua}}}{h_v} \quad (7)$$

Tabla 13. Parámetros de diseño de los precalentadores de agua

<i>Parámetros de diseño</i>	<i>Unidades</i>	<i>U-900</i>
Presión del vapor	Psig	25
Temperatura entrada de vapor	°F	347
Entalpía del vapor	BTU/lb	1213
Flujo másico de agua	lb/h	676000
Temperatura entrada de agua	°F	250
Temperatura salida de agua	°F	265
Capacidad calorífica del agua	BTU/lb°F	1

Fuente: Data Sheet calderas servicios industriales

### 2.3.3 Condensado de trampas de vapor

Equipos y líneas aportantes de condensado como turbinas, deshollinadores, líneas principales de vapor, sistema de calentamiento de combustóleo y líneas de vapor de atomización no poseen instrumentos de medición de vapor que permita predecir las cantidades de condensado. El cálculo del condensado descargado a través de las trampas de vapor termodinámica se realizó mediante el inventario realizado de las trampas de vapor donde se conocen las descargas típicas de condensado; los resultados se pueden

observar en las tablas 15, 16 17 y 18. El flujo de condensado es igual al 40 % de la descarga típica de condensado para trampas que descarguen simultáneamente a las líneas utilizando el criterio dado por el manual HOOK-UP de SARCO <sup>(2)</sup>.

#### **2.4 Metodología para la revisión de las condiciones de operación y diseño.**

Después de conocer la distribución de las líneas principales de condensado, es fundamental revisar por medio de un monitoreo en las líneas principales si el flujo de condensado tiene la energía hidráulica necesaria y la temperatura adecuada para retornar a desaireadores y tanques de almacenamiento de agua de alimentación ó restitución para calderas y se revisara que el diámetro de las líneas principales de retorno cumpla con los requerimientos del flujo de condensado. Los resultados se pueden observar en las tablas 29, 30, 31,32.

Para la revisión de los diámetros de las líneas de retorno de condensado en las áreas de vapor y energía se seguirá el siguiente esquema de cálculo <sup>(3)</sup>:

- a) Establecer la presión inicial de la línea de condensado en Psig
- b) Establecer la presión final de la línea antes del sistema donde se descarga el condensado en (Psig)
- c) Establecer el flujo de condensado a transportar en (lb/h)
- d) Determinar el porcentaje de vapor flash producido utilizando los datos del anexo H en la siguiente ecuación:

$$\% \text{Vapor} = \frac{h_{f,L} - h_{f,S}}{h_{fg,S}} * 100$$

$h_{f,L}$  = Calor sensible del condensado a la presión de la línea (BTU/lb)

$h_{f,s}$  = Calor sensible del condensado a la presión final de la línea antes del sistema donde se descarga (BTU/lb).

$h_{fg,s}$  = Calor latente del condensado a la presión final de la línea (BTU/lb)

e) Determine el flujo de vapor flash producido.

Flujo vapor flash= flujo de condensado lb/h \* % vapor flash

f) Partiendo de los anteriores datos, el volumen a la presión final de la línea y un valor de diámetro, se calcula la velocidad del vapor flash que debe ser menor de 1000 ft/min/pulgada de diámetro para evitar corrosión<sup>(3,4)</sup>.

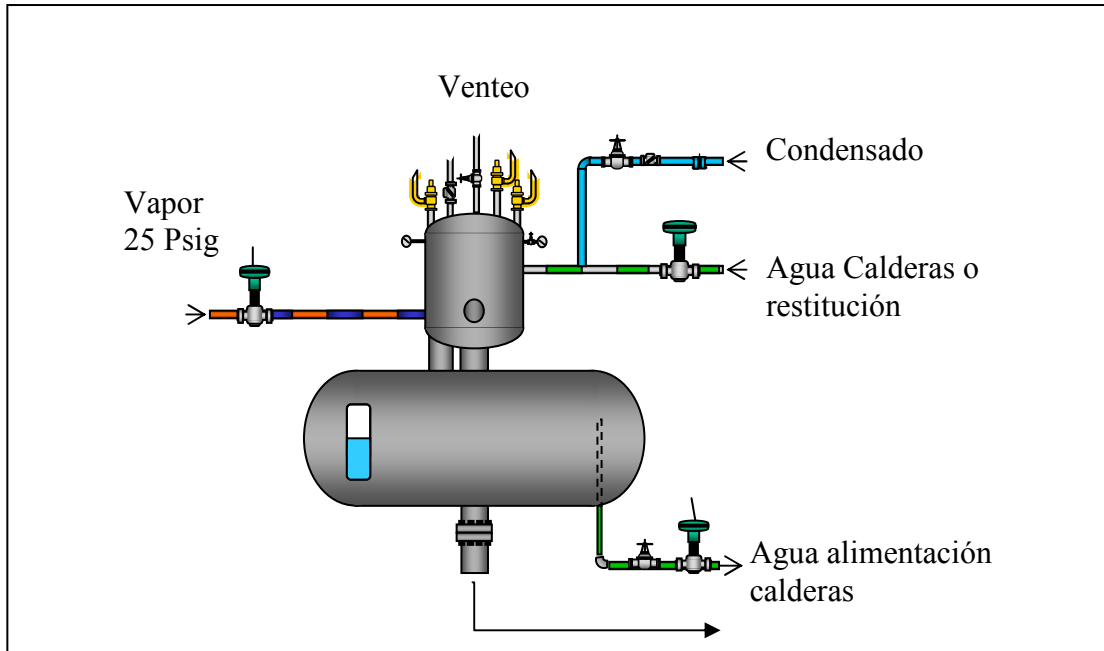
## **2.5 Metodología para determinar el índice de recuperación de condensado**

La recuperación de condensado respecto al agua de alimentación a calderas puede determinarse mediante balances máxicos en cada desaireador utilizando el siguiente esquema de cálculo, los resultados se observan en las tablas 24, 25, 26,27.

Al desaireador ingresan tres fuentes de condensado figura 1:

- Condensado de 25, 150, 400 psig y condensadores de superficie de los turbogeneradores.
- líneas principales de recuperación de condensado.
- El condensado del vapor de 25 psig utilizado en la desaireación.

Figura 1. Desaireador de agua de alimentación a calderas



Si se tuviera un ciclo perfecto toda el agua que entra a las calderas y que se emplea para la generación de vapor debería retornar a la unidad como condensado. El agua total de alimentación a las calderas de cada unidad es el valor teórico de condensado que se debería recuperar, por lo tanto el porcentaje de retorno de condensado en cada unidad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Indice de Recuperación (\%)} = \frac{F_R * 100}{F_T} \quad (8)$$

$F_R$ : flujo total de condensado recuperado (lb/h)

:  $C_R + C_V$

$C_R$ : condensado recuperado que entra al desaireador (lb/h)

$C_V$ : condensado del vapor de 25 Psig utilizado para calentamiento (lb/h)

: corresponde aproximadamente al 10 % del Flujo total de agua de alimentación a calderas.

$F_T$ : flujo total de agua de alimentación a calderas (lb/h)

El flujo total de agua de alimentación a calderas varía de acuerdo a los requerimientos diarios de vapor por lo tanto se toma como flujos de alimentación un promedio de los datos registrados en planta

## 2.6 Metodología para determinar beneficios económicos en la recuperación de condensado

Para determinar el valor del condensado que no se recupera, se toma como base de cálculo el costo del agua desmineralizada, los resultados se presentan en la tabla 29.

La recuperación de condensado es una de las alternativas que permite:

1. Ahorro de energía, menor cantidad de vapor que se utiliza para desairear el agua de alimentación a calderas.

Este beneficio se determina conociendo la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura a las condiciones del desaireador. A una temperatura de 212 °F y 14.7 Psig de presión la energía interna del agua es de <sup>(2)</sup> 180.15 BTU /lb; teniendo en cuenta que el costo estándar de la energía es  $1.0275 \times 10^{-2}$  \$/BTU el ahorro se determina por medio de la ecuación (9):

$$A = C_{AC} - C_C \quad (9)$$

$$C_{AC} = [(h_{fc} - h_w) F_w (1.02758 * 10^{-2}) * 24] \quad (10)$$

$$C_c = [(h_{fc} - h_c) F_c (1.02758 * 10^{-2}) * 24] \quad (11)$$

$$V_c = [(h_c)(F_c)(1.02758 \times 10^{-2}) * 24] \quad (12)$$

$C_{AC}$ : costo de energético para el agua de calderas (M\$/día)

$C_C$ : costo energético del condensado (M\$/día)

$V_c$ : valor energético del condensado (M\$/día)

$F_W$ : flujo de agua de alimentación a las calderas (lb/h)

$F_c$ : flujo del condensado (lb/h)

$h_{fc}$ : entalpía del agua de alimentación en las calderas a las condiciones del desaireador (BTU/lb).

$h_w$ : entalpía del agua de calderas a la entrada del desaireador  
: 50 (BTU/lb).

$h_c$ : entalpía del condensado a las condiciones de entrada al desaireador (BTU/lb).

## 2. Ahorro en el consumo de agua de reposición.

En servicios industriales refinería el agua de alimentación a las calderas se compone de una mezcla 1:1 de agua suavizada y agua desmineralizada.

Los costos de agua suavizada y desmineralizada en el primer trimestre del 2005 son:

- agua suavizada: 3500 (\$/kgal)
- agua desmineralizada: 10500 (\$/kgal)

El ahorro se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{7 * 24 * 60 * F_{CR}}{10^6} \quad (11)$$

A: Ahorro por recuperación de condensado (M\$/día)

$F_{CR}$ : flujo de condensado recuperado (gpm)

3. Ahorro en los costos de tratamiento químico del agua de alimentación a calderas procedente del desaireador.

Para determinar los costos en el tratamiento del agua de alimentación a calderas procedente del desaireador es necesario determinar las dosificaciones adecuadas que permitan lograr óptimos resultados en el tratamiento químico, estas dosificaciones van de acuerdo a las propiedades fisicoquímicas del agua de restitución o del condensado que ingresa a los desaireadores; los flujos de agua de alimentación y la cantidad de vapor producido.

Los costos de los productos para el tratamiento químico son suministrados por los proveedores y los costos para el tratamiento químico se determina de acuerdo al siguiente algoritmo de cálculo:

- a) Cantidad de producto en *ppm*:

Amina:  $(0.35 \cdot A)$

Sulfito:  $2.5 + (10 \cdot C_{O_2}) + 1.6 (RS/CC)$  (12)

Dispersante:  $14.3 \cdot (D + 18 \cdot C_{Fe})$

*A: alcalinidad en ppm de  $CaCO_3$*

*D: dureza en ppm*

*$C_{Fe}$ : concentración de hierro en ppm*

*$C_{O_2}$ : concentración de oxígeno en ppm*

*RS: residual de sulfito en ppm*

CC: ciclos de concentración

$$: \frac{\text{Alcalinidad de la purga}}{\text{Alcalinidad agua de alimentación a calderas}} \quad (13)$$

b) Dosificación necesaria en *litros/turno*:

Amina:  $F_A * 0.00378 * \text{Cantidad de producto}$

Sulfito:  $F_A * 0.00289 * \text{Cantidad de producto}$  (14)

Dispersante:  $F_A * 0.00491 * \text{Cantidad de producto}$

c) Costos del tratamiento químico: (15)

Amina:  $(\text{Dosificación} * \text{costo amina} * \text{densidad de producto}) / F_V$

Sulfito:  $(\text{Dosificación} * \text{costo sulfito} * \text{densidad de producto}) / F_V$

Dispersante:  $(\text{Dosificación} * \text{costo dispersante} * \text{densidad de producto}) / F_V$

*Densidad: definida por cada proveedor (Kg/L).*

*Costo de productos químicos: definidos por cada proveedor (\$/Kg)*

*Fv: flujo de vapor producido (Klbh).*

*Fp: flujo purga, se determina de acuerdo a la alcalinidad del agua de alimentación y de la purga, se tomo como base de cálculo igual a 1% del Flujo de alimentación de agua a calderas.*

*Fv:  $F_A - F_p: 99\% * F_A$*

*F<sub>A</sub>: flujo agua alimentación (Klb/h)*

## 2.7 Metodología para determinar propiedades fisicoquímicas del condensado

Durante los procesos donde se utiliza vapor y se genera condensado se presenta arrastre de impurezas que ocasionan variaciones en las propiedades fisicoquímicas del condensado. En comparación al agua de alimentación a calderas la calidad del condensado se considera mayor debido a los niveles más bajos de dureza, alcalinidad y sílice. Las propiedades fisicoquímicas del vapor se presentan en la tabla 14, estas mismas propiedades se esperarían para el condensado si en las líneas de retorno y los equipos donde se utiliza vapor no se presentaran arrastre de impurezas. Se realizó una caracterización del condensado a la entrada de los desaireadores en cada una de las áreas utilizando los métodos analíticos estándares en la refinería, que permitirán evaluar los costos del tratamiento fisicoquímico en la remoción de impurezas al agua antes de entrar a las calderas en comparación al agua de calderas proveniente de Planta de Aguas, los resultados se presentan en el siguiente capítulo en la tabla 37.

Tabla 14. Propiedades físico-químicas del vapor.

Propiedades	Unidad	Rango adecuado
pH		8 - 9
Dureza	ppm	0 - 0.1
Alcalinidad	ppm	5 -15
Cloruros	ppm	< 35
Concentración de oxígeno	ppm	< 0.01
Concentración de hierro	ppm	< 0.1
Concentración de sílice	ppm	10-15 ppm

### 3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA

En éste capítulo, se presentan una serie de datos teóricos y experimentales recopilados y calculados durante la ejecución del proyecto.

