

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



REFINADORA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO (RECOPE)

PROYECTOS

Estudio sobre fugas, estado y funcionamiento acerca de las trampas de vapor, cálculo de pérdidas de energía y de la cantidad de condensado formado al calentar el producto negro.

Y

Diseño de la ficha de inspección y su periodicidad, para el mantenimiento preventivo de las trampas de vapor, e implementación del software “*Steam Trap Managment System*” para el mantenimiento de éstas.

**Informe de práctica de Especialidad para optar por el grado
Licenciado en Ingeniería en Mantenimiento Industrial**

David Rivas España

Cartago, Junio del 2006

Dedicatoria

A mi familia por estar siempre a mi lado. En las buenas y en las malas, su apoyo siempre fue la regla, y no la excepción. Y en especial, a Dios padre. Sin la ayuda del todo poderoso, este largo camino nunca se hubiera podido realizar.

Agradecimiento

A todos los que de una u otra forma han contribuido con la realización de este proyecto. En especial al Ing. Alfonso Rivera Gonzáles por creer en este servidor. Y a todos los compañeros del área de programación y control, muchas gracias por la colaboración, el apoyo ofrecido y el calor humano que siempre caracterizó su ejemplar comportamiento.

RESUMEN

Los proyectos descritos a continuación fueron desarrollados en RECOPE (Refinadora Costarricense de Petróleo). El formato de la práctica de especialidad establece que deben realizarse como mínimo dos proyectos. Uno con énfasis técnico y otro con énfasis administrativo. Dicha práctica es el último requisito e el plan de estudios de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, en el grado de licenciatura.

El proyecto técnico consiste en un estudio de las trampas de vapor del plantel, buscando cuantificar problemas de desperdicio y proponer soluciones a los problemas técnicos del sistema existente de condensados de vapor.

El proyecto administrativo consiste en la realización de un programa de mantenimiento preventivo para trampas de vapor, la codificación de las trampas y por último la implementación de un software para el mantenimiento de trampas de vapor.

Palabras Claves: Mantenimiento, trampas de vapor, vapor, carga de condensados, RECOPE, codificación, termografía, ficha de mantenimiento.

ABSTRACT

The following projects were developed in RECOPE (*Refinadora Costarricense de Petróleo*). The format of the practice of specialty establishes that the student must develop at least two projects. One project with a technical engineering emphasis, and the other with an administrative emphasis. The practice of specialty is the last course in the career of Engineering in Industrial Maintenance.

The technical project consists in a study of the steam traps located in the plant, searching to quantify the wasting problems and propose possible technical solutions to the technical problems existing in the condensate system.

The administrative project consists in the realization of a preventive maintenance program in steam traps, the codification of the traps and lastly an implementation of software for the maintenance of the steam traps.

Key Words: Mantenimiento, trampas de vapor, vapor, carga de condensados, RECOPE, codificación, termografía, ficha de mantenimiento.

PROYECTO TÉCNICO

Objetivo General:

Estudio sobre fugas, estado y funcionamiento acerca de las trampas de vapor, cálculo de pérdidas de energía y de la cantidad de condensado formado al calentar el producto negro.

Objetivos Específicos:

- a. Evaluar el estado actual de las trampas de vapor.
- b. Estimar la magnitud económica del desperdicio en las líneas de vapor.
- c. Proponer las mejoras necesarias para corregir el problema de desperdicio.
- d. Hacer un cálculo de la cantidad de condensado producido en los tanques de producto negro y comparar esos valores con los establecidos por el fabricante de las trampas conectadas a éstos.

PROYECTO ADMINISTRATIVO

Objetivo General:

Diseño de la ficha de inspección y su periodicidad, para el mantenimiento preventivo de las trampas de vapor, e implementación del software "*Steam Trap Managment System*" para el mantenimiento de éstas.

Objetivos Específicos:

- a. Implementar el software STMS para la creación de una base de datos de trampas de vapor, y brindar el correcto seguimiento a su mantenimiento.
- b. Codificar todas las trampas de vapor de la empresa.
- c. Confección de un manual de mantenimiento preventivo para el mantenimiento de las trampas de vapor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo 1. Estudio de la Organización.....	10
1.1 Reseña histórica.....	10
1.2 Misión de RECOPE.....	14
1.3 Visión de RECOPE	15
1.4 Departamento de Mantenimiento.....	15
1.4.1 Objetivos	15
1.4.2 Funciones que le corresponde.....	16
1.4.3 Relaciones de coordinación interna:	17
1.4.4 Relaciones de coordinación externa	17
1.4.5 Dependencias Directas	17
1.4.6 Organigrama de RECOPE, nivel nacional.....	18
1.4.7 Organigrama del departamento de mantenimiento.....	19
Capítulo 2. Proyecto Técnico. Estudio del funcionamiento de las trampas de vapor de las líneas que alimentan a los tanques de búnker y asfalto.	20
2.1 Limitantes del proyecto.....	20
2.2 Fundamentos Teóricos.....	21
2.2.1 Eliminación del Condensado.....	21
2.2.2 Trampa de Vapor de Balde Invertido	22
2.2.3 Trampa de Vapor de tipo Termodinámico.....	24
2.2.4 Trampa de Vapor Mecánica tipo Boya	27
2.2.5 Trampa de vapor mecánica de tipo flotador libre.....	29
2.3 Selección del tamaño de trampas de vapor	30
2.3.1 Primera etapa: Obtener la información necesaria.	30
2.3.2 Segunda etapa: Aplique un factor de seguridad.....	30
2.3.3 Tercera etapa: Seleccionar el tipo de trampa.	31
2.4 Diagnóstico y Reparación de las Trampas de Vapor	32
2.4.1 Trampa Fría y Sin Descarga	33
2.4.2 Trampa Caliente y Sin Descarga.....	34
2.4.3 Pérdida de Vapor.	34

2.4.4 Flujo Continuo.....	35
2.4.5 Calentamiento Lento.....	35
2.4.6 Problemas Misteriosos o Imaginarios.....	36
2.5 Análisis de Resultados	37
2.5.1 Trampas de vapor defectuosas	57
2.6 Conclusiones y Recomendaciones	59
Capítulo 3. Proyecto Administrativo. Diseño de la ficha de inspección de mantenimiento preventivo e implementación del software de mantenimiento (STMS), en las trampas de vapor presentes en los tanques de búnker y asfalto.....	61
3.1 Limitantes del proyecto.....	61
3.2 Fundamentos Teóricos	61
3.3 Codificación de las Fichas de Inspección.....	62
3.4 Implementación del Software (STMS) para el mantenimiento de trampas de vapor	74
3.5 Manual Práctico de mantenimiento de trampas de vapor	79
3.6 Conclusiones y Recomendaciones	86
Bibliografía.....	87
Anexos	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Organigrama de RECOPE	18
Figura 1.2 Organigrama del departamento de mantenimiento	19
Figura 2.1 Funcionamiento de una trampa de vapor de balde invertido.....	23
Figura 2.2 Esquema de funcionamiento de una trampa de vapor termodinámica.....	25
Figura 2.3 Corte lateral de una trampa de vapor termodinámica.....	26
Figura 2.4 Funcionamiento de una trampa mecánica de boya	27
Figura 2.5 Trampa de vapor mecánica de tipo boya.....	28
Figura 2.6 Corte lateral de una trampa de vapor de tipo flotador de boya	28
Figura 2.7 Trampa de vapor mecánica de tipo flotador libre	29
Figura 2.8 Trampa de vapor de tipo balde invertido.....	29
Figura 2.9 Accesorios necesarios para disminuir la presión de vapor a la entrada de un proceso	46
Figura 2.10 Cámara Termográfica para mantenimiento predictivo.	47
Figura 2.11 Trampa de vapor tipo termodinámica funcionando correctamente.	48
Figura 2.12 Trampa de vapor termodinámica, bloqueada en posición cerrada.	49
Figura 2.13 Trampa de vapor de flotador libre, bloqueada en posición abierta.	50
Figura 2.14 Montaje incorrecto de una trampa de vapor.....	51
Figura 2.15 Capas de diferentes materiales que interfieren en la transferencia de calor	52
Figura 3.1 Menú principal del software para manejo de trampas de vapor.	75
Figura 3.2 Menú de Revisión de trampas de vapor.....	76
Figura 3.3 Menú de listas de trampas y sus fabricantes	77
Figura 3.4 Datos del tamaño del orificio de fuga de vapor.....	77
Figura 3.5 Menú para búsqueda de trampas por filtrado de datos.....	78
Figura 3.6 Despiece de trampa termodinámica equipada con filtro interno	82
Figura 3.7 Despiece de trampa de vapor de balde invertido con filtro interno.....	83
Figura 3.8 Corte longitudinal de una trampa de vapor de tipo balde invertido equipada con filtro interno.....	84
Figura 3.9 Despiece de trampa de vapor mecánica de boya.	85

Capítulo 1. Estudio de la Organización

1.1 Reseña histórica

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) es una institución cien por ciento costarricense que fue creada en una época de grandes cambios, y que también ha ido cambiando con el tiempo. A través de su continuo esfuerzo, ha propiciado el arranque de lo que ha sido y seguirá siendo, una gran industria costarricense, líder en la región. La historia de RECOPE, va mano a mano con lo que fue la construcción de la Costa Rica moderna.

En 1931 se dicta la Ley del Monopolio de la importación y expendio de gasolina. El responsable de realizar estas tareas fue el Banco de Seguros. En 1933 se autoriza a expendios privados para vender gasolina a compradores particulares. En 1940 se deroga la Ley del Monopolio y el Estado otorga concesiones a cinco grandes compañías: a la West Indian Oil Company (llamada posteriormente ESSO Standard Oil), a la Texas Company Ltda. (denominada luego TEXACO Caribbean Inc), a la Union Oil Company of California (luego llamada GULF Costa Rica Company), a la Compañía Petrolera de COSTA RICA (llamada luego Chevron S.A.) y a CEI de Costa Rica S.A. En 1961 un grupo privado funda la Refinadora Costarricense de Petróleo Sociedad Anónima (RECOPE S.A.) e inicia gestiones para obtener los permisos del Ministerio de Industrias con el fin de construir una refinería al amparo de la Ley 2426 de Protección y Desarrollo Industrial.

En 1963 se inicia la construcción de la refinería en Moín, Limón, puerto en el Atlántico de Costa Rica y se concluye en 1967. En ese mismo año se inicia la construcción de la primera línea de oleoducto y se finaliza la primera terminal de distribución en El Alto de Ochomogo, Cartago. Hasta ese momento el transporte de producto hacia la Meseta Central se hacía por medio del ferrocarril.

A finales de la década del 60, una comisión especial de la Asamblea Legislativa inicia una investigación sobre el funcionamiento de las distribuidoras privadas, y a finales de 1971, dicta un informe final donde se evidencian serios incumplimientos de los contratos otorgados por el gobierno.

En 1972, el Ministerio de Economía inicia gestiones para comprar las acciones de la Refinería, que en aquel momento pertenecían, mayoritariamente a Allied Chemical. La participación estatal de la Refinería era del 15% de las acciones. Se hace un primer avalúo que determinó su costo en US \$16 millones.

En 1974, una delegación viaja a Houston a negociar con Allied Chemical. Sorpresivamente el precio de la Refinadora se establece en US \$1 (un dólar estadounidense), y además se le condona al país la deuda por cuatro millones de colones que tenía con Venezuela por la compra de petróleo.

En 1975, por Decreto Ejecutivo, se decide la nacionalización de la distribución de combustibles. Además, por ley, se le prohíbe a RECOPE operar expendios de combustible al detalle, por lo que las estaciones de servicio pasan a manos privadas.

En 1977, RECOPE financia una cuantiosa inversión para realizar trabajos de infraestructura: se inicia la construcción de la primera fase del complejo portuario de Moín, se empieza a instalar un oleoducto paralelo al que funcionaba entre Moín y El Alto de Ochomogo, se construye el edificio para las oficinas centrales de la empresa y se concluye una terminal de distribución en el Aeropuerto Juan Santamaría.

En 1980, entra en funcionamiento la Terminal de distribución de La Garita, Alajuela, y se inicia un programa de investigación geológica para determinar el potencial petrolero de Costa Rica, con inversión nacional y extranjera. En diciembre queda lista una primera plataforma para el pozo San José 1, ubicado en Baja Talamanca (sur-este de Costa Rica).

En ese mismo año se introduce como una alternativa para el consumo de combustible, el gasohol, una mezcla de gasolina y alcohol. En 1981, se aprueba la Ley 6588 que regula la actividad de RECOPE y se inicia la construcción de una terminal de distribución en Barranca, Puntarenas, que se concluye en 1985. En 1984, se abandonan los trabajos de perforación en los pozos San José 1 y San José 2. La meta inicial era llegar a una profundidad de 6.000 metros, pero sólo se alcanzaron los 4.832 metros.

En este mismo año se presenta en la Asamblea Legislativa la primera versión de la Ley de Hidrocarburos, para promover la inversión privada en la actividad de exploración en cuencas sedimentarias. En 1986, la Gerencia de Exploraciones de RECOPE se convierte en la Gerencia de Producción Primaria, con la idea de que la empresa mantenga un papel preponderante en las actividades de exploración de los recursos energéticos incluyendo el carbón mineral. En 1987, se inician las gestiones para ampliar y modernizar la Refinería.

En 1989, comienza la etapa ambientalista de RECOPE con el Decreto Ejecutivo 19088, en el cual se le encarga iniciar estudios para eliminar el plomo de la gasolina en un plazo de 7 años. Ese mismo año se introduce en el país un producto alternativo que es una gasolina "súper", de alto octanaje y sin plomo.

En 1990, se cierra la Gerencia de Producción Primaria y RECOPE se retira de la exploración petrolera. En 1993, se aprueba un préstamo con España para financiar el proyecto de ampliación y modernización de la Refinería. Ese año la Asamblea Legislativa reitera la decisión de mantener el monopolio estatal de la importación, refinación y distribución a granel de los combustibles mediante la aprobación de la Ley 7352. Es en mayo de 1994, cuando se aprueba la Ley de Hidrocarburos y RECOPE suspende las actividades de exploración y explotación de carbón, por considerar que no es una alternativa energética ambientalmente aceptable.