#### 3.1 Sistema actual de recuperación de condensado

##### 3.1.1 Área Sur

##### U-950

Durante las inspecciones a la unidad se encontraron las siguientes anomalías tabla 15:

Tabla 15. Observaciones del sistema de recuperación de condensado U-950

<i>Descripción</i>	<i>Operación</i>	<i>Observaciones</i>
• Distral		
Línea de condensado de 25 Psig	Anormal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto contenido de vapor en la línea.</li> <li>• No hay recuperación de condensado en tanque K-900</li> </ul>
Línea de condensado de 150 Psig	Anormal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descarga de condensado de turbina de ventiladores de 25 Psig y líneas de atomización de 400 Psig.</li> <li>• Altas temperaturas, contenido de vapor y presionamiento en las líneas. No recuperación de condensado en tanque K-900</li> </ul>
Línea de condensado de 400 Psig	Anormal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas temperaturas.</li> <li>• No hay recuperación de condensado en tanque K-955</li> </ul>
• Nuevas		
Línea de condensado de 25,150	Anormal	No cuenta con un sistema de

y 400 Psig		recuperación de condensado proveniente de trampas de vapor.
------------	--	---

## U-900

La unidad recupera el condensado de los equipos descritos en la tabla 7, en el resto de la unidad no se cuenta con un sistema de recuperación de condensado.

### Línea principal de refinería:

- Topping:

Tabla 16. Observaciones en el área de Topping.

<i>Topping</i>	<i>Observaciones</i>
Unidad U-150	Operación anormal debido a alto contenido de vapor en la líneas de condensado. El condensado no se esta recuperando.
Unidad U-200	
Unidad U-2000	No posee sistema de recuperación de condensado de los equipos y trampas de vapor existente. No se encuentran
Unidad U-2100	

- *Unidad de craqueo catalítico Modelo IV:* el condensado originado en esta planta de proceso es recuperado. En la línea que va hacia la línea principal de refinería no se encuentran instalados instrumentos de medición de presión y temperatura.
- *Unidad de craqueo catalítico Orthoflow:* operación anormal del sistema de recuperación de condensado ocasionado por contaminación, altas temperaturas y presionamiento en la línea de recuperación de condensado. El condensado no se está recuperando.
- *Unidad de especialidades:* operación anormal ocasionada por la carencia de un equipo de bombeo que permita utilizar el sistema de

*evaporación* (vapor flash) con que se cuenta y evitar que el condensado tenga altas cantidades de vapor y este a altas temperaturas. El condensado no es recuperado.

### **Línea principal de recuperación de condensado de parafinas**

El condensado proviene de los siguientes equipos de la planta de parafinas donde se observaron las siguientes anomalías presentadas en la tabla 17.

Tabla 17. Observaciones línea principal de recuperación de condensado parafinas.

<i>Origen del condensado</i>	<i>Observaciones</i>
Drum D-1283 de recuperación de condensado de trampas de vapor	Operación anormal ocasionada por la carencia de un equipo de bombeo que permita utilizar el sistema de evaporación ( <i>flasheo</i> ) con que se cuenta y evitar altas cantidades de vapor y altas temperaturas. El condensado no es enviado a la línea principal de recuperación de condensado de parafinas.
Drum D-1155 de recuperación de condensado de intercambiadores	El condensado no es enviado a la línea principal de recuperación de condensado de parafinas, por presentar alta temperatura y bajo pH.
Condensado de intercambiadores E-1241 y E-1246	El condensado no es enviado a la línea principal de recuperación de condensado de parafinas, por presentar alta temperatura y dureza.
Trampas de vapor del sistema de calentamiento de tanques.	Condensado de 50 y 150 Psig es retornado al mismo sistema de recuperación de condensado, no hay indicadores de presión y temperatura y una instalación adecuada de las trampas. El condensado presenta alta temperatura y vapor.

### 3.1.2 Área Norte

#### U-2400

La línea de recuperación de condensado de 150 Psig presenta operación anormal ocasionada por descarga de condensado de 25 psig y 400 psig generando altas temperaturas, presencia de vapor y presionamiento, aún así el condensado se está recuperando.

#### U - 14

En las líneas de calentamiento de combustóleo se observa:

- Fallas en la instalación de las trampas de vapor.
- Escapes en todo el sistema de calentamiento.
- Carencia de instrumentos de medición de temperatura y presión.

#### Línea principal de recuperación de condensado de central del norte.

- *Alquilación*: actualmente el condensado no es recuperado debido a presencia de contaminantes.
- *Etileno*: no se encuentran instalados instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura en la línea de retorno de condensado.
- *Polietileno*: no existe equipo de bombeo por lo tanto el condensado no es recuperado.

### 3.2 Diagnóstico de trampas de vapor

En el recorrido por las diferentes áreas se observó instalación inadecuada de trampas termodinámicas, la presencia del denominado “corto circuito” que se presenta cuando se tiene una sola trampa conectada a más de una tubería de descarga, suministro de condensado por la parte inferior en los tanques K-

955 y K-900, trampas de vapor descargando a drenajes, escapes en las líneas de condensado, trampas conectadas en serie, trampas deterioradas, y trampas mal dimensionadas.

### 3.2.1 Área sur

#### U-900

La unidad 900 tiene un total de 42 trampas de vapor termodinámicas y 6 trampas de vapor tipo flotador, las trampas de vapor tipo flotador están ubicadas en los precalentadores de aire y de agua para las calderas. El 66% de las trampas termodinámicas se encuentran operando en falla según el monitoreo realizado presentado en la tabla 18.

Tabla 18. Cantidad de trampas de vapor termodinámicas U-900

<i>Origen del condensado</i>	<i>Número de trampas</i>	<i>Presión (Psig)</i>	<i>Marca</i>	<i>Diámetro (in)</i>	<i>Descarga típica (lb./h)</i>
Calentamiento de combustóleo	6	150		½	1000
Admisión turbinas de bombas	8	150	Spirax sarco TD52	¾	1450
Descarga en turbinas de bombas	5	150		¾	1450
Línea principal de vapor	1	150		1	2200
Vapor de atomización	4	150		¾	1450
Deshollinado	4	400	Spirax sarco TD52	½	1630
Deshollinado	2	400		¾	2430
Deshollinado	1	400		1	3780
Admisión de turbinas de bombas	2	400		1	3780
Admisión de turbinas de bombas	2	400		¾	2430
Descarga de turbinas de bombas	7	25	Spirax sarco TD52	1	930
<i>Total trampas de vapor</i>	42				

## U-950

La unidad 950 tiene un total de 32 trampas de vapor termodinámicas de las cuales el 56% se encuentran operando en falla según el monitoreo realizado, los resultados se observan en la tabla 19.

Tabla 19. Cantidad de trampas de vapor termodinámicas U-950

<i>Origen del condensado</i>	<i>Número de trampas</i>	<i>Presión (Psig)</i>	<i>Marca</i>	<i>Diámetro (in)</i>	<i>Descarga típica (lb/h)</i>
Descarga de turbinas de bombas y ventiladores	6	25	Spirax sarco TD52	3/4	640
Línea principal de vapor	1	150	Spirax sarco TD52	1/2	1000
Economizador calderas nuevas	2	150		1/2	1000
Calentamiento de combustóleo	7	150		3/4	1450
Admisión en turbinas de bombas	3	150		1/2	1000
Vapor de atomización	3	150		1/2	1000
Vapor de atomización	3	400	Spirax sarco TD52	1/2	1630
Deshollinado	3	400		3/4	2430
Línea principal de vapor	1	400		1/2	1630
Admisión en turbinas	3	400		3/4	2430
<i>Total trampas de vapor</i>	32				

### 3.2.2 Área norte

## U-2400

La unidad 2400 tiene un total de 71 trampas de vapor termodinámicas, 3 trampas de vapor tipo flotador y 2 balde invertido, las trampas tipo flotador y

balde invertido están ubicadas en los precalentadores de aire de las calderas. El 49% de las trampas de vapor termodinámica se encuentran operando en falla, los resultados se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Cantidad de trampas de vapor termodinámicas U-2400

<i>Origen del condensado</i>	<i>Número de trampas</i>	<i>Presión (Psig)</i>	<i>Marca</i>	<i>Diámetro (in)</i>	<i>Descarga típica (lb./h)</i>
Línea principal de vapor	1	25	Spirax	1/2	465
Descarga de turbinas	9	25	sarco	1/2	465
Descarga de turbinas	3	25	TD52	3/4	640
Línea principal de vapor	2	150	Spirax	3/4	2430
Calentamiento de combustóleo	18	150	sarco	1/2	1000
Línea vapor de atomización	15	150	TD52	1/2	1000
Vapor de atomización	5	400	Spirax	1/2	1630
Deshollinadores	10	400	sarco	3/4	2430
Línea principal de vapor	1	400	TD52	1	3780
Admisión en turbinas	7	400		3/4	2430
<i>Total trampas de vapor</i>	71				

#### U-14

La unidad 14 tiene un total de 52 trampas de vapor termodinámicas de las cuales el 45% se encuentran operando en falla, ver tabla 21.

Tabla 21. Cantidad de trampas de vapor termodinámicas U-14

<i>Origen del condensado</i>	<i>Número de trampas</i>	<i>Presión (Psig)</i>	<i>Marca</i>	<i>Diámetro (in)</i>	<i>Descarga típica (lb./h)</i>
Calentamiento de combustóleo	2	25	Spirax sarco TD52	1/2	465
	37	150		1/2	1000
	9	150		3/4	1450
	2	150		3/4	1450
	2	150		1	2200
<i>Total trampas de vapor</i>	52				

### 3.3 Cantidad de condensado a recuperar

Utilizando el diagnóstico de trampas de vapor reportado en las tablas 15, 16 y 17, y a los balances de energía planteados en las ecuaciones 4,5,6, y 7 se determinan las cantidades de condensado a recuperar en las área de vapor y energía las cuales son indicadas en la tabla 22 y 23.

Tabla 22. Condensado a recuperar en el áreas de vapor y energía

	<i>Equipos</i>	<i>Presión línea descarga (Psig)</i>	<i>Flujo de condensado (gpm)</i>	
			<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Unidad U-950	Precalentadores de aire	25	16.03	0
	Precalentador de agua	25	1.98	1.98
	Trampas de vapor	25	3.072	0
	Trampas de vapor	150	15.32	0
	Trampas de vapor	400	16.88	0
	Unidad de craqueo catalítico Orthoflow "U-500"	35	120	120
	<i>Total Unidad U-950</i>			<i>173.28</i>
Unidad U-900	Precalentadores de aire	25	18.52	18.52
	Precalentador de agua	25	33.44	33.44
	Trampas de vapor	25	5.2	0
	Trampas de vapor	150	26.28	0
	Trampas de vapor	400	22.064	0
	Turbo generadores TG-901/2/3	40	100	100
	Turbo generadores TG-951/2	45	220	220
<i>Total Unidad U-900</i>			<i>425.50</i>	<i>371.96</i>
Unidad U-2400	Precalentadores de aire	25	20.1	20.1
	Trampas de vapor	25	5.25	5.25
	Trampas de vapor	150	30.28	30.28
	Trampas de vapor	400	42.59	42.59
	<i>Total Unidad U-2400</i>			<i>98.22</i>

Tabla 23. Condensado a recuperar en las líneas principales de retorno.

	<i>Equipos y plantas de proceso</i>		<i>Flujo de condensado (gpm)</i>	
			<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Línea principal de parafinas	Trampas de vapor descargando a D-1283		14	0
	Intercambiadores descargando a D-1155		30	0
	Intercambiadores E-1241 y E-1246		47	0
	Trampas de vapor de tanques de calentamiento		10	0
	<i>Total parafinas</i>		<i>101</i>	<i>0</i>
Línea principal de refinería	Topping		50	0
	Unidad de craqueo catalítico Modelo IV "U-300"		140	140
	Unidad de craqueo catalítico Orthoflow "U-500"		120	0
	Unidad de especialidades		40	0
	<i>Total refinería</i>		<i>350</i>	<i>140</i>
Línea principal de central del norte	Unidad U-14	E-2440 A/B	17	17
		Trampas de vapor	50	0
	Unidad de craqueo catalítico "UOPII"		150	100
	Etileno		50	50
	Polietileno		60	0
	Aromáticos		30	30
	Turbogeneradores TG-2401/2/3		360	360
	Alquilación		100	0
<i>Total central del norte</i>		<i>817</i>	<i>557</i>	

### 3.4 Indicador de recuperación de condensado.

En las tablas 24,25 y 26 se presentan las corrientes que intervienen en el balance de masa realizado para cada uno de los desaireadores, que permiten determinar utilizando la ecuación 8 el índice de recuperación de condensado.

Tabla 24. Flujo de condensado al desaireador DH-902

<i>DH-902</i>		<i>Flujo entrada de condensado (gpm)</i>	
		<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Línea principal de parafinas		101	0
Descarga de bomba M/NP 903	Trampas de vapor U-950	552.96	291.96
	Pre calentadores de aire		
	Pre calentador de agua E-913 y E-914		
	Turbogeneradores TG-901/2/3		
Línea principal de refinería			
Condensado del vapor de 25 Psig		72	72
<i>Flujo total de condensado</i>		<i>725.96</i>	<i>363.96</i>

Tabla 25. Flujo de condensado al desaireador DH-957

<i>DH-957</i>		<i>Flujo entrada de condensado (gpm)</i>	
		<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Turbogeneradores TG-951, TG-952		110	110
Condensado del vapor de 25 Psig		80.2	80.2
<i>Flujo total de condensado</i>		<i>190.2</i>	<i>190.2</i>

Tabla 26. Flujo de condensado al desaireador DH-958

<i>DH-958</i>		<i>Flujo entrada de condensado (gpm)</i>	
		<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Intercambiador "economizador" E-952		1.98	1.98
Manifold de condensado de:	Unidad de craqueo catalítico "Orthoflow"	270	230
	Unidad de especialidades		
	Turbogeneradores TG-951, TG-952		
Condensado del vapor de 25 Psig		32	32
<i>Flujo total de condensado</i>		<i>303.98</i>	<i>263.98</i>

Tabla 27. Flujo de condensado al desaireador DH-2421/2

<i>DH-2421 y DH-2422</i>		<i>Flujo entrada de condensado (gpm)</i>	
		<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Línea principal de central del norte		817	557
Manifold de condensado	Línea de 25 Psig	98.2	98.2
	Línea de 150 Psig		
	Línea de 400 Psig		
Condensado del vapor de 25 Psig		250	250
<i>Flujo total de condensado</i>		<i>1165.2</i>	<i>905.2</i>

Tabla 28. Indicador de recuperación de condensado en las calderas

<i>Equipos</i>		<i>Flujo agua alimentación a calderas (gpm)</i>	<i>Flujo entrada de condensado (gpm)</i>		<i>Índice Condensado (%)</i>	
			<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>	<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Unidad U-900	DH-902	720	725.96	363.96	100.8	50.5
Unidad U-950	DH-957	1122	494.18	454.18	44.04	40.48
	DH-958					
Unidad U-2400	DH-2421	2500	1165.2	905.2	46.6	36.20
	DH-2422					

### 3.5 Condiciones de operación y diseño

Para la evaluación de las condiciones de operación del sistema de recuperación de condensado, se revisó la caída de presión en las líneas que manejan alta cantidad de flujo “líneas principales” (>100 gpm); se utilizaron instrumentos de medición de presión, para determinar si el flujo de condensado retorna a desaireadores y tanques de almacenamiento de agua de alimentación ó restitución para calderas. Así mismo se revisó la temperatura de las líneas de condensado en las plantas de proceso que presentan altas temperaturas, los datos de el monitoreo realizado se puede ver en el anexo H.

Para la evaluación de las condiciones de diseño de las líneas de retorno de condensado, se revisaron los diámetros actuales basados en los flujos y el perfil de presiones a lo largo de las líneas principales los resultados se presentan en la tabla 29,30,31 y 32. La presión inicial y final de cada línea principal se consideró de acuerdo a cada perfil observado en la descarga de cada uno de los sistemas de recuperación de condensado hacia las líneas principales y en la entrada a cada uno de los sistemas de retorno y almacenamiento de condensado (manifold, tanques, desaireadores).

Tabla 29. Revisión de diámetros de líneas internas en unidad U-950

<i>Parámetros</i>	<i>Línea de retorno</i>	<i>Pre calentador de agua calderas B-951</i>	<i>Línea de retorno</i>	<i>Línea de retorno</i>
Presión inicial de la línea (Psig)	25	25	150	400
Presión final de la línea (Psig)	15	15	40	100
Flujo de condensado (lb/h)	9551	1.98	7660	8440
Vapor flash (%)	2.5	2.5	10.12	14.12
Flujo de vapor flash (lb/h)	238.77	4.95	775.92	1192.05
Volumen del vapor flash (ft <sup>3</sup> /lb)	26.29	26.29	10.501	4.434
Schedule	40	40	40	40
Diámetro actual (in)	2	1 1/2	2 1/2	2 1/2
Velocidad vapor flash actual (ft/min)	4795.46	176.74	3983.72	2584.26
Diámetro recomendado (in)	3	-----	3	-----
Velocidad del vapor flash recomendada (ft/min)	2131.31	-----	2766.46	-----

Tabla 30. Revisión de diámetros de líneas internas en unidad U-900

<i>Parámetros</i>	<i>Línea de retorno de trampas de vapor y precalentador de aire</i>	<i>Precalentador de agua calderas E-913/14</i>	<i>Línea de retorno</i>	<i>Línea de retorno</i>
Presión de la línea (Psig)	25	25	150	400
Presión del sistema donde descarga (Psig)	15	15	40	100
Flujo de condensado (lb/h)	11860	16720	13140	11032
Vapor flash (%)	2.5	2.5	10.12	14.12
Flujo de vapor flash (lb/h)	296.5	418	1329.7	1557.7
Volumen del vapor flash (ft <sup>3</sup> /lb)	26.29	26.29	10.501	4.434
Schedule	40	40	40	4
Diámetro actual (in)	No existe línea de recuperación	2	No existe línea de recuperación	No existe línea de recuperación
Velocidad vapor flash actual (ft/min)	-----	8395.12	-----	-----
Diámetro recomendado (in)	3	4	4	3
Velocidad vapor flash recomendada (ft/min)	2646.62	2098.73	2666.76	2345.07

Tabla 31. Revisión de diámetros de líneas internas en unidad U-2400

<i>Parámetros</i>	<i>Línea de retorno de trampas de vapor y precalentador de aire</i>	<i>Línea de retorno</i>	<i>Línea de retorno</i>
Presión de la línea ( Psig)	25	150	400
Presión del sistema donde descarga (Psig)	15	40	100
Flujo de condensado (lb/h)	12675	15140	21295
Vapor flash (%)	2.5	10.12	14.12
Flujo de vapor flash (lb/h)	316.8	1532.16	3006.8
Volumen del vapor flash (ft3/lb)	26.29	10.51	4.434
Schedule	40	40	40
Diámetro actual (in)	2	2 1/2	2 1/2
Velocidad del vapor flash actual (ft/min)	6367.48	7866.38	6518.5
Diámetro recomendado (in)	3	4	4
Velocidad recomendada para el vapor flash (ft/min)	3000	3072.8	2546.3

Tabla 32. Líneas principales de recuperación de condensado

<i>Parámetros</i>	<i>Línea principal de refinería</i>	<i>Línea principal de parafinas</i>	<i>Línea principal central del norte</i>
Presión de la línea(Psig)	40	50	60
Presión del sistema donde descarga (Psig)	15	20	25
Flujo de condensado(lb/h)	175000	50500	408500
Vapor flash (%)	5.6	5.62	5.64
Flujo de vapor flash (lb/h)	9920.32		

Volumen del vapor flash (ft <sup>3</sup> /lb)	26.29	20.09	16.306
Schedule	40	40	40
Diámetro actual (in)	4	6	6
Velocidad del condensado actual(ft/min)	49790.37	1353.88	31888.67
Diámetro recomendado(in)	10	-----	12
Velocidad del condensado recomendada (ft/min)	7969.7	-----	7972.17

### 3.6 Propiedades fisicoquímicas del condensado

Las propiedades fisicoquímicas de los condensados recuperados se determinan experimentalmente analizando el condensado en las líneas de entrada a cada uno de los desaireadores, utilizando los métodos analíticos descritos en el anexo I. Los resultados de las propiedades fisicoquímicas se describen en el anexo J y los promedios se presentan en la tabla 33.

Tabla 33. Propiedades fisicoquímicas del condensado en las áreas de vapor y energía.

	<i>Alcalinidad</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza</i>	<i>Oxígeno</i>	<i>Hierro</i>	<i>Residual sulfito</i>
	<i>ppm de CaCO<sub>3</sub></i>		<i>ppm</i>	<i>ppm</i>	<i>ppm</i>	<i>ppm</i>
DH 902	14	7.9	0.15	0.015	0.10	10
DH 957	12	7.9	0.05	0.01	0.08	9
DH 958	11	8.1	0.12	0.02	0.09	11
DH 2421/2	10	8	0.08	0.012	0.11	12

### 3.7 Beneficios económicos en la recuperación de condensado

La recuperación de condensado tiene una gran importancia por el costo que lleva involucrado el tratamiento del agua para calderas, por las unidades

térmicas que aún pueden ser utilizadas y por el costo en sí del agua que se utiliza para generación de vapor; es por esto que uno de los factores que más afectan la eficiencia económica de una planta, es precisamente esta recuperación de condensados.

La recuperación de condensado es una de las alternativas que permite:

1. Ahorro de energía, el ahorro se calcula aplicando la ecuación (10), y el valor energético del condensado se calcula aplicando la ecuación (9). En la tabla 35 se presenta el impacto económico que representa utilizar condensado como agua de alimentación debido a su condición térmica.

Tabla 34. Valor energético del condensado

<i>Desaireadores</i>	<i>Entrada a desaireadores</i>			<i>Valor energético del condensado (M\$/día)</i>	
	<i>T (°F)</i>	<i>Presión (Psig)</i>	<i>Entalpía (Btu/lb)</i>		
				<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
DH 902	150	25	118,011	10.56	5,30
DH 957	105	30	73,11	1.71	1.71
DH 958	110	25	78,09	2.93	2.54
DH 2421/2	115	35	83,09	11.94	9,27
<b>Total</b>				<b>27.14</b>	<b>18.83</b>

Tabla 35. Beneficio energético del condensado

<i>Desaireadores</i>	<i>Costo energético del agua de calderas (M\$/día)</i>	<i>Costo energético del condensado (M\$/día)</i>	<i>Beneficio energético del condensado (M\$/día)</i>
DH 902	11,64	5,61	6,04
DH 957	12,97	10,68	2,29
DH 958	5,18	4,07	1,11
DH 2421/2	40,43	30,23	10,20
<b>Total</b>	<b>70,22</b>	<b>50,58</b>	<b>19,64</b>

2. Ahorro en el consumo de agua de reposición.

El costo base del condensado para los cálculos presentados en la tabla 36 es de 10500 (\$/Kgalón).

Tabla 36. Valor del condensado recuperado en las áreas de vapor y energía

	Flujo de condensado (gpm)		Valor del condensado (M\$/día)	
	Diseño	Recuperado	Diseño	Recuperado
Unidad 950	173,282	121,98	2,62	1,84
Unidad 900	425,5	371,96	6,43	5,62
Unidad 2400	98,22	98,22	1,49	1,49
Línea principal parafinas	101	0	1,53	0
Línea principal refinería	350	140	5,3	2,12
Línea principal central norte	817	557	12,35	8,42
Total	1965	1289,2	29,71	19,49

Para calcular el impacto económico por la recuperación de condensado como agua de alimentación a calderas, se toma como base de cálculo 7000 (\$/KGalón) y los datos de la tabla 28.

Tabla 37. Beneficio económico por recuperación de condensado como agua de alimentación a calderas.

<i>Equipos</i>		<i>Costo de agua alimentación a calderas (M\$/día)</i>	<i>Ahorro por recuperación de condensado (M\$/día)</i>	
			<i>Diseño</i>	<i>Recuperado</i>
Unidad U-900	DH-902	7,27	7,32	3,67



De acuerdo a las condiciones de diseño del sistema actual de recuperación, la cantidad de condensado recuperado no corresponde a la totalidad del agua necesaria para el suministro de agua de alimentación a calderas, por lo tanto sería necesario utilizar agua de calderas. Para calcular el costo actual de tratamiento químico, se determinan las propiedades fisicoquímicas de la mezcla agua de calderas condensado y se reportan en el anexo M. En la tabla 38 se presenta el impacto económico al recuperar el condensado.

Tabla 39. Costo actual de tratamiento químico vs Beneficio económico actual.

Desaireadores	<i>Flujo de alimentación de agua a calderas (Klb/h)</i>		<i>Costo de tratamiento químico</i>	<i>Beneficio Económico</i>
	Condensado "Recuperado"	<i>Agua de calderas</i>	<i>(\$/Klb de vapor)</i>	<i>(\$/Klb de vapor)</i>
DH-902	181	179	56.72	11.7
DH-957	95	306	51.63	16.79
DH-958	132	28	50.46	17.96
DH-2421/2	453	797	58.94	9.48
Total	861	1310	217.75	55.93

### 3.8 Condensado vs. Generación de vapor

En las áreas de vapor y energía de la refinería se produce vapor sobresaturado a 400 Psig y 750 °F, el cual es enviado a la línea principal de vapor de la refinería, donde es distribuido a las plantas de proceso a una presión de 400 Psig y degradado a unas presiones requeridas (25,50,150, Psig), por lo tanto parte de la energía contenida en el condensado de 400 Psig es desperdiciada y parte de esta energía es aprovechada con el retorno de condensado al sistema de recuperación. En la tabla 39 se presenta el porcentaje de calor desperdiciado.

Tabla 40. Calor del condensado desperdiciado respecto al vapor generado.