Además, se pide al Instituto Francés del Petróleo replantear la ingeniería básica del Proyecto de ampliación y modernización de la Refinería para adecuarlo a las nuevas corrientes ambientales, que exigen combustibles más limpios, libres de plomo y azufre.

En 1995, se introduce la gasolina Súper Eco de alto octanaje sin plomo y oxigenada, y un año después se logra la eliminación total del plomo en las dos gasolinas de distribución nacional. En 1997 se bajan las concentraciones de azufre en el diesel y se decreta iniciar un proceso de disminución paulatina hasta un 0,05% a partir del 2003.

En febrero de 1998, se inicia la construcción de la primera fase del Proyecto de ampliación y modernización de la Refinería, que eleva la capacidad de carga a los 25 mil barriles por día y automatiza los sistemas de control y verificación. La puesta en marcha de los equipos inicia a principios del 2001.

Entre 1999 y el 2003, el Nuevo Poliducto Limón- La Garita fue la obra de mayor prioridad, al ponerse en ejecución la II Etapa del proyecto que permite ampliar la capacidad de trasiego de las líneas actuales, reemplazando 39.5 kilómetros de tubería de 6 pulgadas de diámetro por tubos de 12 pulgadas de diámetro en los tramos ubicados entre Moín y El Alto de Ochomogo.

En enero del 2003 se inicia el proceso de reducción paulatina del nivel de azufre en el diesel con el fin de llevarlo a 0.05%, en el año 2008, para cumplir con la normativa vigente.

En mayo del 2003 se inaugura la II etapa del Poliducto con un costo de \$8 millones, financiado con fondos propios. También en ese mismo año, se inauguran dos tanques de 50 mil barriles para almacenamiento de gasolina y una esfera para almacenar 25 mil barriles de Gas Licuado de Petróleo (L.P.G), en el Plantel de Moín. Las obras tuvieron un costo aproximado de \$5.3 millones.

En abril del 2003 se obtuvo el aval del Ministerio de Hacienda para construir la III etapa del Poliducto, que permitirá responder a las proyecciones de demanda para 25 años más, bajo el sistema tradicional de financiamiento. Las obras contemplan la instalación de 123.5 kilómetros de tubería de 12 pulgadas (30 centímetros), la construcción de tres estaciones de bombeo en Moín, Siquirres y Turrialba, así como las instalaciones de recibo en los planteles de El Alto en Cartago y la Garita en Alajuela. El financiamiento fue aportado por el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) y la Corporación Andina de Fomento (C.A.F).

El 17 de febrero del 2005 se adjudica a la Empresa mexicana Techint S.A., la construcción de la III Etapa del Proyecto de Ampliación del Poliducto. Se espera iniciar con las obras de construcción en el segundo semestre del 2005.

1.2 Misión de RECOPE

Satisfacer eficientemente las necesidades del mercado de hidrocarburos derivados del petróleo, fuentes alternas y cementos asfálticos, con productos y servicios de calidad, con seguridad industrial y responsabilidad ambiental, contribuyendo al desarrollo sostenible de Costa Rica.

Para la ejecución de esta Misión, RECOPE hará uso de los siguientes instrumentos:

- a. Desarrollo, mantenimiento y operación de infraestructura de importación y exportación, procesamiento, almacenamiento, trasiego y distribución de combustibles.
- b. Procedimientos empresariales y gerenciales modernos, con adecuados mecanismos de evaluación y rendición de cuentas.
- c. Utilización y mantenimiento de los medios tecnológicos modernos y apropiados.
- d. Desarrollo de alianzas estratégicas y cooperaciones a nivel nacional e internacional.

- e. Mecanismos de aseguramiento de calidad a todos los niveles de la Empresa.
- f. Capacitación y perfeccionamiento continuo de su personal.
- g. Información y educación de la población y clientes sobre temas relacionados con la actividad empresarial de RECOPE.
- h. Investigación y desarrollo de procedimientos para la aplicación de las mejores prácticas, relacionadas con el desarrollo institucional, la protección del ambiente y la salud ocupacional.
- i. Investigación y desarrollo de nuevos productos y servicios para el mercado.
- j. Mecanismos de financiamiento diversos.

1.3 Visión de RECOPE

Consolidar a RECOPE como empresa petrolera estatal, de reconocido prestigio nacional e internacional, con autonomía administrativa, con excelencia en sus productos y servicios, de eficiente gestión, competitiva, con alianzas estratégicas en el ámbito nacional e internacional, comprometida con el servicio al cliente, la formación integral de su recurso humano, la protección del ambiente y el desarrollo nacional dentro del marco del monopolio natural que esta actividad representa.

1.4 Departamento de Mantenimiento

El Departamento de Mantenimiento es una dependencia directa de la Dirección de Servicios Operativos de Apoyo y posee las características de un órgano operativo.

1.4.1 Objetivos

- a. Planear, programar, ejecutar y supervisar las actividades que involucra el desarrollo de programas de mantenimiento preventivo y correctivo tendientes a mantener en óptimas condiciones la conservación y funcionamiento de los equipos e instalaciones de la Gerencia de Refinación.
- b. Brindar un mantenimiento adecuado a las dependencias de la Empresa que lo requieran.

1.4.2 Funciones que le corresponde

- a. Realizar eficientemente el mantenimiento de los equipos utilizados en los procesos de importación y refinación.
- b. Mantener en buenas condiciones de conservación y funcionamiento el sistema de almacenamiento de materia prima y productos terminados.
- c. Ejecutar las labores eléctricas, mecánicas y civiles que requiera el mantenimiento de los equipos e instalaciones de la Refinería.
- d. Ejecutar en forma eficaz los proyectos de montaje de menor envergadura que se le asignan.
- e. Determinar y gestionar mediante la asignación de recursos ante las dependencias correspondientes la adquisición de los repuestos y materiales requeridos para cumplir con las órdenes de trabajo que se le solicitan.
- f. Elaborar los estudios y análisis correspondientes a las mejoras tecnológicas del equipo existente para procurar su óptima operación.
- g. Solventar, a través del Departamento correspondiente, las necesidades de capacitación del personal operativo y mandos medios con el propósito de lograr un mayor aprovechamiento de las técnicas, los recursos y los suministros.
- h. Confeccionar programas de mantenimiento preventivo de equipo e instalaciones.
- i. Confeccionar repuestos, reparar y rescatar, adecuando las partes desechadas.
- j. Velar por el mejoramiento constante del sistema de información del control de la gestión del mantenimiento, rendimiento, análisis de fallas, etc.
- k. Apoyar eficientemente a las dependencias que requieran sus servicios a nivel empresarial.
- l. Otras funciones relacionadas con el área.

1.4.3 Relaciones de coordinación interna:

- a. Gerencia de Refinación
- b. Gerencia de Mercadeo y Distribución (ventas y oleoducto Limón)
- c. Dirección de Proyectos
- d. Dirección de Operaciones
- e. Dirección de Suministros
- f. Departamento de Protección Integral
- g. Departamento de Servicios Técnicos
- h. Departamento de Desarrollo de Personal

1.4.4 Relaciones de coordinación externa

- a. Proveedores de Equipo
- b. Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica
- c. Instituto Costarricense de Ferrocarriles
- d. Instituto Costarricense de Electricidad
- e. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados
- f. Dirección General de Tránsito
- g. Instituto Tecnológico de Costa Rica

1.4.5 Dependencias Directas

- a. No tiene.

1.4.6 Organigrama de RECOPE, nivel nacional.

Como se puede apreciar en la figura 1.1, el departamento de mantenimiento (del plantel El Alto) está ubicado bajo la dirección de servicios operativos de apoyo, el cual pertenece a su vez a la gerencia de mercadeo y distribución. Dicha gerencia responde únicamente a la gerencia general y la presidencia.



Figura 1.1 Organigrama de RECOPE

1.4.7 Organigrama del departamento de mantenimiento.

En la figura 1.2 se puede apreciar el organigrama del departamento de mantenimiento del plantel El Alto. Solo dos gerencias de las cuatro existentes cuentan con un departamento de mantenimiento. EL organigrama siguiente es el de la jefatura de mercadeo y distribución (El Alto).

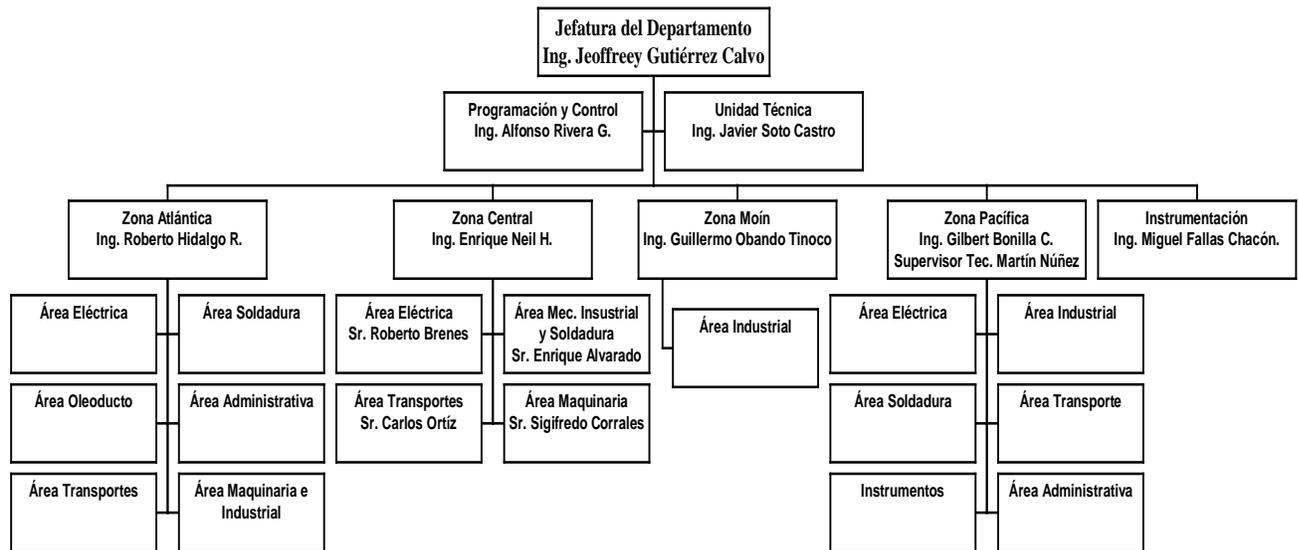


Figura 1.2 Organigrama del departamento de mantenimiento.

Capítulo 2. Proyecto Técnico. Estudio del funcionamiento de las trampas de vapor de las líneas que alimentan a los tanques de búnker y asfalto.

2.1 Limitantes del proyecto

En cualquier empresa, existen factores limitantes, tanto para la unidad diseñadora como la ejecutora, éstas impiden de alguna forma que el proyecto se desarrolle de manera idónea. Con frecuencia la limitante más grande es el dinero, en especial en el departamento de mantenimiento, ya que comúnmente su importancia es subestimada por los puestos gerenciales de la compañía.

RECOPE no es la excepción a la regla. Este proyecto nace de la necesidad de cuantificar sus problemas de desperdicio de vapor y de proponer una solución técnica a esa ineficiencia. Dicho proyecto debe realizarse al margen de ciertos parámetros, los cuales se explican a continuación.

- a. Los equipos que están siendo objeto de estudio no pueden ser detenidos con el fin de realizar mediciones de ningún tipo. Cualquier dato que se requiera deberá tomarse con el equipo funcionando.
- b. En la medida de lo posible, la solución planteada deberá utilizar únicamente los recursos existentes en la empresa.
- c. La solución planteada debe ir orientada a que el sistema sea automatizado, es decir, tratar de evitar algún diseño que requiera presencia de personal adicional al que ya se encuentra en el plantel.
- d. Las calderas, los tanques, los intercambiadores de calor, el aislante, y las tuberías ya se encuentran seleccionados y operando, por lo que cualquier solución debe amoldarse a los sistemas existentes.

Con base en las premisas anteriores, se desempeñó el proyecto técnico.

2.2 Fundamentos Teóricos.

2.2.1 Eliminación del Condensado

Para la eliminación del condensado se emplean las trampas de vapor. Básicamente, una trampa de vapor es un dispositivo que retiene el vapor pero separa el agua condensada así como el aire y otros gases.

La trampa de vapor es una válvula que realiza las siguientes funciones:

- a. Drenar el condensado formado.
- b. Eliminar el aire y los gases incondensables.
- c. Eliminar cualquier suciedad presente en el vapor y/o los condensados.
- d. No permitir el escape de vapor.

Las hay de tres tipos principalmente:

- a. Trampas mecánicas.
- b. Trampas termostáticas.
- c. Trampas termodinámicas.

Las trampas mecánicas son aquéllas que funcionan detectando las diferencias de densidad que existen entre el vapor y el condensado. Entre ellas, se pueden señalar las trampas combinadas de flotador termostáticas y las trampas de cubeta invertida. Las trampas termostáticas son aquéllas que funcionan detectando la diferencia de temperatura entre el vapor y los condensados que se han enfriado. Son de tipo bimetálico. Las trampas termodinámicas son en realidad unas válvulas cíclicas.

El tipo y tamaño de la trampa de vapor es vital para la eliminación eficiente y adecuada del condensado. Se recomienda consultar las guías de selección de trampas para la obtención de la correcta información antes de proceder a la adquisición de estos componentes.

La mayoría de los problemas en los sistemas de vapor, se originan por fallas en el sistema de drenaje. Las fallas más comunes son:

- a. No usar trampas de vapor.
- b. Usar una trampa de tamaño inadecuado.
- c. Usar un tipo de trampa no adecuado.

2.2.2 Trampa de Vapor de Balde Invertido

La trampa de vapor con balde invertido y sumergido es una trampa mecánica que opera basada en la diferencia de densidades entre el vapor y el agua. El vapor que entra al balde invertido y sumergido causa que éste flote y que cierre la válvula de descarga. El condensado que entra a la trampa, paulatinamente comienza a llenar de líquido el cuerpo de la trampa, lo que ocasiona que no exista vapor que mantenga el balde a flote, por lo que éste se hunde y así se abre la válvula de descarga para dejar salir al condensado. A diferencia de otras trampas mecánicas, la de balde invertido también ventea continuamente el aire y el bióxido de carbono, a la temperatura del vapor.