<i>Desaireadores</i>	<i>Vapor</i>		<i>Condensado recuperado</i>	<i>Agua de reposición</i>	<i>Calor desperdiciado</i>
	$h_f$	$h$	Entalpía (Btu/lb)		(%)
DH					
902	424	1390	118,1	50	18.41
957			73,11		21.65
958			78,09		21.29
2421/2			83,09		20.93
<i>Promedio</i>					<i>20.57</i>

$h_f$ : calor sensible del vapor a 400 Psig

$h$ : entalpía del vapor a 400 Psig y 750 °F

El porcentaje total de calor desperdiciado respecto a la generación de vapor se presentan en las tabla 41 y se calcula utilizando los siguientes datos:

Costo del vapor = \$ 6,04 / lb

Costo del condensado = \$ 10.500/Kgal = \$ 1,26 / lb

Costo del agua de alimentación a calderas = \$ 7000/Kgal = \$ 0.84 / lb

Costo Del Condensado Respecto Al Vapor :

$$\frac{\text{CostoDelCondensado}}{\text{CostoDelVapor}} * \text{CalorDesperdiciado} * 100$$

Tabla 41. Perdida total del condensado respecto a la generación de vapor.

<i>Desaireador</i>	<i>Costo agua de alimentación a calderas respecto al vapor</i>	<i>Costo tratamiento químico respecto al vapor</i>	<i>Costo condensado respecto al vapor</i>	<i>Perdida condensado respecto a la generación de vapor</i>
DH	(%)	(%)	(%)	(%)
902	14	0.93	3,84	18,78
957		0.85	4,52	19,37
958		0.83	4,44	19,28
2421/2		0.97	4,37	19,35
Promedio	14	0.895	4,29	19,19

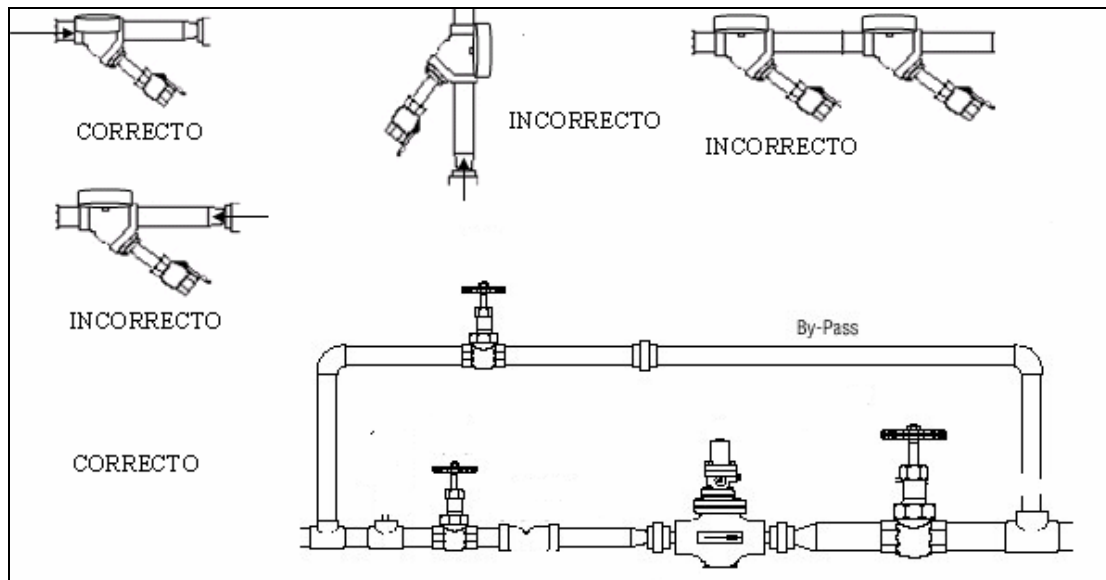
#### **4. ANALISIS DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO**

En este capítulo, se presenta el análisis de las actividades realizadas para la evaluación del sistema de recuperación de condensado

Después de la inspección de cada una de las áreas de vapor y energía donde se realizó el respectivo diagnóstico de las trampas de vapor se puede observar las siguientes anomalías en común en las áreas:

- El 18.6 % de las trampas de vapor termodinámicas de 25 y 400 Psig que se encuentran fallando se debe a que descargan a una misma línea de retorno de 150 Psig lo cual genera retropresión en las trampas de vapor impidiendo el ingreso del condensado proveniente de las trampas de menor nivel de presión, y permitiendo el paso de vapor.
- En el sistema se encuentra trampas de vapor termodinámicas en falla abiertas, generando flujos de vapor hacia las líneas de retorno impidiendo la entrada de condensado a los sistemas de recuperación y generando altas temperaturas que ocasionan golpe de ariete como es el caso de el tanque K-955 y K-900.
- La instalación inadecuada de las trampas termodinámicas, impide que el disco que hace el sello efectúe su trabajo en forma correcta, observar en la figura 2; además éste mecanismo tiene varios inconvenientes como:

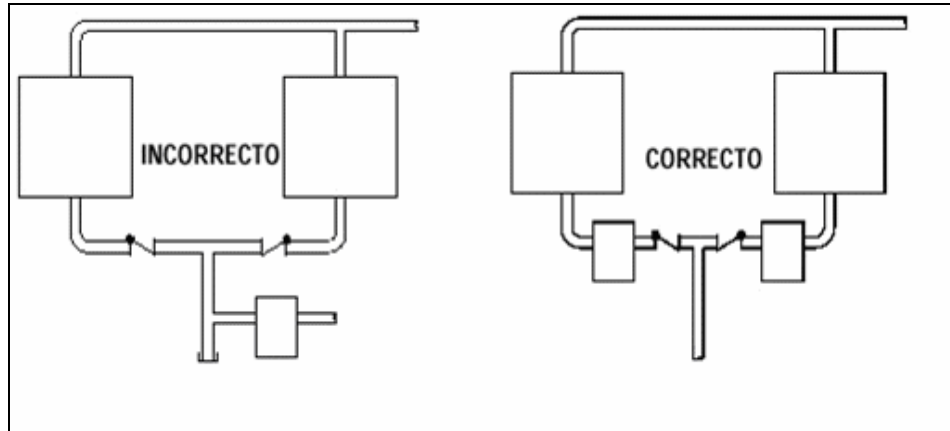
Figura 2. Instalación adecuada de trampas de vapor



1. La vida útil de la trampa es muy corta debido a que no permite el reemplazo ni reparación de partes internas.
2. No poseen un mecanismo que permita evacuar el aire y los gases no condensables que se hallan en las líneas de vapor.
3. Su operación se afecta por la temperatura del medio circulante.

Las ventajas palpables de este tipo de trampas son por una parte, el diseño compacto que tiene su cuerpo que las convierte en una solución excelente para lugares en donde el espacio es muy reducido y la posibilidad de trabajar a altas presiones, con las cuales los otros diseños de trampas no logran realizar un buen desalojo.

Figura 3. Corto circuito en conexión de trampas de vapor.



- Cuando una sola trampa es conectada a más de una tubería de descarga figura 3, es posible que el vapor y el condensado de una o más de las unidades en operación no llegue hasta la trampa. Una pequeña diferencia de presiones es suficiente para permitir que el vapor de la unidad con presión más alta bloquee el flujo de vapor y condensado de la unidad con presión más baja.
- En la parte inferior del tanque de recolección de condensados K-900 hay una entrada principal donde se unen líneas de retorno de 25 psig y de 150 psig en forma simultánea, que debe vencer la presión de la columna de líquido que se encuentra ya almacenado. Lo correcto sería que la entrada de condensado se hiciera por la parte superior, en líneas independientes y que el tubo de descarga se ubicara a una profundidad suficiente para evitar la formación excesiva de vapor flash. Esto mismo se puede aplicar para el tanque K-955 que retoma los condensados de 400 psig.

- Cuando las trampas de vapor termodinámicas fallan abiertas, es posible que el condensado retorne al equipo o línea del cual proviene causando daños a la integridad operativa de los mismos.
- La alta cantidad de trampas de vapor termodinámicas (52) instaladas en los sistemas de calentamiento de combustóleo se debe a su inadecuada ubicación de trampas debido a líneas de calentamiento no continuo a través de la tubería.
- Los precalentadores de aire de las calderas son sistemas donde es necesario la evacuación constante de condensado para asegurar la transferencia de calor, actualmente el sistema de descarga de condensado está compuesto por trampas termodinámicas las cuales se encuentran en falla.
- Existen trampas de vapor en equipos que no poseen líneas de retorno de condensado al sistema de recuperación y ocasionan drenaje de condensado al piso, siendo una fuente de riesgos industriales para el personal y daños en los equipos que están a los alrededores.

Como solución a los puntos mencionados anteriormente, se plantea como alternativas:

- reemplazar trampas de vapor termodinámicas por tipo flotador en los precalentadores de aire para asegurar una constante evacuación de condensado.
- Deshabilitar las trampas de vapor que descargan a líneas de retorno a otro nivel de presión y instalar a la línea de retorno del mismo nivel de presión.

- para disminuir la temperatura en la línea principal de recuperación de condensado de parafinas se propone deshabilitar la líneas de trampas de vapor termodinámicas ubicadas en los sistema de calentamiento en tanques de almacenamiento de materia prima de parafinas, donde se propone evaluar la posibilidad de enviar el condensado al tanque de flasheo K-1283 en la planta de parafinas.
- las trampas de vapor termodinámicas que presentan baja temperatura, escapes, fugas de vapor, o se encuentran bloqueadas; es necesario reemplazarlas por unas nuevas, debido a que el desgaste del disco no permite un buen sello de la trampa y al rectificar el disco para repararlo no se logra tampoco un buen sello, por lo tanto la trampa seguirá permitiendo paso de vapor.
- Instalación de un cuadro de control como el de la figura 2. en las trampas de vapor para permitir la realización de mantenimiento. Con el cambio sugerido se puede realizar mantenimiento, y mejorar de la eficiencia del proceso.
- Instalación y adecuación de un sistema de recuperación de condensado de la unidad U-900 teniendo en cuenta los diámetros especificados para cada línea de retorno, en el anexo C se observa el sistema propuesto.
- Para permitir la entrada de condensado de 25 y 150 Psig en la unidad U-950, se propone hacer el ingreso de las líneas al tanque K-955 por la parte superior y asegurar que el tubo de descarga se descargue a una profundidad suficiente para evitar la formación excesiva de vapor flash utilizando un sistema de recuperación de condensado mecánico “trampa – bomba”.

Después de determinar las condiciones de operación de las líneas principales, las propiedades fisicoquímicas del condensado, las cantidades de condensado recuperado y sus beneficios se puede analizar lo siguiente:

- La contaminación que se presenta en los condensados de plantas de proceso se debe a presencia de hidrocarburos y altas cantidades de hierro, ocasionando corrosión en los sistemas de retorno. Es necesario establecer mecanismos de control en el tratamiento químico del vapor para evitar daños a la integridad operativa de los equipos en las plantas de proceso y los sistemas de recuperación.
- En todo el sistema de recuperación de condensado debe existir instrumentos que permitan el monitoreo de las presiones, flujos y temperaturas, así como puntos de muestreo de condensado hacia los sistemas de retorno que permiten conocer la calidad del mismo y evitar fallas en los sistemas de retorno.
- En base al perfil de presiones realizado para las líneas principales de retorno es necesario establecer planes periódicos de monitoreo con el fin de determinar las presiones necesarias a la llegada a los sistemas de recuperación (tanques, desaireadores).
- Un aumento de la velocidad del movimiento relativo entre una solución corrosiva “condensado” y una superficie metálica tiende a acelerar la corrosión. Este efecto se debe a la mayor rapidez con que los productos químicos corrosivos llegan a la superficie que se corroe. Es por esto que es indispensable controlar las caídas de presión en las

líneas de retorno para controlar aumentos del flujo de vapor flash menores a 1000 ft/min/diámetro de tubería.

- En el diseño de las líneas de condensado el diámetro de la tubería debe dimensionarse respecto a la cantidad de vapor flash formado, para asegurar que la línea tiene la capacidad de transportar todo el flujo de condensado.
- El condensado es agua tratada que ha sido filtrada, desmineralizada y desaireada y tiene mejor calidad que el agua de calderas, al no recuperarlo la pérdida de condensado equivale al 15.6% del total de agua de alimentación a calderas y representa un desperdicio económico de 10.22 M\$/día y energético de 809 MBTU/día que en total corresponde al 19.2% de pérdida respecto al costo de la Klb de vapor.
- El indicador de recuperación de condensado es una herramienta útil para el análisis operacional que permite identificar de forma más rápida fallas en los sistemas de recuperación de condensado y tomar decisiones en el mejoramiento de los procesos. El mayor índice de recuperación de condensado se obtendrá cuando se recupere toda la cantidad de condensado según los datos de diseño del sistema actual debido a la falta de líneas de recuperación de condensado en todas las plantas de proceso que aseguren un 100 % de recuperación del agua alimentada a las calderas.
- El pH es un parámetro fundamental para controlar la calidad del agua de calderas, condensado y agua de alimentación a calderas. En un intervalo de pH entre 8-9 la velocidad de reacción del sulfito con el oxígeno es mayor, se controla la velocidad de corrosión en metales solubles y el CO<sub>2</sub> es neutralizado.

- La cantidad de CO<sub>2</sub> es proporcional a la alcalinidad. Es deseable una alcalinidad del condensado entre 8-15 ppm para minimizar formación de CO<sub>2</sub>, disminuir las probabilidades de corrosión y reducir costos de tratamiento químico.
- Los parámetros fisicoquímicos del condensado analizados experimentalmente se encuentran cercanos a los intervalos adecuados para el condensado, siendo aún mejores que los parámetros del agua de calderas proveniente de planta de aguas, lo cual implica un ahorro en el tratamiento químico de 21.3 % que equivalen 58.4 \$/Klb de vapor producida. Es necesario mantener los intervalos de las propiedades fisicoquímicas del condensado para disminuir los costos de tratamiento químico.
- El beneficio económico que representa utilizar condensado como agua de alimentación debido a su condición térmica es de 19.64 M\$/día respecto a la energía gastada si se utilizará sólo agua de alimentación a calderas.
- Al utilizar condensado recuperado en las áreas de vapor y energía el beneficio económico en el consumo de agua de calderas proveniente de planta de aguas sería de 17.37 M\$/día.