En la figura 2.1 se ilustra el funcionamiento de la trampa de vapor de balde invertido. En (i) el balde invertido cuelga, por acción de la gravedad, y hace que la válvula baje, separándola de su asiento, por lo que queda abierta. El condensado fluye desde la parte inferior del balde llenando el cuerpo de la trampa, hasta que llega a salir por la salida de la trampa. En (ii) la llegada de vapor provoca que el balde comience a flotar, lo que causa que se eleve y coloque la válvula de nuevo en su asiento, lo que hace que se cierre el orificio de salida.

En (iii) la trampa permanece cerrada hasta que el vapor que se encuentra en el balde se condense, o salga por medio del orificio de pura (también conocido como orificio de ventilación) hacia la parte superior del cuerpo de la trampa. Entonces el balde se hundirá, y halará la válvula, lo que la hace separarse de su asiento, por lo que se abre el orificio para que el condensado salga. El ciclo comienza de nuevo y se repite indefinidamente.

En (ii) el aire que llega a la trampa cuando comienza a funcionar el sistema (arranque de la caldera), también ocasiona que el balde flote y cierre la válvula. El orificio de purga es esencial para permitir que el aire escape hacia la parte superior de la válvula para una eventual descarga, a través de la válvula. El orificio y la presión diferencial son pequeños, por lo que la trampa es relativamente lenta para evacuar aire. Al mismo tiempo, cierta cantidad de vapor debe ser usado (y por tanto desperdiciado) para que la trampa pueda funcionar una vez que el aire ha sido evacuado.

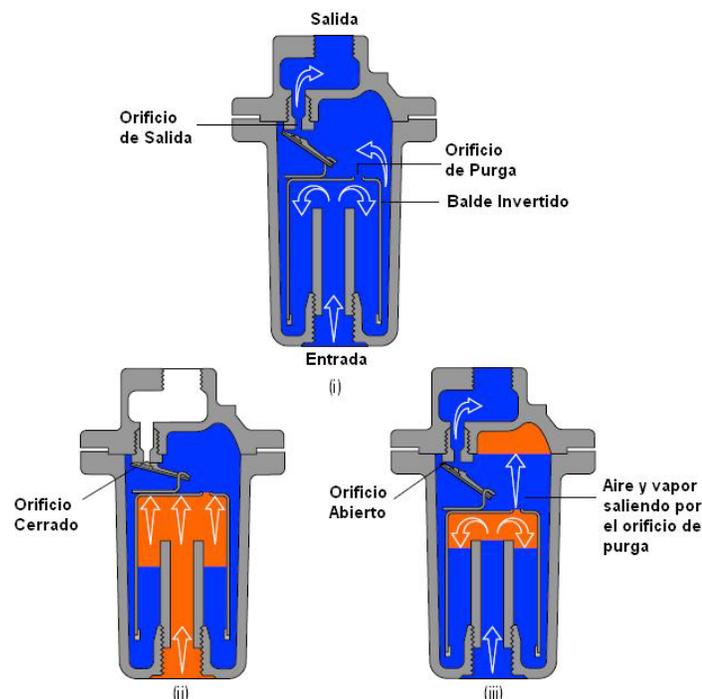


Figura 2.1 Funcionamiento de una trampa de vapor de balde invertido

2.2.3 Trampa de Vapor de tipo Termodinámico

La trampa de vapor termodinámica es una trampa muy robusta, que tiene un modo de operación muy sencillo. Su rango de aplicación es muy amplio, y comúnmente su valor económico es inferior al de otras trampas para aplicaciones semejantes.

Su funcionamiento se puede apreciar en la figura 2.2. En (i) al aumentar la temperatura en el equipo, la presión en el espacio de vapor aumenta y empieza a empujar el condensado más rápidamente a través de la trampa. El condensado también llega a una temperatura mayor y al bajar su presión, pasando a través de la trampa, parte se revaporiza y al ocupar el vapor un mayor volumen que el condensado, ayuda a que la velocidad aumente.

En (ii) va aumentando la temperatura del condensado lo que ocasiona que se forme más revaporizado (vapor flash), aumentando de esta forma más y más la velocidad del flujo en la parte inferior del disco, esto ocasiona que la presión estática disminuya, por consiguiente el disco empieza a bajar hacia los anillos del asiento. Pero a medida que el disco baja, el flujo disminuye, lo que causa una reducción de la velocidad y la presión estática comienza a aumentar, ésto podría ocasionar que el disco se vuelva a elevar, pero es en este momento que la cámara de control comienza a actuar, donde el mismo vapor atrapado en esta cámara ejerce presión hacia abajo, venciendo la presión de entrada que está actuando en un área muy pequeña en el centro del disco (diferencia de área entre el anillo interno y el externo) y obliga a éste a bajar sobre su asiento.

En (iii), al enfriarse el vapor que se encuentra en la cámara de control, la presión que actúa en la parte superior del disco disminuye hasta que ya no es lo suficientemente fuerte como para mantener el disco presionado hacia abajo, y en (iv) el disco se levanta y la trampa vuelve a descargar condensado nuevamente.

La trampa se abre debido a las pérdidas térmicas del casquete superior y se cierra debido a la acción dinámica del vapor revaporizado. Es por esta razón que su nombre es trampa termodinámica.

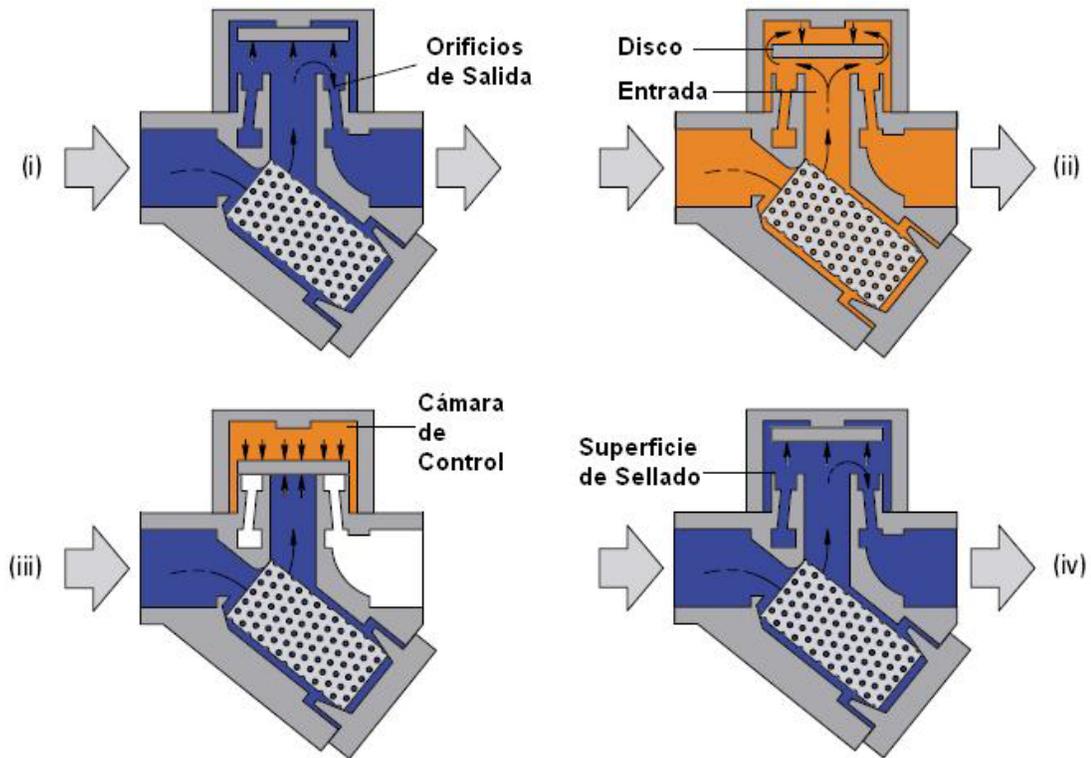


Figura 2.2 Esquema de funcionamiento de una trampa de vapor termodinámica

La construcción de una trampa de vapor termodinámica es muy sencilla, debido a que cuenta con muy pocas partes. Principalmente, está compuesta por el cuerpo de la trampa, el disco, y la tapa rosca superior.

Algunos modelos cuentan con un insotub, el cual es un cobertor para la tapa rosca. Dicho protector actúa como aislante, para que la temperatura del medio ambiente no interfiera con la temperatura de la cámara de control. Otros modelos también vienen equipados con filtro interno reemplazable.

En la figura 2.3 se muestra un corte lateral de una trampa de vapor de tipo termodinámico. Puede apreciarse que cuenta con un filtro interno, y este modelo en particular no cuenta con insotub.

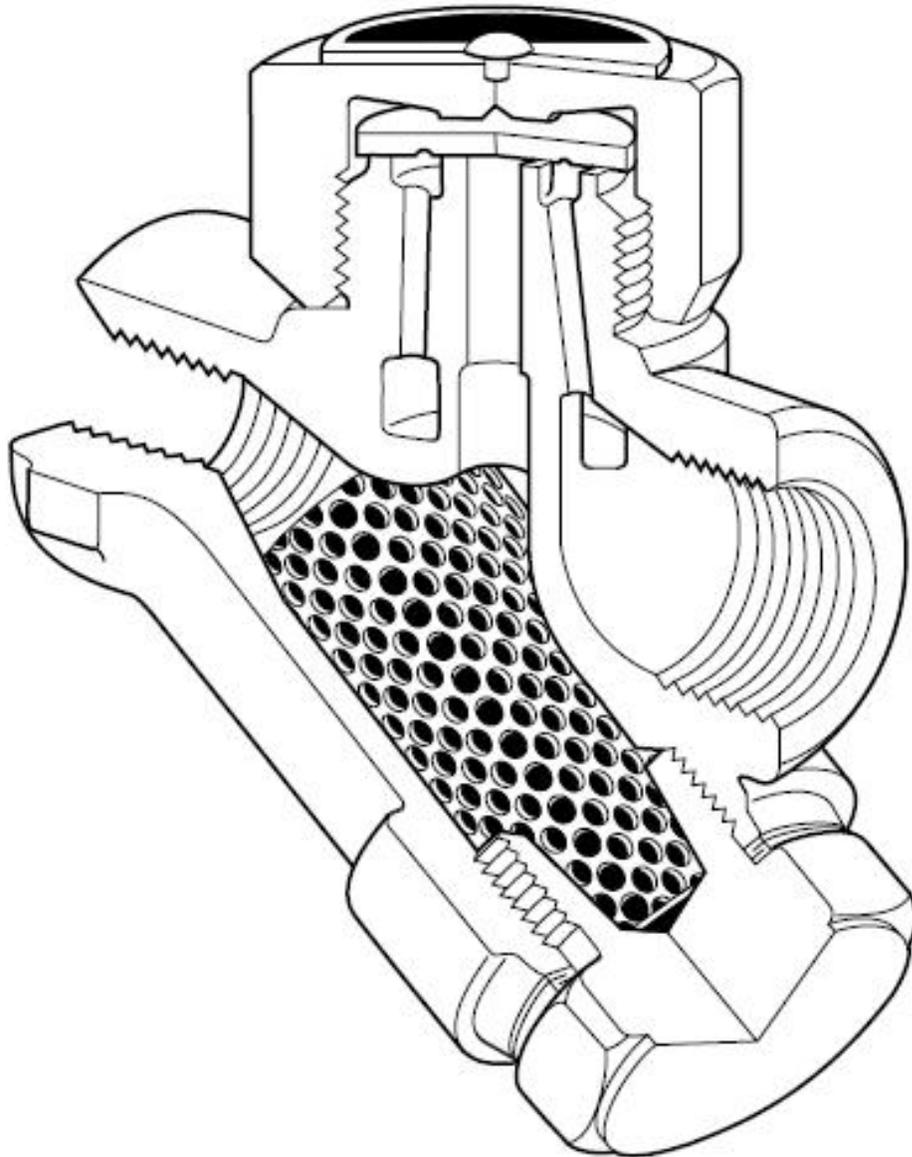


Figura 2.3 Corte lateral de una trampa de vapor termodinámica

2.2.4 Trampa de Vapor Mecánica tipo Boya

La trampa de vapor mecánica de tipo boya opera bajo el principio de diferencia de densidad que existe entre el condensado y el vapor. En este tipo de trampas, la válvula siempre se encuentra inundada, así que ni el vapor ni el aire pueden ser evacuados. Ésta era la razón por la cual en las primeras trampas de este tipo, se instalaron venteadores de aire manuales en la parte superior de la trampa. Las trampas modernas usan un sistema termostático para remover el aire de la trampa. Esto le permite a la trampa sacar el aire que se encuentra al principio del ciclo, mientras sigue manejando el condensado. Una vez evacuado el aire inicial, se mantiene cerrado hasta que aire, u otros gases no condensables se acumulen en la trampa, lo que causa que se abra de nuevo, debido a la diferencia de temperatura que hay entre estos gases y el vapor. La ventila de aire termostática ofrece un gran beneficio al incrementar significativamente la capacidad de purga de condensado al inicio del ciclo de vapor. En la figura 2.4 puede apreciarse la secuencia de funcionamiento de la trampa mecánica de boya, con una explicación más detallada.