Como solución a los puntos mencionados anteriormente, se plantea como alternativas:

- Habilitar los sistemas analizadores de carbonos orgánicos totales en cada una de las líneas de recuperación de condensado a la entrada de los desaireadores con el fin de garantizar la calidad del agua que ingresa al desaireador.

- Establecer planes de mantenimiento de los medidores de presión y flujo existentes e instalar medidores de presión en los puntos de encuentro de las líneas de retorno de condensado.
  
- Establecer un plan de monitoreo en las líneas de vapor de 150 y 50 Psig que llegan a la planta de alquiler para identificar el origen de la contaminación por presencia de hierro y alinear el condensado de 400 Psig al sistema de recuperación de condensado que posee una calidad adecuada.

## 5. ANALISIS ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Los costos totales al implementar las recomendaciones propuestas para mejorar el sistema de recuperación de condensado se forman por costos variables y fijos. Los costos fijos no cambian con las cantidades de condensado y los costos variables se determinan en base a datos reportados por los proveedores. Las alternativas evaluadas fueron las siguientes, los detalles de los cálculos se presentan en los anexos N, O, P.

1. Reemplazar trampas de vapor termodinámicas por trampas tipo flotador en los precalentadores de aire de las calderas B-954/5/6 y ubicar las trampas que se encuentran a niveles de presión diferentes en las líneas de recuperación correspondientes a su nivel de presión. Las trampas de vapor están ubicadas en las turbinas de los ventiladores y en las líneas del vapor de atomización de la unidad 950.

### *Costos fijos*

Mano de obra	\$ 480.000
--------------	------------

### *Costos variables*

3 Trampas de vapor tipo flotador	\$ 3.144.000
----------------------------------	--------------

6 Trampas de vapor termodinámicas	\$ 5.169.000
-----------------------------------	--------------

1 Trampa de vapor mecánica “trampa bomba”	\$ 20.000.000
---	---------------

200 ft de tubería acero al carbón	\$ 320.000
-----------------------------------	------------

Accesorios	\$ 2.158.365
------------	--------------

Costo programa de mantenimiento	\$ 12.000.000
---------------------------------	---------------

<i>Inversión total</i>	\$ 43.271.365
------------------------	---------------

2. Costo instalación del sistema de recuperación de condensado propuesto en la unidad 900.

*Costos fijos*

Mano de obra \$ 14.000.000

*Costos variables*

27 Trampas termodinámicas \$ 19.818.000

2000 ft de tubería acero al carbón \$ 3.200.000

Accesorios \$ 6.194.550

Costo programa de mantenimiento \$ 12.000.000

*Inversión total* \$ 55.212.550

3. Costo adecuación de las trampas descargando a niveles de presión diferentes en la unidad 2400 (línea de vapor de atomización).

*Costos fijos*

Mano de obra \$ 240.000

*Costos variables*

180 ft de tubería acero a carbón \$ 288.000

Accesorios \$ 2.404.850

Costo programa de mantenimiento \$ 12.000.000

*Inversión total* \$ 14.932.850

4. Costo adecuación de la línea principal del sistema de recuperación de condensado de parafinas inhabilitando las trampas de vapor ubicadas en la zona de tanques.

*Costos fijos*

Mano de obra \$ 1.200.000

*Costos variables*

50 ft de tubería acero a carbón \$ 80.000

Accesorios \$ 6.600.000

Costo de mantenimiento \$ 12.000.000

*Inversión total* \$ 19.880.000

Tabla 42. Costo del condensado a recuperar según alternativas propuestas

Áreas de vapor y energía a mejorar	Total condensado a recuperar según las alternativas propuestas (gpm)	Costo agua de calderas (\$/Galón)	Costo condensado a recuperar con las alternativas (M\$/año)
U-900	53,544	10500	295,5
U-950	51		283,1
Línea principal Parafinas	91		502,2
Total	195.85		1080,8

La inversión total a realizar para llevar a cabo las alternativas descritas anteriormente sería de M\$ 133.3 y el ahorro obtenido por la recuperación de condensado sería de 1080,8 M\$/año. A una tasa de interés bancaria de 1.5 % anual el retorno de la inversión es en 1.5 meses.

## CONCLUSIONES

- El área de servicios industriales refinería presenta un sistema abierto de recuperación de condensado el cual no brinda una recuperación satisfactoria teniéndose 676 gpm de condensado no recuperado que generan pérdidas anuales alrededor de 1.62 M\$US.
- El consumo de agua para calderas se ve aumentado debido a la disminución de condensado recuperado con lo que se generan mayores costos en la producción de vapor. La disminución de recuperación de condensado es debido a que el 52 % del total de las trampas instaladas fallan, el 5 % del condensado a recuperar está contaminado con hierro, 10% del condensado a recuperar presenta altas temperaturas y flujo de vapor flash en las líneas, y el 8% del condensado a recuperar de las plantas de proceso carece de sistema o equipos recuperadores.
- En comparación con el agua para calderas el beneficio obtenido en el tratamiento químico de condensado recuperado en el área de vapor y energía equivalen a 58.4 \$/Klb de vapor producido., el beneficio por las unidades térmicas que pueden ser utilizadas equivale a 19,64 M\$/día y por el agua que se utiliza para generación de vapor de 44 M\$/día, lo cual nos indica la importancia de establecer mecanismos de monitorio que permitan aumentar las cantidades de condensado a recuperar.
- Una menor cantidad recuperada de condensado representa más consumo y costos de tratamiento químico del agua de alimentación a calderas a causa de trampas de vapor deterioradas e instaladas de

forma incorrecta, carencia de equipos, sistemas de recuperación de condensado y programas de mantenimiento preventivo a equipos y trampas de vapor; y un adecuado control de calidad de las propiedades fisicoquímicas del condensado.

- Dados los altos costos que tiene el agua de alimentación a calderas, cualquier alternativa que genere un ahorro económico es justificable, lo cual hace factible llevar a cabo las reformas al sistema planteadas.

## RECOMENDACIONES

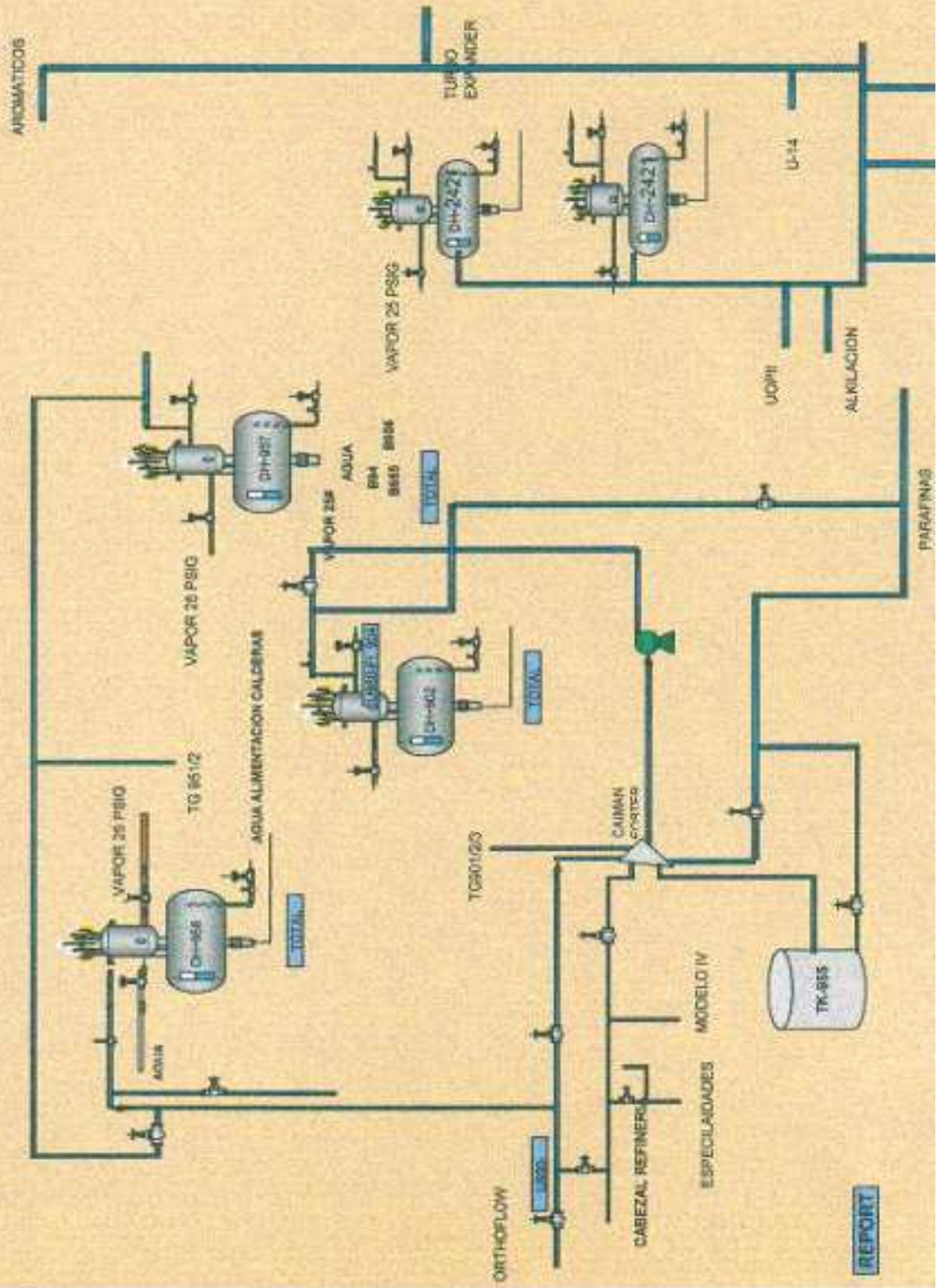
- Desarrollar programas trimestrales de mantenimiento de trampas, líneas principales de recuperación, revestimientos, líneas de calentamiento de combustóleo y todos aquellos equipos involucrados en el sistema de recuperación de condensado preventivo y correctivo que permita tener mayor confiabilidad en los sistemas de recuperación de condensado, utilizar el formato del anexo K.
- Con el fin de hacer un mejor uso de la energía y minimizar las pérdidas de condensado y su impacto en el medio ambiente, se requiere implementar un sistema de gestión, en el que se incorporen los aspectos organizacionales, la elaboración de reportes, la fijación de metas, las estrategias de ejecución, la aplicación de buenas prácticas operacionales, los programas de divulgación, capacitación y aseguramiento de la información.
- Implementar y asegurar el monitoreo de las condiciones del vapor y el condensado en las áreas, que permita conocer y garantizar la calidad del condensado recuperado.

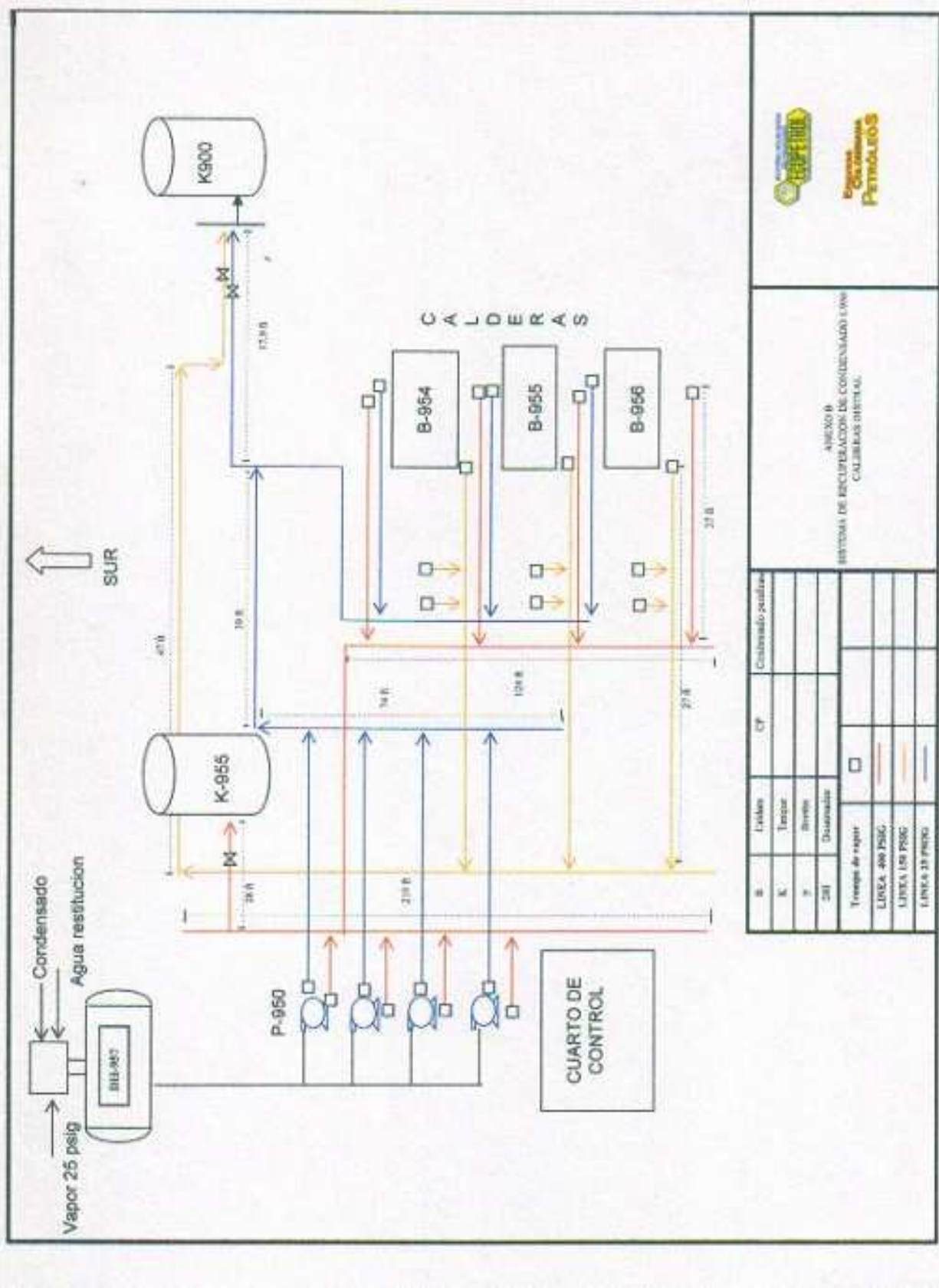
## **BIBLIOGRAFIA**

- (1) PERRY Robert. Manual del Ingeniero Químico. 6ta edición. México. McGraw Hill. 1996
- (2) KEENAN Joseph, KEYES Frederick, HILL Philip, MOORE Joan Steam Tables.
- (3) NEIL A. Franklin. Gestión de Energía de Sistemas de Vapor. Guía Arpel. Canadá. 2000. 28-83 p.
- (4) SPIRAX SARCO. Hook-up design of fluid systems. 1992.
- (5) DPTO servicios industriales vapor y energía. Manual de operación y mantenimiento de calderas. 1993.
- (6) QUIMICA NALCO. Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. tomos I y II. México: McGraw Hill. 1993 .

ANEXO A DIAGRAMA GENERAL DE CONDENSADOS AREA REFINERIA  
 H958-DH957-DH902-DH241

CONDENSADO SIEMENS



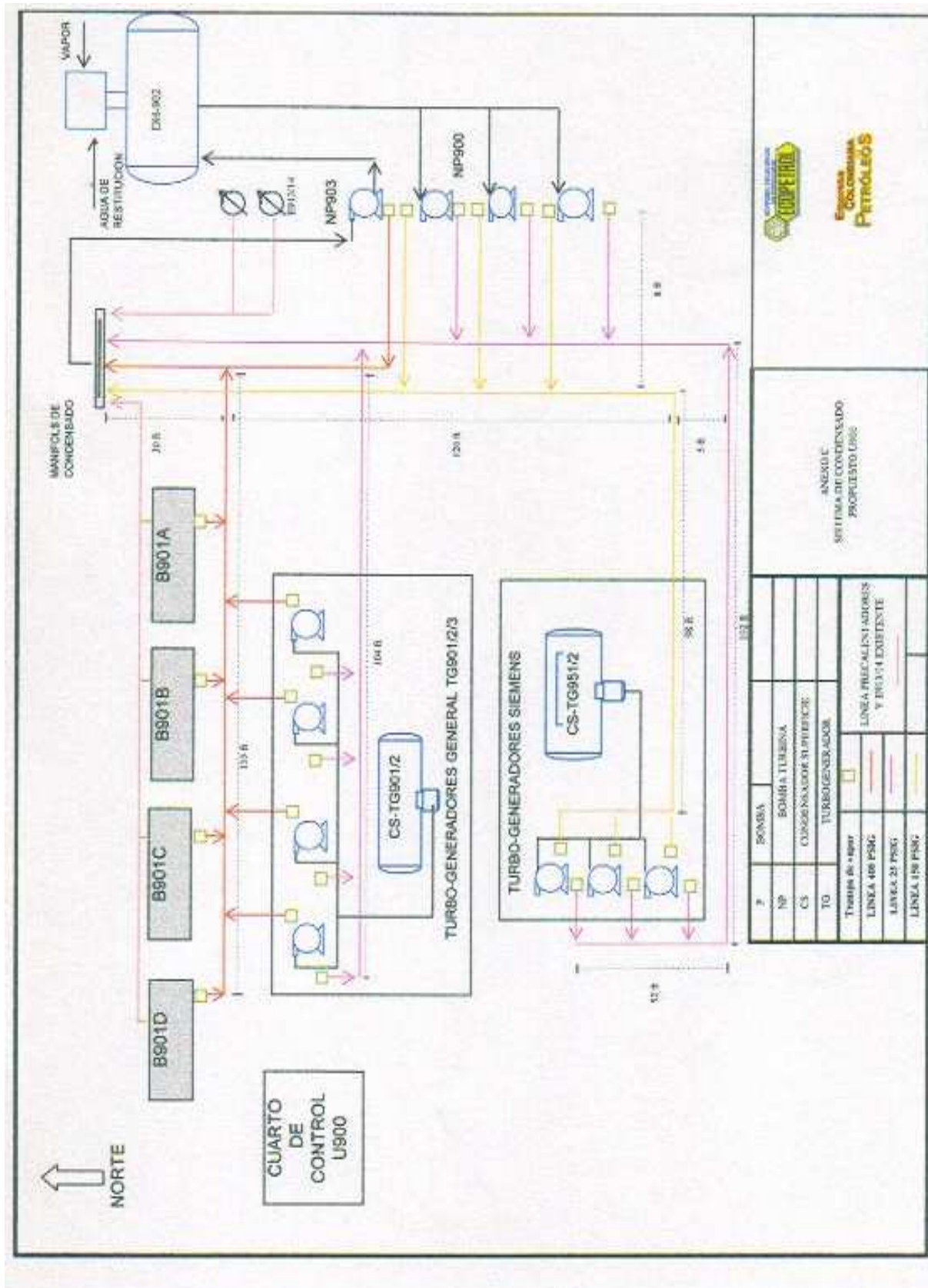


Id.	Tipos	CF	Calentado y/o frío
K	Tanque		
P	Bomba		
M	Distancia		
Tramos de vapor			
		<input type="checkbox"/>	
	LINEA 400 PSIG		
	LINEA 150 PSIG		
	LINEA 20 PSIG		

ANEXO B  
SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO LUNA  
CALDERAS DISTAL



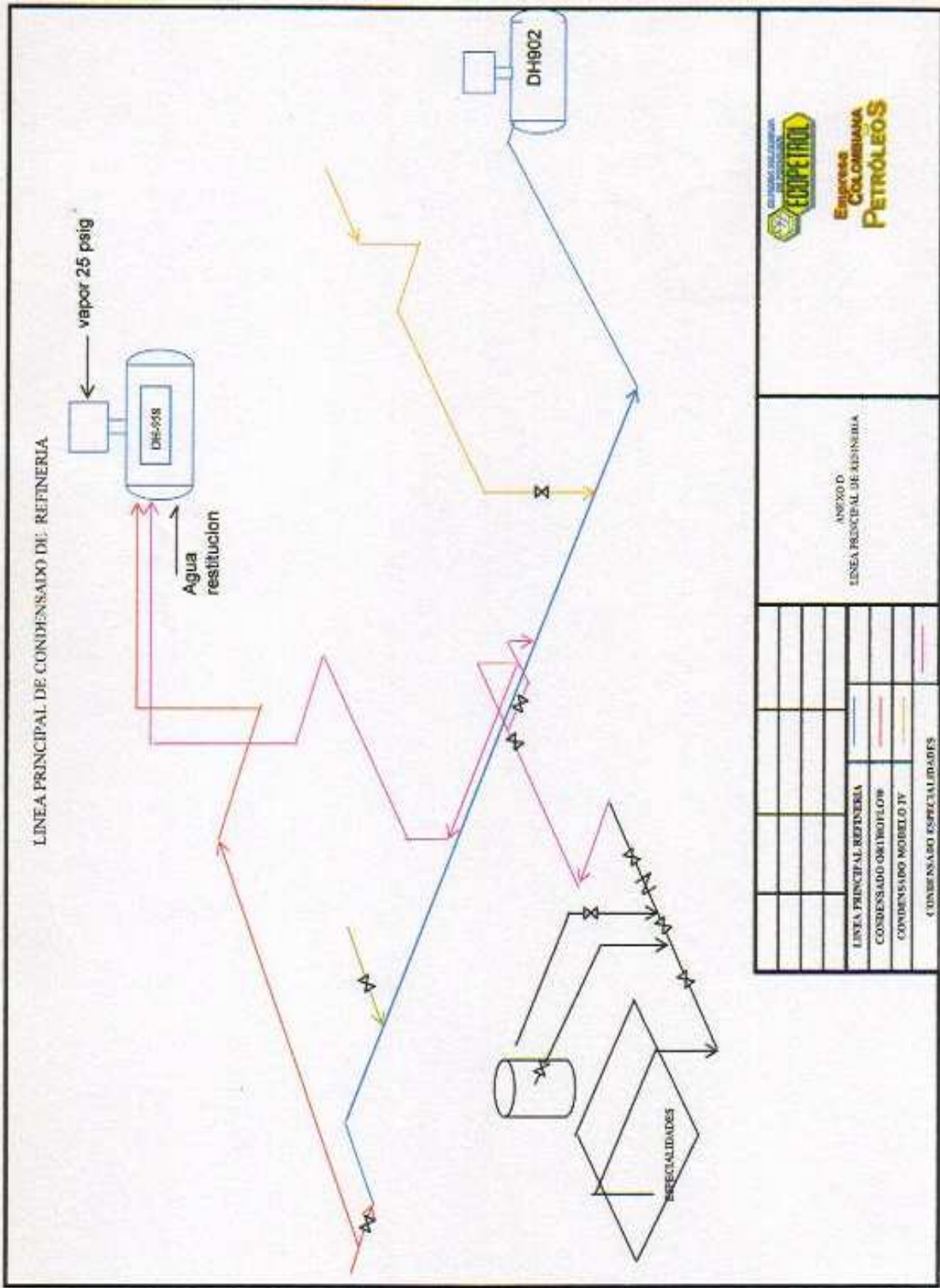


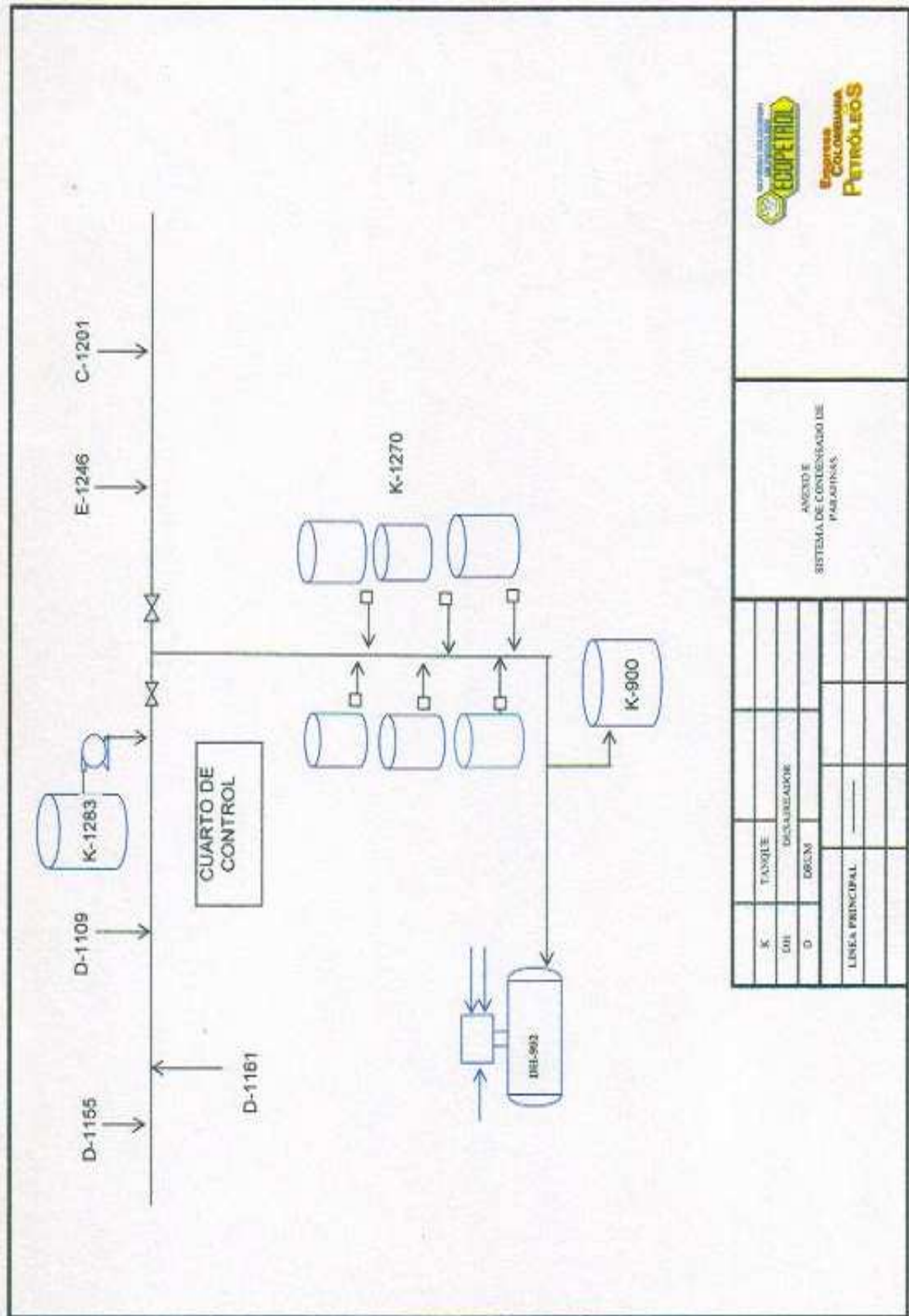


7	BOMBA	
NP	BOMBA TURBINA	
CS	CONDENSADOR SIEMENS	
TO	TURBOGENERADOR	
Trayectoria de vapor		
	LINEA PRECALENTADORES Y EXISTENTE	
	LINEA 20 PSIG	
	LINEA 150 PSIG	