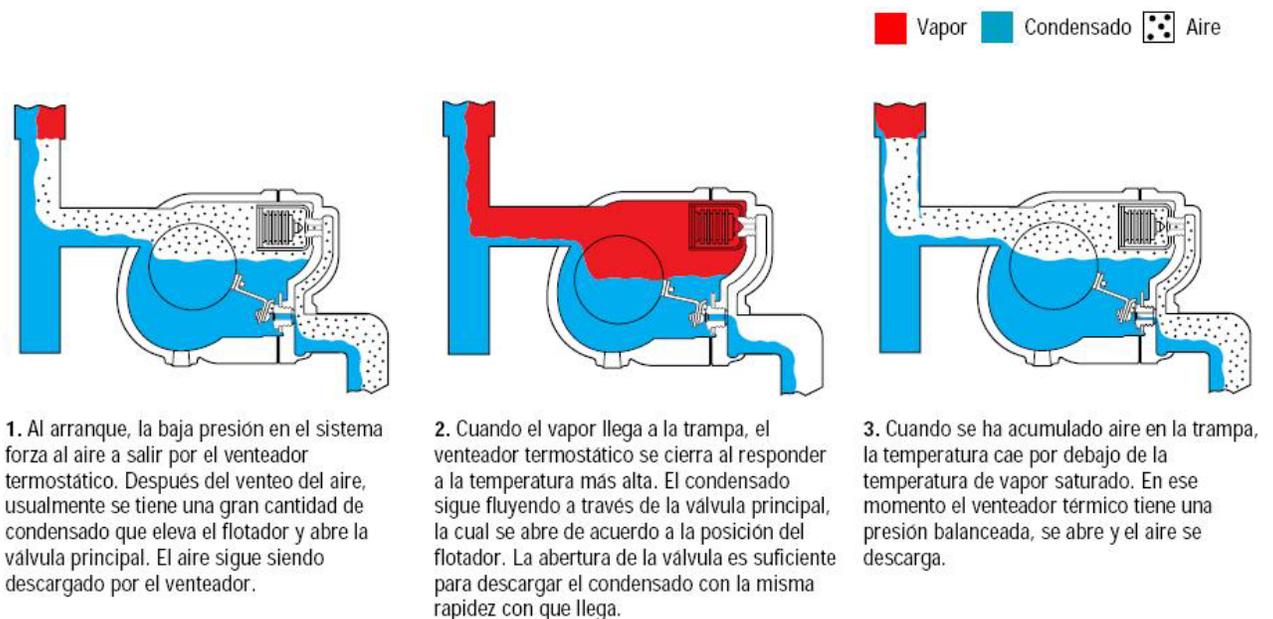


Figura 2.4 Funcionamiento de una trampa mecánica de boya

En las figuras 2.5 y 2.6 pueden observarse ejemplos de trampas de vapor tipo mecánico de boya.



Figura 2.5 Trampa de vapor mecánica de tipo boya

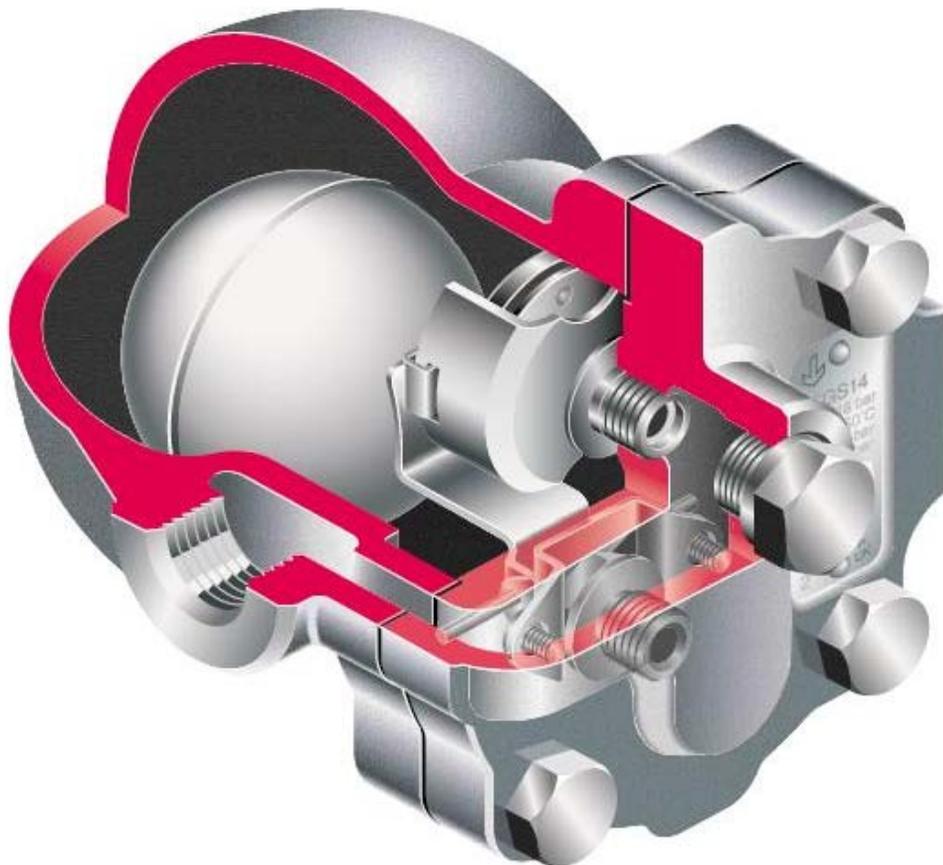


Figura 2.6 Corte lateral de una trampa de vapor de tipo flotador de boya

2.2.5 Trampa de vapor mecánica de tipo flotador libre

Este tipo de trampa es similar a la de flotador con palanca (boya), sin embargo a diferencia de ella no existe nada que sujete el flotador y por tanto la única parte en movimiento es el flotador. El asiento del flotador (orificio) debe ser tratado térmicamente, lo que incrementa su dureza. Adicionalmente se elabora en acero inoxidable. En la figura 2.7 se muestra un esquema de funcionamiento de una trampa de vapor tipo mecánica de flotador libre. Como puede apreciarse, no dispone de una palanca que regule el movimiento de la boya, sino que ésta se mueve libremente con el condensado.

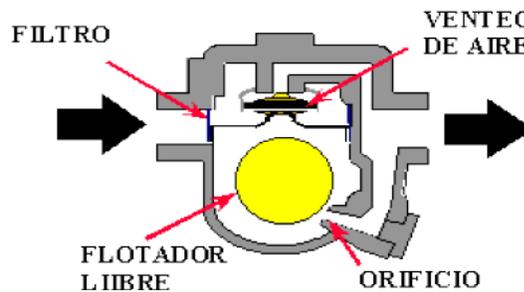


Figura 2.7 Trampa de vapor mecánica de tipo flotador libre

Cuando el sistema de vapor empieza a funcionar, el aire es introducido en la trampa, la cual gracias al elemento termostático o venteo de aire permite expulsarlo libremente a la atmósfera. Luego llega el condensado frío ocasionando que el flotador se suspenda y logre desalojarlo igualmente. En la figura 2.8 se puede apreciar una fotografía de una trampa de vapor de flotador libre.



Figura 2.8 Trampa de vapor de tipo balde invertido

2.3 Selección del tamaño de trampas de vapor

El tamaño necesario de una trampa de vapor para una aplicación dada, puede ser determinado en tres etapas.

2.3.1 Primera etapa: Obtener la información necesaria.

- a. Calcule o estime la carga máxima de condensado en libras por hora. Si el equipo opera con diferentes presiones de vapor, debe tomarse en cuenta la carga máxima de condensado a la presión mínima del vapor.
- b. Presión a la entrada de la trampa. Esta puede ser mucho menor que la presión en las tuberías principales de vapor, ya que se tienen de por medio reguladores de temperatura, reductores de presión, filtros, y equipo de transferencia de vapor.
- c. Contra-presión, contra la cual debe operar la trampa. Esta contra-presión también incluye la carga hidrostática de los condensados ejercida en el sentido contrario.

2.3.2 Segunda etapa: Aplique un factor de seguridad.

La relación entre la capacidad de descarga máxima de la trampa de vapor y la carga de condensado esperada debe manejarse con un factor de seguridad. El factor de seguridad es influenciado por:

- a. Características de operación de la trampa.
- b. Exactitud de la carga de condensado estimada o calculada.
- c. Condiciones de presión a la entrada y salida de la trampa.

Si la carga de condensado y las condiciones de presión pueden ser determinadas con precisión el factor de seguridad puede ser contenido a un mínimo y evitar el sobre-dimensionamiento de las trampas. En el anexo 3 se muestran los factores de seguridad recomendados.

Estos factores de seguridad dependen también de:

- a. La aplicación. En algunas aplicaciones hay trabajos de calentamiento de aire en grandes cantidades, y cargas intermitentes muy superiores al régimen medio de condensación. Una pierna colectora de diámetro mayor puede solucionar, en parte, el problema, pero puede ser necesario utilizar un alto factor de seguridad.
- b. El tipo de trampa elegido. Las trampas termodinámicas, de flotador y termostáticas, y de expansión líquida, que responden inmediatamente a la presencia de condensado, permiten factores de seguridad tan bajos como 1,25 a 1,0. Las trampas de balde invertido y de presión equilibrada, que deben esperar a que el vapor pase a través de un pequeño orificio en un balde o que el condensado se enfríe, requieren un mayor factor de seguridad.

2.3.3 Tercera etapa: Seleccionar el tipo de trampa.

La selección del tipo adecuado de trampa para una aplicación dada es muy importante, y debe referirse al anexo 4. Utilice las tablas de capacidad de los fabricantes para elegir el tamaño de la trampa.

Asegúrese que las tablas de capacidad estén basadas en condiciones reales de operación con condensado caliente y no con agua fría. Es importante respetar el factor de seguridad, pero NO sobredimensionar las trampas de vapor. Las trampas de vapor son, ocasionalmente, sub-capacitadas, pero más a menudo son sobredimensionadas. En algunas plantas, la capacidad combinada de las trampas, debido al sobre-dimensionamiento, es de 10 a 15 veces el consumo total de vapor de la planta.

Dejando a un lado la inversión inútil en la compra, las trampas sobredimensionadas pueden ser una fuente de dificultades. Al seleccionar trampas de vapor, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- a. Algunas trampas, tales como la cubeta invertida y las termostáticas de presión equilibrada darán una menor eficiencia térmica.

- b. Las trampas que tienen una descarga intermitente, pueden descargar simultáneamente con otras trampas regímenes de flujo extremadamente altos, produciendo contrapresiones anormales.
- c. Las trampas sobre-dimensionadas con descarga intermitente pueden producir regímenes de flujo repentinos que contribuirán a golpes de ariete.

2.4 Diagnóstico y Reparación de las Trampas de Vapor

Básicamente, una trampa que falla deja soplar vapor o no permite descargar condensado. Si el inconveniente radica en un soplo de vapor, hay que asegurarse que es realmente un chorro de vapor y no revaporizado. Esto puede ser bastante difícil de reconocer en aplicaciones de alta presión, en las que se produce una gran cantidad de revaporizado (vapor flash). Hay que tener presente que el revaporizado tiende a estar presente en cantidad proporcional al condensado que está pasando, o sea que cuando haya sólo un goteo de condensado habrá poco vapor y cuando haya una gran cantidad de condensado, vendrá acompañado de una cantidad proporcional de vapor flash, suponiendo que por ningún motivo el condensado sea sub-enfriado.

Un soplo de vapor genuino tiende a ser mucho más evidente a medida que disminuye la cantidad de condensado. Si se está en la duda, debe realizarse un ensayo cuidadoso soplando el condensado y el vapor dentro de una cantidad grande de agua fría, a una temperatura medida, tomando nota del aumento del peso y la temperatura. Pero teniendo en cuenta que este proceso es bastante complicado y no muy cómodo de realizar durante el trabajo diario de mantenimiento, cuando hay alguna duda es generalmente más rápido desarmar la parte operativa de la trampa para examinarla. La causa más común de soplo de vapor es la obstrucción de la válvula por suciedad.

Si el problema radica en que no pasa condensado, antes que nada controle que no haya ninguna válvula cerrada, ningún filtro bloqueado y que haya condensado presente. También es necesario cerciorarse de que las trampas estén colocadas en la posición correcta.

El material en esta sección es bastante útil para localizar y corregir casi cualquier problema en las trampas de vapor. Varios de los problemas que se mencionan son problemas en el sistema, en vez de problemas con las trampas.

Siempre que falle una trampa, y no exista una razón aparente para esa falla, se debe observar cuidadosamente la descarga de la trampa. Esta es una tarea sencilla si es que la trampa se ha instalado con una salida para pruebas; si éste no es el caso entonces será necesario desconectar la tubería de salida para observar la descarga.

2.4.1 Trampa Fría y Sin Descarga

Si la trampa no está descargando ningún condensado, entonces:

- A. La presión puede ser demasiado alta.
 - a. Se especificó la presión incorrecta para su elección.
 - b. La presión se elevó sin haber instalado un orificio más pequeño.
 - c. La válvula reguladora no funciona correctamente.
 - d. Lectura baja en el manómetro para la presión de la caldera.
 - e. El orificio se ha hecho más grande debido al desgaste normal.
 - f. Un alto vacío en las tuberías de retorno incrementan la presión diferencial mas allá de la máxima permitida para la trampa.
- B. No llega condensado o vapor a la trampa.
 - a. El filtro ubicado antes de la trampa está tapado.
 - b. Fugas en la tubería de entrada a la trampa.
 - c. Tubería o codos tapados.
- C. Mecanismo desgastado o defectuoso.

Se debe de reparar o reemplazar lo que sea necesario.
- D. Cuerpo de la trampa está lleno de suciedad.

Se debe de instalar un filtro, o se debe de remover la suciedad en donde se está generando.

- E. Para las trampas de Balde Invertido (BI), el venteador está lleno de suciedad.
Se evita mediante:
 - a. La instalación de un filtro.
 - b. Aumento ligero del tamaño del venteador.
 - c. El uso de un alambre limpiador en el venteador del balde.
- F. Para trampas tipo flotador y termostáticas (F&T), si el venteador de aire no está funcionando en forma correcta, muy probablemente está trabado por aire.
- G. Para trampas termostáticas, partes del fuelle se pueden romper debido a un impacto hidráulico, lo que causaría que la trampa falle cerrada.
- H. Para trampas de disco, puede ser que la trampa se instaló invertida.

2.4.2 Trampa Caliente y Sin Descarga.

- A. No está llegando condensado a la trampa.
 - a. La trampa se instaló más arriba que una válvula bypass con fuga.
 - b. El tubo del drenaje por sifón en un tanque está roto o dañado.
 - c. Vacío en el serpentín del calentador de agua evita el drenaje. Debe instalarse un rompedor de vacío entre el intercambiador de calor y la trampa.

2.4.3 Pérdida de Vapor.

Si la trampa está dejando escapar vapor vivo, se puede deber a cualquiera de los siguientes problemas:

- A. Válvula no cierra en su asiento.
 - a. Pedazo de óxido incrustado en el orificio.
 - b. Partes desgastadas.
- B. Trampas de Balde Invertido (BI) pierden su ciclo.
 - a. Si la trampa está descargando vapor vivo, ciérrase la válvula de entrada por unos minutos. Vuélvase a abrir gradualmente. Si la trampa recupera su ciclo de operación entonces muy probablemente la trampa no tiene ningún problema.

- b. Típicamente la pérdida del ciclo en una trampa se debe a cambios frecuentes y repentinos en la presión de vapor. En estos casos se recomienda la instalación de una válvula check. Cuando sea posible se debe instalar la trampa muy por debajo del punto de drenado.
- C. Para trampas de tipo flotador y termostáticas (F&T), los elementos termostáticos pueden tener problemas al cerrar.

2.4.4 Flujo Continuo.

Si una trampa de Balde Invertido (BI) o una de disco está descargando continuamente, o si una trampa de flotador y termostática (F&T) o una termostática descarga a su máxima capacidad, se debe revisar lo siguiente:

- A. Trampa demasiado pequeña.
 - a. Una trampa más grande, o adicionales, se pueden instalar en paralelo.
 - b. Trampas para altas presiones se pueden estar utilizando en aplicaciones a baja presión. Instálese un mecanismo interno del tamaño adecuado.
- B. Agua en condiciones anormales. La caldera, al estar formando espuma o al estar sobrecargada, lanza grandes cantidades de agua en las tuberías del vapor. Se debe instalar un separador o se deben corregir las condiciones del agua de alimentación a la caldera.

2.4.5 Calentamiento Lento

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

- A. Una o más de las unidades están en cortocircuito. La solución es instalar una trampa en cada unidad.
- B. Las trampas pueden ser demasiado pequeñas para la aplicación dada, aun cuando parezca que están descargando el condensado de manera eficiente. Se deben de probar trampas de un tamaño más grande.

- C. La trampa tiene capacidad insuficiente para lidiar con el aire presente, o el aire puede no estar llegando hasta la trampa. En ambos casos se debe usar un venteador de aire adicional.

2.4.6 Problemas Misteriosos o Imaginarios.

Si la trampa está funcionando de manera satisfactoria cuando descarga a la atmósfera, pero se tienen problemas cuando su descarga se conecta a una tubería de retorno, se debe revisar lo siguiente:

La contrapresión puede estar disminuyendo la capacidad de la trampa.

- a. La tubería de retorno es demasiado pequeña (Trampa Caliente).
- b. Otras trampas están descargando vapor (Trampa Caliente).
- c. El venteador atmosférico en el receptor del condensado está tapado (Trampa fría o caliente).
- d. La tubería de retorno está obstruida (Trampa Caliente).
- e. Vacío excesivo en la tubería de retorno (Trampa Fría).

Si se tiene la impresión de que se está escapando vapor cada vez que la trampa descarga, recuerde que el condensado caliente genera vapor flash al ser descargado a una presión menor, pero generalmente se condensa más rápido en la tubería de retorno.

2.5 Análisis de Resultados

Vale la pena mencionar que para la elaboración de los proyectos (tanto el técnico como el administrativo) se contó con la ayuda de un grupo de expertos de la prestigiosa marca *Spirax Sarco*, reconocida a nivel mundial como el líder en la industria.

Esta oportunidad se presentó al intercambiar correos electrónicos con Robert Harrison, ejecutivo de mercadeo en industrias petroquímicas de la división de ingeniería de *Spirax Sarco*, en Cheltenham, Reino Unido. (La sede central de *Spirax Sarco* se encuentra en Reino Unido).

El señor Robert Harrison remitió el problema a Frank Núñez, persona encargada de países de la región, como son Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Venezuela, entre otros.

El señor Frank Núñez se puso en contacto tan sólo 3 días después de haber enviado el primer correo nuestro con las inquietudes que tenía con respecto a los problemas de vapor presentes en el plantel. En esa llamada telefónica se acordó una reunión para ver el plantel, dado que por casualidad ellos se encontraban en Nicaragua brindando una consultaría, e iban a pasar en Costa Rica 4 días, por motivos de negocios. Ellos dijeron que, de forma gratuita, podían visitar el plantel, para conocer la condición actual de la instalación y proveer de una rápida pero necesaria asesoría. El día de la visita asistieron un total de 5 personas, 2 costarricenses, 1 venezolano y 2 ingleses. Cabe destacar que sólo 2 personas eran personal de ventas, los 3 restantes eran expertos consultores de *Spirax Sarco*, por lo que la experiencia fue muy provechosa y gratificante.

Fue experiencia única cuyos frutos han quedado plasmados en las siguientes páginas.

Para asegurarse de que se cuenta con un sistema de vapor eficiente, es necesario conocer el estado de las trampas de vapor. Esta labor se puede volver muy tediosa, ya que en una instalación de vapor grande, como la existente en RECOPE, hay muchas trampas de vapor, de diferentes tipos y tamaños.

Para efectuar un estudio que pueda proveer la magnitud exacta del desperdicio de vapor, se requiere conocer el costo económico que se necesita para producir el vapor que se usa en el plantel. El costo del vapor en RECOPE es de 8,31 colones por cada libra de vapor. El desglose exacto del costo del vapor, puede encontrarse en el anexo 1.

Para estimar las pérdidas de vapor, producto de orificios abiertos (una trampa que falle en posición abierta se va a tomar como si fuera un orificio en la tubería, cuyo diámetro será el asiento de la válvula interna), se va a utilizar la fórmula de napier, donde la pérdida se expresa en lb / hr.

$$\text{Pérdida de vapor} = (\text{Área del orificio, pulg}^2)(\text{Presión, psia}) * \frac{3600}{70}$$

Para la determinación de las pérdidas económicas, producto de orificios abiertos de trampas, se tomará para el estudio del costo en trampas termodinámicas un orificio de 0.17" y para las trampas de balde invertido un orificio de ½". La presión promedio a la que están sometidas las trampas es de 9.5 bares (137,75 psig) y una presión atmosférica de 0,887 bares (12,86 psi).

$$\text{Pérdida de vapor} = \frac{\left(\frac{0.17}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \text{pulg}^2 \cdot 150,61 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \cdot 3600}{70} = 175,81 \text{ lb/hr}$$

$$\text{Pérdida de vapor} = \frac{\left(\frac{0.5}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \text{pulg}^2 * 150,61 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} * 3600}{70} = 1.520,86 \text{ lb/hr}$$

El costo económico por concepto de fuga de vapor por orificio abierto en trampas es de:

$$\text{Costo } 0,17'' = 175,81 \text{ lb / hr} * 8,31 \text{ colones / lb} = 1.461,00 \text{ colones / hr}$$

$$\text{Costo } \frac{1}{2}'' = 1.520,86 \text{ lb / hr} * 8,31 \text{ colones / lb} = 12.638,35 \text{ colones / hr}$$

Los valores encontrados anteriormente representan el gasto de vapor que se fuga por cada trampa que trabaja de forma incorrecta. Ahora, se van a efectuar los cálculos para encontrar la carga de condensados formados a partir del arranque en frío del proceso de calentamiento. Actualmente la instalación de vapor, con sus procesos (a excepción del tanque de búnker) opera a la presión que entrega la caldera, que en este caso es de 9,5 bar. A continuación, se citan las propiedades más importantes del vapor a esa presión.

Datos de vapor saturado a 9,5 bar¹

- a) $T_{\text{SAT}} = 177,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) $V_f = 0,001124 \text{ m}^3/\text{Kg}$
- c) $V_g = 0,2042 \text{ m}^3/\text{Kg}$
- d) $H_f = 753,02 \text{ KJ/Kg}$
- e) $H_{fg} = 2023,1 \text{ KJ/Kg}$
- f) $H_g = 2776,1 \text{ KJ/Kg}$

También se necesitan los datos del asfalto que será calentado. Cabe mencionar que a continuación se hará una muestra de los cálculos matemáticos empleados para obtener el resultado deseado. Como son varios tanques, simplemente para obtener los valores totales, se repite el mismo procedimiento con los valores correspondientes.

¹ Yunus A, Cengel et al. "Termodinámica". Cuarta edición. México: Editorial McGraw-Hill. Pág 730.

Propiedades del asfalto² (datos a una temperatura de 15 °C a menos que se indique lo contrario)

- a) Densidad (ρ) = 1.038 Kg/m³
- b) Calor específico = 920 J/Kg*°C
- c) Conductividad Térmica = 0,062 W/m*°C

Antes de poder encontrar la masa de vapor necesaria para calentar el asfalto, es necesario encontrar la masa de asfalto contenida en el tanque. Aunque el volumen máximo teórico del tanque es de 1.665 m³, en realidad los sistemas de seguridad que lo gobiernan, sólo permiten llenarlo hasta 1.480 m³. Para encontrar la masa de asfalto en ese tanque, se utiliza la densidad del asfalto.

$$m_{\text{asfalto}} = \rho_{\text{asfalto}} * V_{\text{asfalto}} ; \rho_{\text{asfalto}} = 1.038 \text{ Kg/m}^3$$

$$m_{\text{asfalto}} = 1.038 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.480 \text{m}^3$$

$$m_{\text{asfalto}} = 1.536.240 \text{ Kg}$$

Para encontrar la cantidad de condensado que se forma para calentar un tanque lleno con asfalto, desde 10 °C hasta los 150 °C (condición más crítica), se usan las siguientes expresiones:

$$Q_{\text{vapor}} = m_{\text{vapor}} * H_{\text{fg}} ; \text{ en esta ecuación se desconoce la masa del vapor.}$$

$$Q_{\text{asfalto}} = m_{\text{asfalto}} * C_{\text{asfalto}} * \Delta T ; \text{ en esta ecuación se desconoce el calor.}$$

Donde:

- C = Calor específico
- ΔT = Cambio de temperatura
- H = Entalpía específica
- m = masa
- Q = Calor

² Yunus A, Cengel et al. Op Cit. Pág 729.

Como el calor que emite el vapor es el mismo que va a ganar el asfalto, se igualan las ecuaciones y se despeja la incógnita restante, la cual es la masa de vapor para calentar la masa de asfalto dada.

$$Q_{\text{vapor}} = Q_{\text{asfalto}}$$

$$m_{\text{vapor}} \cdot H_{fg} = m_{\text{asfalto}} \cdot C_{\text{asfalto}} \cdot \Delta T$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{m_{\text{asfalto}} \cdot C_{\text{asfalto}} \cdot \Delta T}{H_{fg}}; \text{ sustituyendo los valores conocidos}$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{(1.536.240 \text{ Kg}) \cdot \left(0,920 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot (150 - 10)^\circ\text{C}}{2023,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 97.804,2 \text{ Kg de vapor saturado @ } 9,5 \text{ bar.}$$

En resumen, se necesitan 97.804,2 Kg de vapor saturado @ 9,5 bares para calentar 1.536.240 Kg de asfalto desde 10 °C hasta los 150 °C. Ahora, se necesita calcular la cantidad de vapor requerida para mantener la temperatura del asfalto. Para esto se necesita un cálculo de transferencia de vapor.

El área de transferencia de calor del tanque es la siguiente:

$$A_T = A_{\text{base}} + A_{\text{lado}} = \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot L = \pi(6,4\text{m})^2 + 2 \cdot \pi(6,4)(12,94)$$

$$A_T = 649 \text{ m}^2$$

La velocidad de pérdida de calor está dada por la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{pérdida}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{total}}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{acero}} + R_{\text{aislante}} + R_{\text{aluminio}}}; R = \frac{L}{K \cdot A}; \text{ donde:}$$

K = conductividad térmica, T_s = Temperatura interior (la del asfalto),

T_∞ = Temperatura del exterior del tanque

$$Q_{\text{pérdida}} = \frac{T_s - T_\infty}{\frac{L_{\text{acero}}}{K_{\text{acero}} \cdot A_{\text{acero}}} + \frac{L_{\text{aislante}}}{K_{\text{aislante}} \cdot A_{\text{aislante}}} + \frac{L_{\text{aluminio}}}{K_{\text{aluminio}} \cdot A_{\text{aluminio}}}}; \text{ en este caso las áreas son}$$

iguales, por lo que se puede sacar a factor común.

$$Q_{\text{pérdida}} = \frac{T_s - T_{\infty}}{\frac{1}{A_T} \left(\frac{L_{\text{acero}}}{K_{\text{acero}}} + \frac{L_{\text{aislante}}}{K_{\text{aislante}}} + \frac{L_{\text{aluminio}}}{K_{\text{aluminio}}} \right)}; \text{ sustituyendo los valores en la ecuación:}$$

$$Q_{\text{pérdida}} = \frac{(150 - 20)^{\circ}\text{C}}{\frac{1}{649\text{m}^2} \left(\frac{0,007938\text{m}}{63,9 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,0508\text{m}}{0,039 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,00001\text{m}}{170 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}} \right)}$$

$$Q_{\text{pérdida}} = 64.766 \text{ watts}; 1 \text{ watt} = 1\text{J/s} = 0,001 \text{ KJ/s}$$

$$Q_{\text{pérdida}} = 64,8 \text{ KJ/s}$$

De los datos de vapor @ 9,5 bares de la página anterior, se tiene que la entalpía de vapor saturado (calor latente) a esa presión es de 2.023,1 KJ/Kg, y con este dato se puede averiguar la cantidad de vapor que se debe suministrar por unidad de tiempo, para hacer que la pérdida de energía por transferencia de calor al ambiente sea de tipo estable, constante y estacionaria.

$$H_{fg} (\text{vapor @ 9,5 bares}) = 2.023,1 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_{\text{pérdida}} = 64,8 \text{ KJ/s}$$

$$\dot{m} (\text{Flujo másico}) = \frac{64,8 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}}{2.023,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} = \frac{64,8\text{Kg}}{2.023,1\text{s}} = 0,032 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 115,31 \frac{\text{Kg}}{\text{hora}}$$

Esto quiere decir que para que la pérdida de calor en el tanque sea estacionaria, deben suministrarse, por hora, aproximadamente 115,3 Kg de vapor saturado @ 9,5 bar.