ANEXO C  
SISTEMA DE CONDENSADO  
PROPUESTO U900

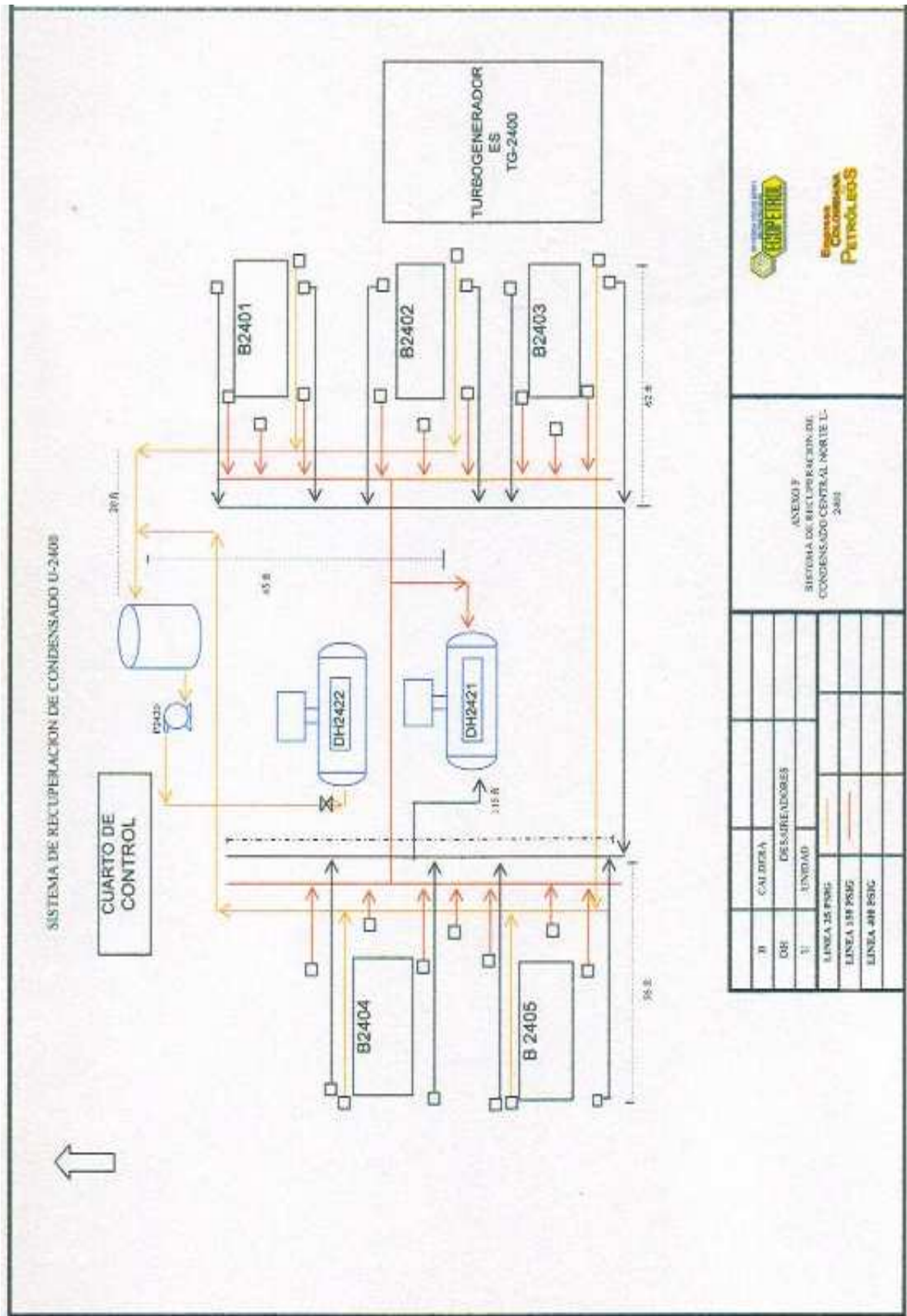


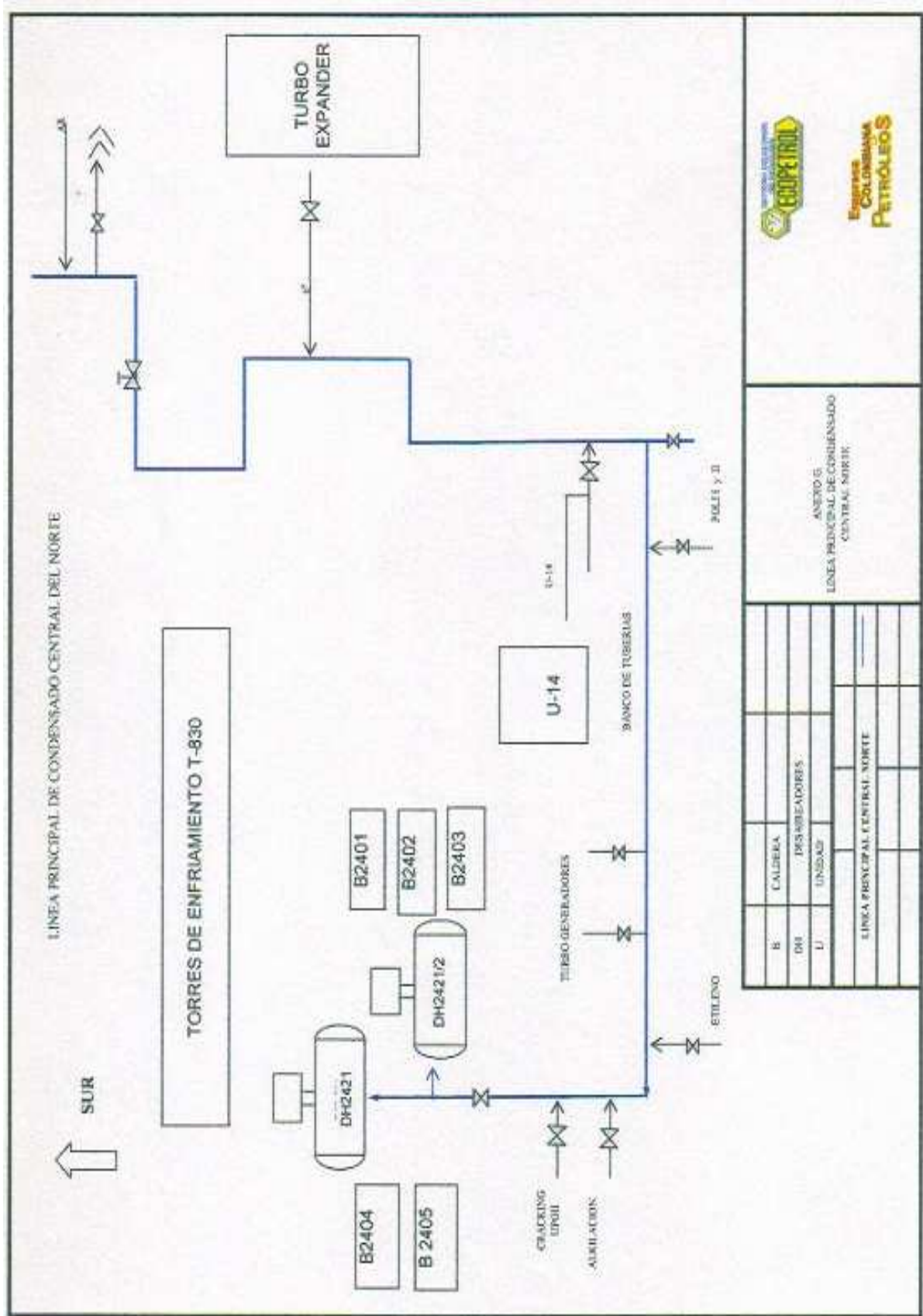




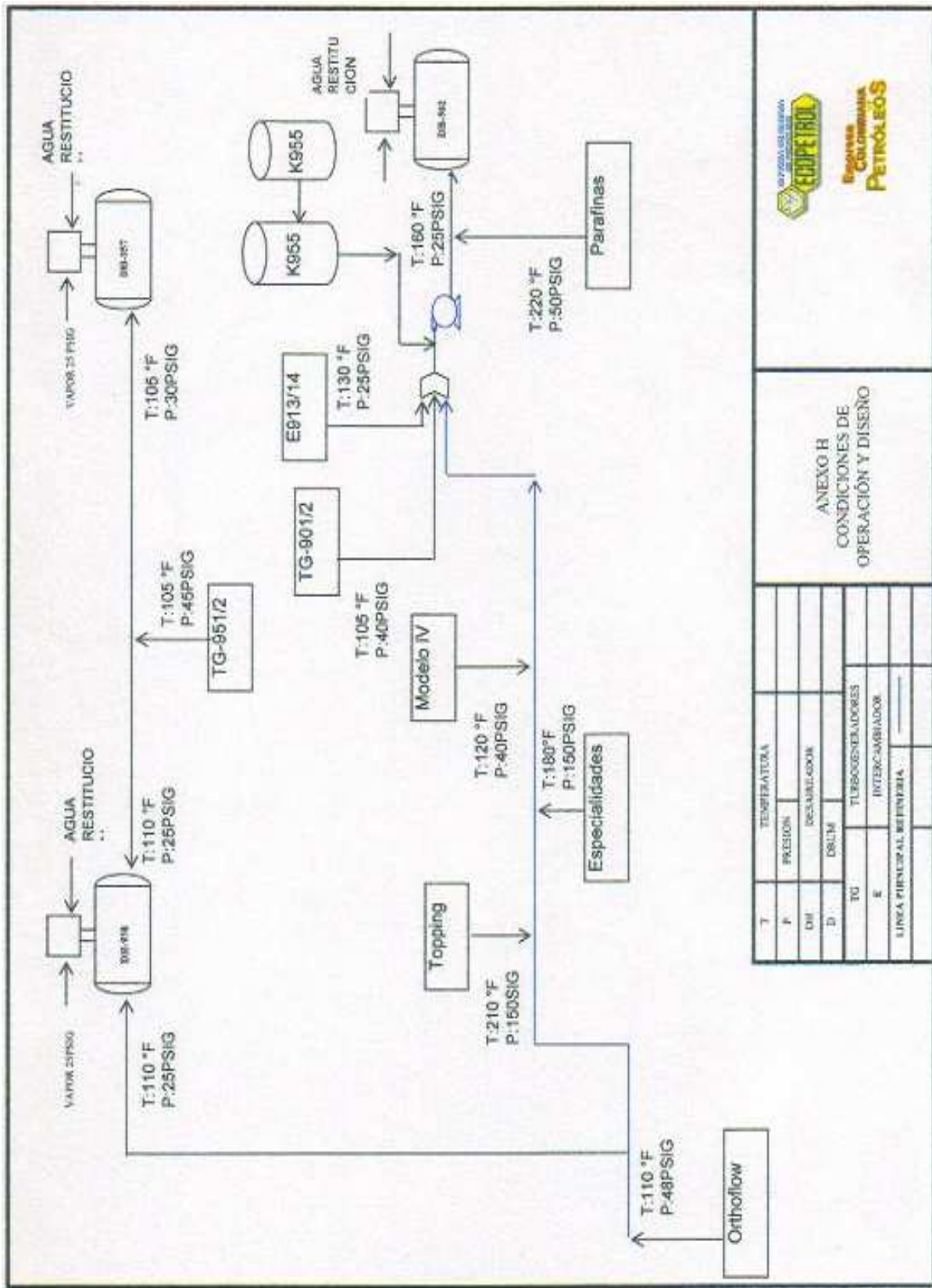
AVISO E  
SISTEMA DE CONDENSADO DE  
PARAFINAS

K	TANQUE			
DH	DESCARBURADOR			
D	ORLEN			
LINEA PRINCIPAL				





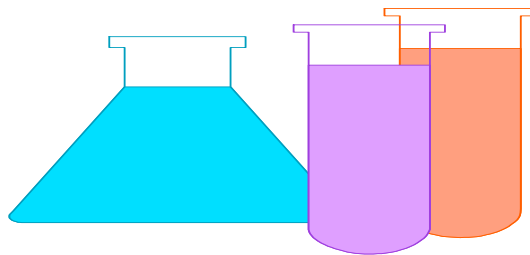
ANEXO 05 LÍNEA PRINCIPAL DE CONDENSADO CENTRAL NORTE			
B	CALDERA		
DH	DESALADORES		
U	UNIDAD		
LÍNEA PRINCIPAL CENTRAL NORTE			



ANEXO H  
CONDICIONES DE  
OPERACIÓN Y DISEÑO

T	TEMPERATURA
P	PRECION
DI	DESARROLLADOR
D	DSLM
TG	TUBOGUENADORES
E	INTERCAMBIADOR
LINEA PRINCIPAL RETENERIA	

## Anexo I. Métodos Analíticos



*Muestra: condensado, agua de calderas*

### *ANÁLISIS PARA DETERMINAR ALCALINIDAD*

- Se toman cincuenta (50) ml. de muestra
- Se adicionan cinco (5) gotas de rojo de metilo. Se agita
- Se titula con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Medir consumo
- Se multiplica el número de ml de ácido gastado por el factor de concentración del mismo.