Ahora bien, la instalación actual de RECOPE utiliza vapor a 9,5 bar, eso incluye la presión de la caldera, las tuberías de transmisión de vapor y el proceso de calentamiento. Esta no es la manera más eficiente de hacer las cosas.

El vapor debe transportarse a valores altos de presión (se debe transportar a las mismas condiciones con las que abandona la caldera), pero su presión debe disminuirse, (contrario a la creencia popular) hasta los valores de presión mínimos que permitan obtener la temperatura requerida por el proceso. Es un error común el pensar que a mayor presión se va a calentar más rápido el proceso, debido a la mayor temperatura, lo que hace al sistema de vapor más eficiente. Cuando en realidad, más que enfocarse en la temperatura del vapor, debe tomarse en cuenta la entalpía de calor latente a la presión de trabajo del sistema y del proceso, o sea, el calor que de verdad se está aprovechando.

Se trata de calcular los colones/año de ahorro cuando se utiliza vapor a 5 bar en lugar de utilizarlo a 9,5 bar para calentar los mismos 1.536.240 Kg de asfalto desde 10 °C hasta los 150 °C. que se habían calculado anteriormente a 9,5 bar.

Se escoge una presión de 5 bar porque la temperatura de saturación a esa presión es de 151,84 °C. Esta temperatura es ligeramente mayor a la temperatura a la que se requiere el asfalto.

$$Q_{\text{vapor}} = Q_{\text{asfalto}}$$

$$m_{\text{vapor}} \cdot H_{fg} = m_{\text{asfalto}} \cdot C_{\text{asfalto}} \cdot \Delta T$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{m_{\text{asfalto}} \cdot C_{\text{asfalto}} \cdot \Delta T}{H_{fg}}; \text{ sustituyendo los valores conocidos}$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{(1536240 \text{ Kg}) \cdot \left(0,920 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \cdot (150 - 10)^\circ\text{C}}{2107,38 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 93.892,8 \text{ Kg de vapor saturado @ 5 bar.}$$

Si se compara este valor con el obtenido a 9,5 bar, que fue de 97.804,2 Kg de vapor saturado, se puede observar que con sólo bajar la presión de trabajo en el proceso en el momento de arranque, se economizan 3.911,4 kg de vapor. Si se toma en cuenta que el costo del vapor es de 8,31 colones/libra, y que 1 kg de vapor es 2,2046 libras, se obtiene lo siguiente:

$$3.911,4Kg \cdot \frac{2,2046lb}{1Kg} = 8.623,1 \text{ lb vapor saturado}$$

$$8.623,1lb \cdot \frac{8,31colones}{lb} = 71.657,7 \text{ colones}$$

Esto quiere decir que con sólo disminuir la presión del vapor a la entrada del proceso a calentar, de 9,5 bar a 5 bar, se economizarían casi 72.000 colones en el arranque (por cada tanque), el cual es el caso más crítico y ocurre en pocas ocasiones.

A continuación se hacen los cálculos para el funcionamiento normal de los tanques. De los cálculos anteriores (carga térmica del tanque) se tiene que el calor entregado al ambiente en condiciones normales de funcionamiento es el siguiente:

$$Q_{\text{pérdida}} = 64,8 \text{ KJ/s}$$

Y la entalpía de calor latente a 5 bar es la siguiente:

2.107,38 KJ/Kg (H_{fg}), entonces se tiene:

$$\dot{m} \text{ (Flujo másico)} = \frac{64,8 \frac{KJ}{s}}{2107,38 \frac{KJ}{Kg}} = \frac{64,8Kg}{2107,38s}$$

$$\dot{m} = 0,031 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{m} = 110,7 \frac{Kg}{hora}$$

En resumen, usando vapor saturado a 9,5 bar se necesitan 115,31 Kg/hora y si se cambia a vapor saturado a 5 bar se necesitarían 110,7 Kg/hora. Eso significa un ahorro de 4,61 Kg/hora.

Si se toma en cuenta que el costo del vapor es de 8,31 colones/libra, y que 1 kg de vapor es 2,2046 libras, se obtiene lo siguiente:

$$4,61Kg \cdot \frac{2,2046lb}{1Kg} = 10,163 \text{ lb vapor saturado}$$

$$10,163lb \cdot \frac{8,31colones}{lb} = 84,46 \text{ colones/hora.}$$

Dado que los tanques de asfalto deben permanecer calientes las 24 horas del día los 365 días del año, al cabo de 1 año de haber implementado la disminución de presión de 9,5 bar a 5 bar, se tendría un ahorro de 739.837 colones por cada tanque.

Otra ventaja que presenta la reducción de presión consiste en la mejora de la calidad del vapor que se produce en una expansión adiabática puesto que al pasar de una presión alta, con contenido energético total superior, a una presión inferior, el exceso de energía se utiliza en evaporar las gotas de agua en suspensión mejorando el título del vapor o provocando un cierto grado de recalentamiento. Si se partiera de vapor saturado seco a 9,5 bar, su entalpía sería de 2.776,1 KJ/Kg. Al expansionar a 5 bar la entalpía debe permanecer constante pero al ser la del vapor saturado de 2.747,5 KJ/Kg hay un exceso de 28,6 KJ/Kg que se emplea en recalentar el vapor alrededor de 20 °C.

Ahora bien, si se parte de vapor con calidad de 0,95 (lo cual se ajusta más a la realidad), su entalpía sería de:

Calor sensible + 0,95 calor latente

$$753,02 \text{ KJ/Kg (Hf)} + 0,95 * 2023,1 \text{ KJ/Kg (Hg)} = 2674,97 \text{ KJ/Kg (Hfg) @ 9,5 bar.}$$

La nueva situación, una vez que se disminuya la presión a 5 bar. será tal que:

$$2674,97 \text{ KJ/Kg (Hfg @ 9,5 bar)} = 640,12 \text{ (Hf @ 5 bar)} + X * 2107,38 \text{ KJ/Kg (Hg @ 5 bar)}$$

$$X = 0,97 \text{ (calidad del vapor a 5 bar)}$$

Esto quiere decir que si se reduce la presión de 9,5 bar a 5 bar se puede incrementar la calidad del vapor de 0,95 a 0,97. Lo que implica que el vapor entrará a los intercambiadores de calor mucho más seco.

En la figura 2.9 se puede observar la disposición de los accesorios necesarios para disminuir la presión de entrada del vapor al proceso a calentar.

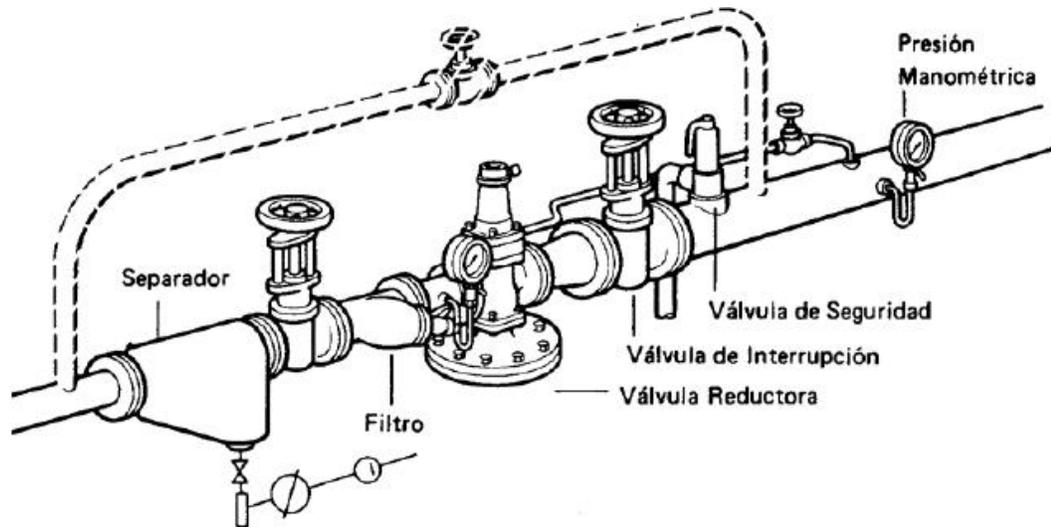


Figura 2.9 Accesorios necesarios para disminuir la presión de vapor a la entrada de un proceso

Además de las ventajas de disminuir la presión en el proceso, mencionadas anteriormente, en el caso de RECOPE la presión de los procesos debe disminuirse porque las trampas de vapor no están diseñadas para manejar la presión de trabajo actual. Además, dichas trampas no fueron instaladas correctamente, por cuanto les faltan accesorios imprescindibles para asegurar su correcto funcionamiento.

Las trampas de vapor de 2 pulgadas (balde invertido), que se encuentran evacuando el condensado de los tanques de asfalto, no cuentan con un filtro. Es necesario habilitarlas con dicho accesorio. Esas mismas trampas se encuentran trabajando a la presión de trabajo de la caldera, la cual es 9,5 bares. Eso equivalente, aproximadamente, a 138 psi manométricas. Esa presión supera la presión de trabajo de las trampas, que es de 115 psi manométricas.

Las trampas de balde invertido de los tanques no son las únicas que están operando de manera inapropiada. Se hizo un estudio del estado actual de las trampas, tomando en cuenta los siguientes parámetros.

Para poder determinar si una trampa de vapor está funcionando correctamente, pueden emplearse dos métodos principalmente: la medición de temperatura, y el uso de equipos de ultrasonido. En el caso de RECOPE se utilizó el primer método, mediante una cámara termográfica.

Como regla general, se puede afirmar que la temperatura en la entrada de la trampa no puede ser igual a la temperatura de la salida de la trampa. Existen condiciones en donde la temperatura de entrada y salida puede llegar a ser muy parecida, pero en las condiciones en que opera el sistema de vapor en RECOPE, esa situación no es probable que suceda. Este sencillo sistema de detección de fallas permite que sea muy fácil determinar el estado de las trampas de vapor.

Para obtener las fotos termográficas, se usa una cámara Raytec TI-30. Dicha cámara puede apreciarse en la figura 2.10 (La cámara en la figura es marca FLUKE, pero esto se debe a que FLUKE compró a Raytec, por eso conserva el mismo diseño y modelo).



Figura 2.10 Cámara Termográfica para mantenimiento predictivo.

En la figura 2.11 se puede apreciar una trampa termodinámica que funciona correctamente. A la izquierda de la imagen térmica se puede apreciar la escala que identifica la temperatura de cada color de la fotografía.

Puede apreciarse que existe una diferencia de temperatura grande entre la tubería de entrada de vapor (color rojo) y la tubería de salida (color verde). Existen aproximadamente 50 grados Celsius de diferencia entre el vapor vivo y el condensado.

Esta fotografía puede tomarse como referencia para el estudio del funcionamiento de las trampas de vapor.

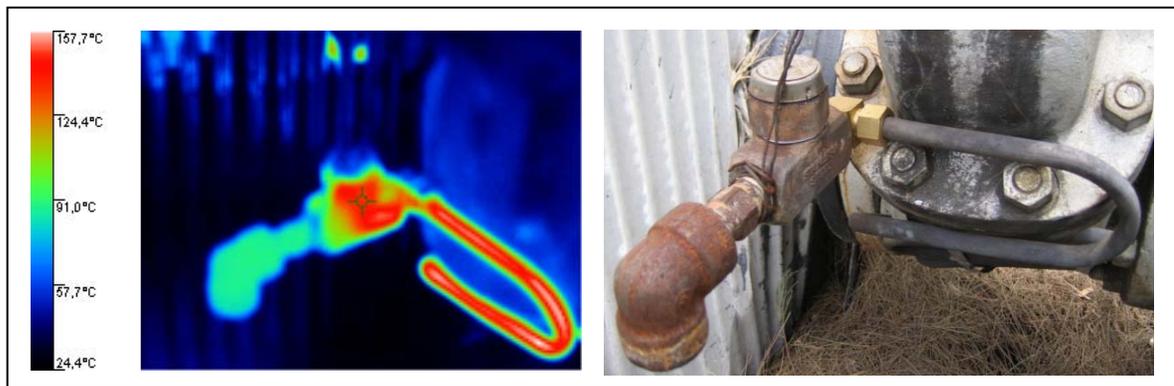


Figura 2.11 Trampa de vapor tipo termodinámica funcionando correctamente.

En la figura 2.12 puede apreciarse una trampa de vapor termodinámica que ha fallado, quedado en posición cerrada. Esto se puede determinar al observar que existe vapor vivo en la tubería de suministro de vapor (color rojo encendido) y que la tubería que conecta la trampa de vapor con la tubería de suministro, se encuentra a una temperatura muy inferior a la de la tubería de suministro, cuando deberían estar a la misma temperatura (mismo color).

Esto quiere decir que esa tubería se encuentra saturada con condensado, ya que la trampa (señalada con una línea punteada de color rojo) no lo puede evacuar.

Cuando la trampa de vapor falla de esta forma, entorpece la eficiencia del sistema al cual está conectada. Por lo que con frecuencia puede apreciarse que se requiere más vapor para efectuar el mismo trabajo.

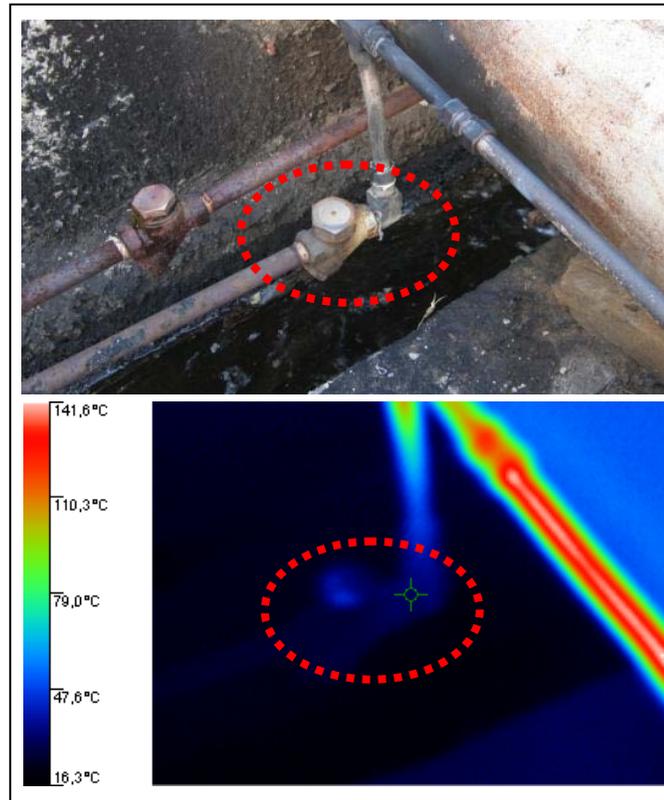


Figura 2.12 Trampa de vapor termodinámica, bloqueada en posición cerrada.

En la figura 2.13 puede apreciarse una trampa de vapor termodinámica que ha fallado, quedado en posición abierta. Como se puede apreciar en la fotografía, la entrada y la salida de la trampa de vapor se encuentran a la misma temperatura, y es la temperatura del vapor vivo. Este problema representa el mayor desperdicio posible que puede causar una trampa de vapor. Cabe mencionar que la trampa que sale en esa fotografía, tiene la descarga a una tubería de retorno de condensados. Por lo que es difícil encontrar el daño.

Si el condensado fuera descargado a la atmósfera, a pesar de que representaría una pérdida de energía constante, sería fácil diagnosticar el daño. Lo ideal es tener una válvula de “by pass” que permita, momentáneamente, desviar el condensado de la tubería de retorno de condensado a la atmósfera, para poder verificar periódicamente el estado de la trampa. La trampa que sale en la fotografía, no dispone de dicho sistema.



Figura 2.13 Trampa de vapor de flotador libre, bloqueada en posición abierta.

Adicional a los parámetros explicados anteriormente para diagnosticar el estado de las trampas de vapor, se tomaron en cuenta parámetros adicionales, con el fin de detectar cualquier anomalía en el sistema de vapor.

En la figura 2.14 se puede observar una trampa de vapor de balde invertido con varios defectos presentes en su estado actual. Como se aprecia, la trampa no cuenta con un filtro que la proteja de impurezas, lo que puede ocasionar que la trampa falle, y quede fija en un estado, ya sea abierta o cerrada. El error más grande en la instalación de esta trampa en particular es la altura a la que fue instalada con respecto a la tubería de vapor. Puede verse en el círculo punteado el codo a 90 grados que tiene la instalación, el cual fue puesto debido a que el tamaño de la trampa no permitía que la tubería permaneciera en línea recta. El efecto de este error es que la trampa de vapor no va a evacuar el condensado que se encuentra por debajo de la altura de la entrada de la trampa.

Es por esta razón que se deben instalar las trampas de vapor en los lugares más bajos del tramo que se desea librar de condensado. En este caso en particular, toda la tubería inferior del tanque (la que se encuentra por debajo de la entrada de la trampa) va a presentar problemas de transferencia de calor, debido a que siempre contará con una carga constante de condensado.

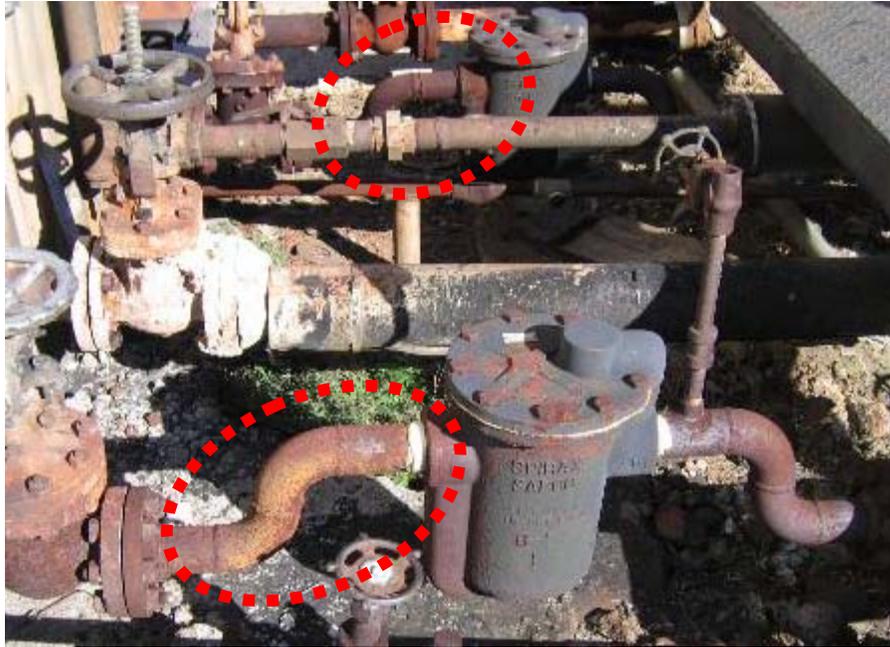


Figura 2.14 Montaje incorrecto de una trampa de vapor

Además de las anomalías anteriores, existen problemas adicionales, los cuales afortunadamente pueden evitarse con pocas modificaciones al sistema actual.

Es necesario poner ciertos accesorios para asegurar que la transferencia de calor al proceso de calentamiento (tanques) sea lo más eficiente posible. Debe implementarse una pierna colectora de condensado antes de que el vapor entre a cada tanque. Esto con el fin de que el vapor entre lo más seco posible a los intercambiadores de calor que se encuentran en el interior de los tanques. También es necesario instalar un sistema que se encargue de remover el aire de la tubería. Las trampas de vapor de tipo balde invertido pueden evacuar aire de la tubería, pero si el aire es mucho, no es una manera eficiente de evacuar dicho gas.

Es necesario poner un desaireador a la entrada de vapor al tanque, debido a que el aire tiene efectos negativos drásticos en la transferencia de calor, y por consiguiente en la eficiencia y el costo global del proceso. Es forzoso recalcar que el costo de un proceso que utilice vapor está irrevocablemente ligado a la manera cómo el calor se transfiere desde el vapor hasta la sustancia a calentar.

Lo que suceda en esta transmisión afecta al rendimiento global más que cualquier otro factor.

La parte central de la figura 2.15 es la superficie calefactora que impide que el vapor entre en contacto directo con el material a calentar. A su derecha se encuentra una capa de suciedad o de producto quemado pegado a la superficie de transmisión. Más a la derecha se puede encontrar una parte de producto quieta que no facilita la transmisión. Por esto es interesante agitar siempre que se pueda para minimizar o eliminar esta capa. La de suciedad se puede eliminar mediante limpieza mecánica siempre que sea necesario.

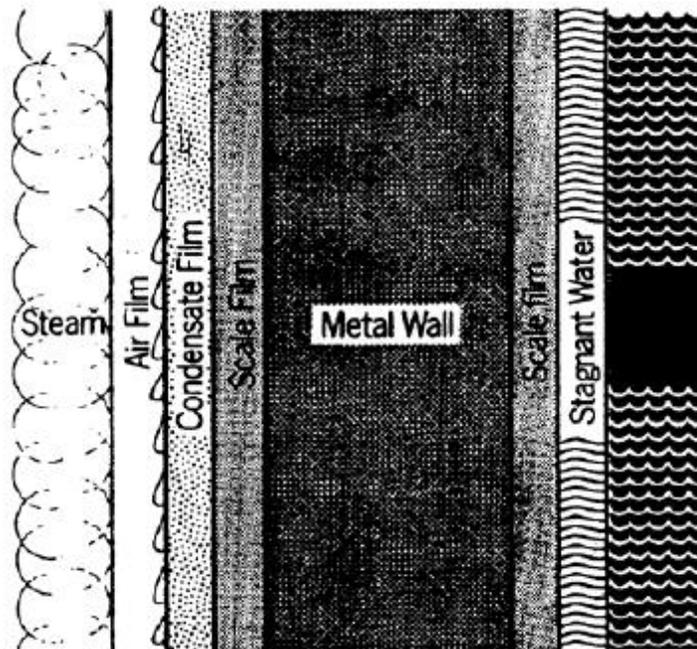


Figura 2.15 Capas de diferentes materiales que interfieren en la transferencia de calor

A la izquierda de la superficie de calefacción (normalmente metálica y buena conductora) se encuentran también diferentes capas. Una primera de suciedad o impurezas depositadas, arrastradas por el vapor desde la caldera debido a tratamientos del agua no correctos. Si se puede limpiar regularmente se notan mejoras sensibles en el proceso.

A continuación, entre el vapor y la superficie divisoria hay otras dos películas. Una es de agua, mala conductora del calor y la otra de aire, aún peor. De hecho es el gran enemigo de la transmisión correcta de calor. Estas dos películas deben eliminarse tan rápida y completamente como sea posible. Si no se hace así, el rendimiento será siempre pobre.

Para dar una idea exacta de lo que sucede en el proceso de calentamiento, la película de agua es entre 60 y 70 veces más resistente a la transferencia de calor que la pared de hierro o de acero y entre 500 y 600 veces más resistente que el cobre.

El efecto de la película de aire es aún más drástico. De hecho, el aire es más de 1500 veces más resistente a la transmisión térmica que el hierro o el acero y no menos de 13.000 veces más resistente que el cobre. Esto significa que una película de aire de sólo 0,025 mm de espesor ofrece la misma resistencia a la transferencia de calor que una placa de cobre de 33 cm de espesor.

Al hablar de la red de distribución ya se ha insistido en la necesidad de eliminar el aire. Ahora bien; no puede conseguirse una eliminación al 100%, y además en el propio proceso se pueden producir entradas de aire y el vapor puede llevar incondensables disueltos que se liberan al condensar.

El aire está presente en las tuberías de suministro de vapor y en los equipos que lo usan, desde la puesta en marcha, debido a que al enfriar la instalación se produce vacío y entrada de aire. Igualmente aunque el sistema hubiese sido llenado con vapor puro la última vez que se utilizó, el vapor condensa en la parada, y el aire entra al formarse el vacío.

El aire también entra en el sistema disuelto con el agua de alimentación. El agua a 80 °C puede disolver alrededor del 0,6% de su volumen de aire. La solubilidad del oxígeno es prácticamente el doble que la del nitrógeno, por tanto el "aire" que se disuelve en agua contiene aproximadamente una parte de oxígeno por dos de nitrógeno, en vez de la parte por cuatro del aire atmosférico. El dióxido de carbono es altamente soluble, aproximadamente 30 veces superior al oxígeno.

El agua de alimentación y los condensados expuestos a la atmósfera pueden absorber estos gases.

Cuando el agua es calentada en la caldera, los gases se mezclan con el vapor y son transportados al sistema de distribución.

A menos que el agua sea totalmente desmineralizada y desgasificada, también contiene carbonato sódico disuelto, a veces procedente de la reacción de carbonato cálcico con las zeolitas sódicas que se usan para evitar la formación de incrustaciones en la caldera. El carbonato sódico puede disociarse en la caldera con desprendimientos de dióxido de carbono.

En calderas de alta presión, el agua de alimentación pasa por un desaireador antes de ser bombeada a la caldera. Los mejores desaireadores pueden reducir el nivel de oxígeno a 0,003 cm³ por litro de agua (una cantidad muy pequeña) y este oxígeno residual puede ser eliminado con tratamientos químicos.

No obstante, tal cantidad de oxígeno puede ser acompañada de 0,006 cm³ de nitrógeno, que el tratamiento químico ignora.

Debido a que las calderas de RECOPE son de tamaño medio (350 bhp), necesitará 5500 litros por hora de agua que transportarán 33 cm³ de nitrógeno. En 1000 horas o 6 semanas de funcionamiento continuo, son 33 litros de nitrógeno atmosférico.

El mejor de los tratamientos físicos y químicos no impedirá que trazos de gas incondensables salgan de la caldera con el vapor.

La entalpía disponible para transferencia de calor en la mezcla procede totalmente del vapor puesto que el aire no contribuye en absoluto.

Cuando una unidad calentada con vapor se pone en servicio, el espacio destinado a vapor está lleno de aire. Al entrar el vapor, conduce aire hacia el punto de drenaje o hacia la zona opuesta a la entrada. Una parte del mismo llegará también a la superficie de transferencia donde permanecerá como una película cuando se vaya produciendo condensado. Esta película de aire es una barrera importante de transmisión de calor desde el vapor a la superficie de calefacción del equipo. Una película de aire de sólo un 1 mm de espesor puede ofrecer la misma resistencia al flujo de calor que una película de agua de 25 mm de espesor.

No todo el aire que llega a los puntos de drenaje es descargado inmediatamente por los purgadores. Incluso en el caso de que sean de un tipo que pueda eliminar aire fácilmente, éste necesita un cierto tiempo para salir, y debe encontrar facilidades para alcanzar el punto de descarga. Parte del aire puede quedar retenido formando bolsas que, por el efecto aislante antes mencionado, representan puntos fríos en el proceso.

En algunos casos, el aire puede aislar temporalmente un purgador, impidiendo la salida de condensado, simplemente porque se trate de un purgador cuyo tipo no elimina aire fácilmente. Esto sucede cuando queda retenida una columna de aire que se comprime entre el purgador y el condensado impidiendo la llegada de éste a la válvula de drenaje.

Además del aire presente en el equipo antes de su arranque, sigue entrando más en el aparato junto con el vapor y se mezcla con él. Cuando el vapor condensa, el aire permanece y se deposita en las superficies de condensación. Puesto que el vapor fluye naturalmente hacia el punto más alejado de la entrada de vapor, es razonable esperar una concentración apreciable de aire en este extremo.

Este efecto es importante puesto que el aire no sólo aísla sino que al no distribuirse uniformemente provoca puntos fríos.