### *ANÁLISIS PARA DETERMINAR RESIDUAL DE SULFITO*

- Se toman cincuenta (50) ml de muestra
- Se adicionan diez (10) ml. de sílice #1 (HCl) y cinco (5) gotas de almidón. Agitar
- Se titula con  $KIO_3$ . Medir consumo en bureta.

### *ANÁLISIS PARA DETERMINAR SÍLICE*

- Se toman cinco (5) ml. de muestra
- Se adicionan cinco (5) ml. de sílice #1 (HCl), cinco (5) ml. de sílice #2 y diez (10) ml. de sílice #3.
- El valor del resultado se obtiene al comparar el color resultante, (azul) contra un patrón.

#### *ANÁLISIS PARA DETERMINAR DUREZA*

- Se toman cincuenta (50) ml. de muestra.
- Se adicionan cinco (5) gotas de Buffer y un poquito de negro de eriocromo.
- Si da color AZUL CLARO dureza normal.
- Si da color ROSADO se titula con EDTA medir consumo y multiplicar por factor de concentración del EDTA.

#### *ANÁLISIS PARA DETERMINAR PH*

- Se toman 50 ml de muestra.
- Se adicionan 3 gotas de FENOLTALEINA
- Se revuelve hasta alcanzar la siguiente coloración
- ROSADO CLARO PH > 8.2
- NEUTRO PH < 8.2

### ANEXO J. Propiedades fisicoquímicas del condensado

<i>Desaireador DH- 957</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito (ppm)</i>
05-Mar	11	7,8	0,04	0,02	0,09	8
06-Mar	13	7,7	0,03	0,013	0,08	9
07-Mar	14	8	0,056	0,019	0,1	7
08-Mar	10	8,1	0,03	0,009	0,015	13
09-Mar	11	7,8	0,045	0,009	0,012	11
10-Mar	12	8,1	0,011	0,012	0,12	6
11-Mar	11	8	0,08	0,014	0,08	7
12-Mar	10	7,6	0,07	0,007	0,15	8
13-Mar	12	8	0,09	0,001	0,09	12
<i>Promedio</i>	12	7,9	0,05	0,011	0,08	9

<i>Desaireador DH- 958</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito(ppm)</i>
13-Mar	13	7,9	0,12	0,02	0,1	8
14-Mar	14	7,8	0,03	0,0018	0,08	9
15-Mar	12	8,3	0,056	0,011	0,09	14
16-Mar	11	8,1	0,18	0,009	0,015	12
17-Mar	13	8,4	0,045	0,003	0,012	14
18-Mar	11	8,1	0,011	0,012	0,19	9
19-Mar	14	8	0,08	0,014	0,09	13
20-Mar	11	8,3	0,07	0,13	0,15	8
21-Mar	12	8	0,16	0,001	0,09	12
<i>Promedio</i>	11	8,1	0,08	0,02	0,09	11

<i>Desaireador DH- 902</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito(ppm)</i>
21-Mar	15	7,8	0,12	0,009	0,12	7
22-Mar	14	7,9	0,09	0,0018	0,09	9
23-Mar	13	8	0,18	0,011	0,1	13
24-Mar	12	8,1	0,18	0,008	0,018	12
25-Mar	13	7,8	0,14	0,003	0,015	14
26-Mar	12	8,1	0,14	0,01	0,19	9
27-Mar	14	8	0,18	0,014	0,09	13
28-Mar	14	7,7	0,13	0,08	0,17	8
29-Mar	12	8	0,16	0,001	0,1	11
<i>Promedio</i>	14	7,9	0,15	0,015	0,1	10

<i>Desaireador DH- 2421/22</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito(ppm)</i>
29-Mar	11	8	0,05	0,009	0,15	9
30-Mar	14	7,9	0,09	0,0013	0,11	12
31-Mar	10	7,9	0,09	0,001	0,1	13
01-Abr	12	8,1	0,08	0,007	0,018	12
02-Abr	11	8,2	0,09	0,003	0,016	14
03-Abr	12	8,1	0,14	0,01	0,19	11
04-Abr	14	8	0,03	0,01	0,1	13
05-Abr	10	7,8	0,1	0,07	0,18	10
06-Abr	10	8	0,05	0,001	0,14	14
<i>Promedio</i>	10	8	0,08	0,012	0,11	12

## ANEXO K



### FORMATO PARA REGISTRAR CAUSAS DE FALLA EN TRAMPAS DE VAPOR.

Fecha : _____ Trampa No. _____	Planta piloto _____ Presion _____ Equipo No _____
<b>ESTADO DE LA TRAMPA:</b> Trampa directa <input type="checkbox"/> Trampa bloqueada <input type="checkbox"/> Trampa con fuga <input type="checkbox"/> Trampa normal <input type="checkbox"/>	
Indique en este formato la falla observada en la trampa de vapor:	
1  Trampa elevando condensado. <input type="checkbox"/>  3  Trampa roscada que ha sido soldada. <input type="checkbox"/>  5  Trampa instalada en posición vertical <input type="checkbox"/>  7  Trampa instalada en posición inclinada <input type="checkbox"/>  9  Trampa sobredimensionada. <input type="checkbox"/>  11  Trampa en contra posición <input type="checkbox"/>	2  Sobrecarga del sistema en una sola trampa. <input type="checkbox"/>  4  Distancia entre trampas. <input type="checkbox"/> Valor _____ metros.  6  Trampa instalada en línea de condensado <input type="checkbox"/>  8  Trampa con avanzado estado de deterioro. <input type="checkbox"/>  10  Trampa en contraflujo. <input type="checkbox"/>
Evaluadores: _____ 79 _____ OBSERVACIONES: _____	

**ANEXO M. Propiedades fisicoquímicas de la mezcla condensado y agua de calderas en el desaireador.**

<i>Desaireador DH 957</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito (ppm)</i>
05-Mar	15	7,9	0,09	0,02	0,08	11
06-Mar	16	7,8	0,1	0,015	0,07	10
07-Mar	15	8,2	0,056	0,02	0,12	11
08-Mar	13	8,1	0,05	0,02	0,015	12
09-Mar	13	7,8	0,06	0,013	0,013	11
10-Mar	18	8,2	0,011	0,012	0,12	7
11-Mar	15	8	0,09	0,014	0,08	9
12-Mar	14	7,8	0,08	0,03	0,14	8
13-Mar	16	8,1	0,09	0,009	0,09	12
<i>Promedio</i>	15	8	0,07	0,017	0,08	10

<i>Desaireador DH 958</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito (ppm)</i>
13-Mar	14	8,2	0,1	0,03	0,08	12
14-Mar	12	8,3	0,15	0,02	0,07	10
15-Mar	16	8,1	0,07	0,016	0,12	13
16-Mar	14	8,3	0,05	0,02	0,014	12
17-Mar	12	8,2	0,06	0,013	0,012	13
18-Mar	13	8,1	0,07	0,017	0,11	11
19-Mar	13	8	0,09	0,014	0,08	9
20-Mar	16	8	0,06	0,04	0,1	10
21-Mar	16	7,8	0,08	0,01	0,08	14
<i>Promedio</i>	14	8,1	0,08	0,02	0,074	11,5

<i>Desaireador DH 902</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito (ppm)</i>
21-Mar	17	8,1	0,2	0,03	0,09	15
22-Mar	18	8,3	0,14	0,04	0,08	11
23-Mar	17	8,4	0,07	0,02	0,16	12
24-Mar	14	8,3	0,09	0,02	0,014	13
25-Mar	16	8,2	0,05	0,018	0,012	8
26-Mar	15	8,1	0,05	0,017	0,11	16
27-Mar	14	8,4	0,08	0,019	0,08	9
28-Mar	17	8,5	0,07	0,04	0,1	10
29-Mar	16	8,4	0,08	0,018	0,08	14
<i>Promedio</i>	16	8,3	0,09	0,025	0,08	12

<i>Desaireador DH 2124/2</i>						
<i>Fecha</i>	<i>Alcalinidad (ppm CaCO3)</i>	<i>pH</i>	<i>Dureza (ppm)</i>	<i>Oxigeno (ppm)</i>	<i>Hierro (ppm)</i>	<i>Residual sulfito (ppm)</i>
29-Mar	16	8	0,3	0,04	0,07	13
30-Mar	17	8,2	0,18	0,05	0,05	14
31-Mar	19	8,3	0,09	0,03	0,015	16
01-Abr	15	8,5	0,08	0,019	0,013	17
02-Abr	13	8,7	0,06	0,015	0,012	12
03-Abr	18	8,4	0,07	0,02	0,11	15
04-Abr	17	8,3	0,08	0,03	0,08	16
05-Abr	16	8,1	0,07	0,04	0,2	11
06-Abr	15	8	0,08	0,018	0,08	14
<i>Promedio</i>	16,2	8,2	0,11	0,029	0,07	14,2

**ANEXO N. ALTERNATIVA DE RECUPERACION DE CONDENSADO U-950**

COSTO REEMPLAZO DE TRAMPAS DE VAPOR TERMODINAMICAS EN LOS PRECALENTADORES DE LAS CALDERAS 8964/38 Y ADECUACION DE LAS TRAMPAS DESCARGANDO A NIVELES DE PRESION DIFERENTES UBICADAS EN LAS TURBINAS DE LOS VENTILADORES Y EN LAS LINEAS DEL VAPOR DE ATOMIZACION DE LA UNIDAD 800.

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL(\$)
TRAMPAS DE VAPOR TIPO FLOTADOR ARMSTRONG, Ref. 30 A -6 1 1/2"	3	1048000	3144000
TRAMPAS DE VAPOR TERMODINAMICA ARMSTRONG, Ref. CD -62 3/4" NUF	3	989000	2967000
TRAMPAS DE VAPOR TERMODINAMICA ARMSTRONG, Ref. CD -61 1/2" V.ATM	3	734.000	2202000
TRAMPAS BOMBA ARMSTRONG	1	20000000	20000000
TUBERIA ACERO AL CARBON CED40 (ft)	200	1600	320000
CODOS DE 90°	9	6485	58365
VALVULAS DE COMPUERTA 3/4"	20	30000	600000
SOLDADURA	25	60000	1500000
MANO DE OBRA (soldador, tecnico y equipos)	4	120000	480000

TOTAL ..... \$ 31.271.365,00

12000000

\$ 43.271.365,00

**ANEXO O. ALTERNATIVA DE RECUPERACION DE CONDENSADO U-900**

**COSTO INSTALACION DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO PROPUESTO EN LA UNIDAD 900**

TRAMPAS DE VAPOR TERMODINAMICA. ARMSTRONG, Ref. CD -61 1/2" V.ATM	27	734.000	19818000
TUBERIA ACERO AL CARBON CEDA40 (ft)	2000	1600	3200000
CODOCS DE 90°	30	6465	194550
VALVULAS DE COMPUERTA 3/4"	20	30000	600000
SOLDADURA	90	60000	5400000
MANO DE OBRA (soldadores tecnico y equipos) \$/mes	7	200000	1400000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 43.212.550,00</b>

**ANEXO P. ALTERNATIVA DE RECUPERACION DE CONDENSADO U-2400**

COSTO ADECUACION DE LAS TRAMPAS DESCARGANDO A NIVELES DE PRESION DIFERENTES EN LA UNIDAD 2400 CENTRAL DEL NORTE  
(LINEA DE VAPOR DE ATOMIZACION)

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
TUBERIA ACERO AL CARBON CEDNO (ft)	180	1600	288000
CODOS DE 90°	10	6485	64850
VALVULAS DE COMPUERTA 3/4"	18	30000	540000
SOLDADURA	30	60000	1800000
MANO DE OERA (soldador, tecnico y equipos)	4	60000	240000

TOTAL ..... \$ 2.932.850.00

12000000

\$ 14.932.850.00

**ANEXO Q. ALTERNATIVA DE RECUPERACION DE CONDENSADO LINEA PRINCIPAL PARAFINAS**

**COSTO ADECUACION DE LA LINEA PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE CONDENSADO DE PARAFINAS:  
INHABILITAR LAS TRAMPAS DE VAPOUR UBICADAS EN LA ZONA DE TANQUES**

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL(\$)
SOLDADURA	100	60000	6000000
VALVULAS DE COMPUERTA 3/4"	20	30000	600000
TUBERIA ACERO AL CARBON CED40 (R)	50	1600	80000
MANO DE OBRA (soldador, tecnico y equipos)	4	300000	1200000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 7.880.000,00</b>
			<b>12000000</b>
			<b>\$ 19.880.000,00</b>