Sin embargo, cuando el vapor fluye a lo largo de una tubería o por la superficie de intercambio de un calefactor de cualquier tipo, las turbulencias que se producen provocan una mezcla del vapor y el aire presente. Así pues, el vapor y el aire en movimiento tienden a mezclarse; pero en condiciones estáticas, como las que se producen en recipientes cerrados de gran volumen, la condensación del vapor dejará libre el aire que tenderá a caer hacia la parte baja del espacio considerado. El aire es más pesado que el vapor en las mismas condiciones de temperatura y presión y, por tanto, una mezcla de aire y vapor es más pesada que el vapor solo.

Con base en lo anterior se deduce que los puntos finales de las líneas de vapor deben ser drenados de aire, con el fin de que éste no llegue a los equipos de la planta. Además, en estos equipos se debe eliminar el aire en los "puntos remotos" es decir, en los puntos más alejados del de entrada de vapor. Donde se pueda elegir, el drenaje de aire se situará en la parte baja de la zona expuesta a la entrada de vapor, especialmente en los casos en que los purgadores no tengan gran capacidad de eliminación de aire.

2.5.1 Trampas de vapor defectuosas

En este apartado cabe mencionar que en la instalación de vapor, existe una gran cantidad de trampas redundantes, y trampas que no están en operación. Esto provoca que se puedan presentar muchas fallas ocultas.

De manera adicional, cabe resaltar que actualmente no existe ningún control sobre el mantenimiento de las trampas de vapor, por lo que las trampas defectuosas que fueron detectadas en el proyecto, puede que estén funcionando apropiadamente para el momento en que se vaya a poner en ejecución el presente proyecto, debido a que actualmente las trampas se reemplazan sin llevar registro alguno.

También existe la posibilidad de que la cantidad de trampas de vapor que están operando mal, aumente, una vez que se reanude el vapor en todas las tuberías.

La manera de cuantificar el desperdicio de vapor en las trampas, es diferente para cada trampa, debido a que es raro encontrarse con una trampa que quedó bloqueada en posición totalmente abierta, ya que es fácil detectar su mal funcionamiento; pero en contraste, puede que las trampas presenten fugas de vapor considerables, pero no se cambien porque se subestima el problema o la magnitud económica de esa falla. Por esta razón, se recurrió al software de mantenimiento de trampas de vapor (STMS, explicado en el siguiente capítulo). Dicho software trae estimaciones económicas para los diferentes estados de deterioro de las trampas de vapor, y se contó con la opinión de los expertos de *Spirax Sarco* para estimar acertadamente el desperdicio de las trampas. Sin embargo, el desperdicio de vapor sigue siendo un tema cuya precisión depende de los datos experimentales obtenidos. Y como este estudio fue enfocado a trampas de vapor, se obviaron otro tipo de fugas, que también repercuten grandemente en el desperdicio de vapor.

Las trampas de vapor que necesitan atención inmediata, y que están provocando la mayoría del desperdicio de vapor son las siguientes:

TV-001	TV-113	TV-204	TV-222
TV-005	TV-114	TV-205	TV-227
TV-101	TV-115	TV-208	TV-304
TV-107	TV-116	TV-213	TV-310
TV-111	TV-201	TV-214	TV-402
TV-112	TV-203	TV-216	TV-404

2.6 Conclusiones y Recomendaciones

Como fruto del análisis de la situación de las trampas de vapor, se ha llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- a. Es necesario disminuir la presión de vapor cuando ingresa a los tanques de asfalto, de 9,5 a 5 bar. Esto con la finalidad de que las trampas actuales puedan seguirse usando, y además significaría un ahorro de 740.000 colones anuales por tanque, para un total de 2.220.000 colones en total (3 tanques).
- b. Se recomienda poner piernas colectoras de condensado antes de que el vapor entre al proceso de calentamiento.
- c. Se recomienda poner desaireadores antes de las trampas de vapor, con el fin de evacuar el aire lo más rápidamente posible.
- d. Es necesario poner filtros antes de toda trampa de vapor, con el fin de evitar daños y desperdicios de vapor.
- e. Existe un desperdicio por trampas de vapor defectuosas que asciende a casi 12.000 colones por hora. Si se corrigen las anomalías presentes en las trampas de vapor, podrían ahorrarse 105.120.000 colones anuales. Como puede verse, la magnitud del desperdicio, en un año, asciende a un poco más de un 32% del costo actual de suministro de vapor, el cual es de 332.593.450 colones anuales.
- f. Las trampas de vapor conectadas a los tanques de asfalto, las cuales son marca *Spirax Sarco*, modelo B5-115, pueden dar abasto con la carga de condensado del equipo. De hecho, una sola trampa puede evacuar todo el vapor producido por la caldera, ya que cada trampa puede evacuar 20.000 libras por hora de condensado, mientras que la caldera, al ser de 350 BHP, sólo puede producir cerca de 12.000 libras por hora de vapor. Y a esto se suma que la carga de condensado por cada tanque es de solamente 115,31 Kg por hora, o unas 254 libras por hora de condensado en su funcionamiento normal.

- g. Hay que poner medidores de presión en la tubería de retorno de condensados, para verificar si los valores de cambio de presión (diferencia entre la presión de entrada y la salida de la trampa) se encuentran en los intervalos establecidos por el fabricante.
- h. Es necesario cuantificar la cantidad de condensado que retorna a la caldera, con la finalidad de monitorear periódicamente el estado global de las trampas.

Capítulo 3. Proyecto Administrativo. Diseño de la ficha de inspección de mantenimiento preventivo e implementación del software de mantenimiento (STMS), en las trampas de vapor presentes en los tanques de búnker y asfalto.

3.1 Limitantes del proyecto.

En el apartado administrativo, también se encontraron limitantes a la hora de realizar el proyecto, éstas fueron las siguientes:

- a. La ficha de vapor diseñada tenía que cumplir los requerimientos de la base de datos utilizada por RECOPE.
- b. La codificación de las trampas de vapor se dio bajo el sistema actual de codificación de RECOPE.

3.2 Fundamentos Teóricos

Actualmente en el plantel de El Alto de RECOPE, Ochomogo; existe una gran cantidad de trampas de vapor, que son de varios tipos, tamaños y fabricantes diferentes. Todas estas trampas requieren de un mantenimiento periódico, y de un correcto análisis de información, con el fin de reconocer patrones de fallas y hacer del mantenimiento de éstas, un proceso más eficiente.

El problema que ocurre actualmente en este apartado, es que no existe información acerca de la cantidad de trampas de vapor que hay en el plantel, ni su ubicación exacta. Los únicos datos que se manejan, son aprendidos de forma empírica por los operadores del sistema, y ese conocimiento no está plasmado en ningún texto. Las trampas carecen de su respectivo número de parte, por lo que se hace tedioso programar un correcto plan de mantenimiento para este tipo de equipos.

Esto es muy grave, debido a que si bien es cierto que todos los equipos en una empresa son importantes de una u otra forma, las trampas de vapor cumplen un papel fundamental en la producción de cualquier industria, en especial en RECOPE.

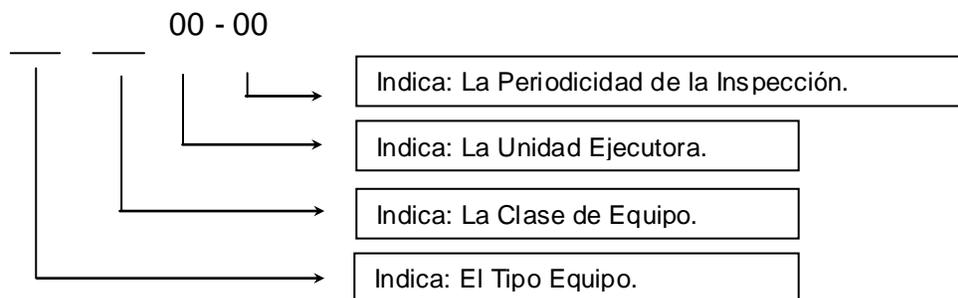
Es un equipo que a pesar de que tiene un valor económico muy bajo, tiene repercusiones monetarias de un gran calibre en el consumo energético de una empresa.

Es por estas y otras razones, que como proyecto administrativo, se va a realizar un programa de mantenimiento preventivo para las trampas de vapor así como la documentación referente a su codificación, se va a implementar un software de mantenimiento de trampas de vapor y se documentará información útil y necesaria para su correcto mantenimiento.

3.3 Codificación de las Fichas de Inspección

En cada ficha de mantenimiento que se forme, intervienen 3 códigos. Más adelante se explicará cada código y el significado de sus siglas. Hay un código de máquina, que es el número de un equipo específico. Hay un código de mantenimiento, el cual existe solo en la unidad de mantenimiento. Dicho código realmente no es usado por el personal de mantenimiento. El código de mantenimiento nació cuando implementaron una base de datos en RECOPE, y se necesitaba de un código o llave primaria que relacionara las variables involucradas. Y existe también el código de calidad, el cual nació como requisito para que RECOPE pudiera certificarse ISO 9001.

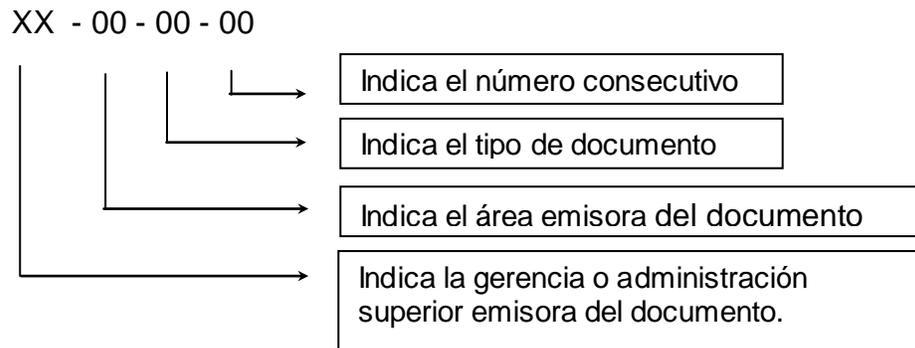
El código de Mantenimiento consta de cuatro siglas distintas, y se usa tanto para mantenimiento Predictivo, Preventivo y Correctivo. Tiene el siguiente aspecto:



(Los códigos o siglas utilizados para llenar el código de mantenimiento, pueden encontrarse en el anexo 2.)

Para este caso, se van a asignar como tipo de equipo las letras “GTV” (por las siglas de Grupo de Trampa de Vapor). Y en la clase de equipo se van a usar las letras “TV” (por las siglas de Trampa de Vapor). La unidad ejecutora es la 05 (Industria Central) y la periodicidad es de 12 (este número indica semanas, por tanto, la periodicidad de la inspección es trimestral). Entonces, para la ficha de mantenimiento, se tendrá un código de este tipo: GTV-TV-05-12.

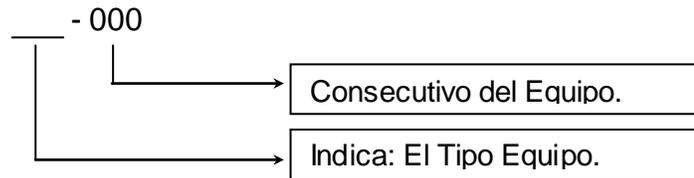
El código de calidad lo utiliza todo RECOPE. Es por esta razón que es el sistema de codificación más utilizado. Cada departamento de RECOPE tiene su propio código, el cual es distinto al de otros departamentos, pero el código de calidad puede ser entendido por cualquier departamento. Tiene el siguiente aspecto:



Para el caso de la ficha de inspección de trampas de vapor, la gerencia o administración es DN (Gerencia de mercadeo y distribución). El área emisora del documento es 16 (Área de mantenimiento). El tipo de documento es 06 (Registro de calidad) y el consecutivo es el que se asigne en el momento de inscribir la ficha en el sistema. Para el caso de las fichas de vapor, se tomaron los números del 095 al 100. De esta forma, el código de calidad de la primera ficha de inspección de trampas de vapor sería DN-16-06-095. El código de la segunda ficha sería DN-16-06-096, y así sucesivamente.

EL código de equipo es el código que tiene toda máquina y permite determinar qué tipo de equipo se está evaluando, en la estructura de codificación para equipos estacionarios, no estacionarios, tanque y oleoducto; consta de un código de equipo, más un consecutivo, que es independiente de cada equipo.

El código de equipo es único y tiene el siguiente aspecto:



Con base en estos tres códigos, es que una ficha de inspección puede almacenarse e interpretarse. Los dos primeros códigos, el de mantenimiento y el de calidad, surgieron casi de forma automática y sin problemas. Por otra parte, el código de equipo sí presentó algunas complicaciones, debido a la manera en que la información sería procesada.

Existía la posibilidad de tratar las trampas como cualquier otra máquina (motores, bombas, etc.) lo que provocaría un expediente para cada trampa en el plantel (en este momento hay más de 120 trampas de vapor).

Este sistema haría muy fácil observar la tendencia de fallas, y rastrear al máximo el costo según tipo de trampa o aplicación.

Un inconveniente de esta tendencia es que generaría un problema administrativo, ya que la vida de las trampas termodinámicas es muy corta (alrededor de 2 años) y es el mayor porcentaje de trampas que hay en el plantel (alrededor de 90%) lo que quiere decir que en un término de 10 años, habría cerca de 500 carpetas correspondientes a expedientes de equipo que ya no están siendo utilizados.

Esta situación ocasionó que se decidiera tratar de llevar el mantenimiento de las trampas organizándolas por zonas, y no por equipo, y que se codificara un grupo de trampas, en vez de trampas individuales.

Esto quiere decir que se va a llevar un expediente de grupos distintos de trampas, no de las mismas trampas. La ventaja de este sistema es que aunque las trampas se cambien por otras, la codificación de la zona no va a cambiar, y no van a haber cientos de expedientes por revisar y almacenar.

El problema de este sistema es que no se puede analizar de forma específica la tendencia de mantenimiento de una trampa o una ubicación específica, ya que el único equipo que se puede acceder por el sistema es el grupo de trampas (ya que se inscribió como si fuera un equipo) esto permite acceder la tendencia general del grupo y el costo de mantenimiento del grupo.

Debido a la distribución actual de la instalación en RECOPE, se optó por confeccionar 5 grupos de trampas de vapor, distribuidos de la siguiente forma:

- a. GTV-01 (Grupo calderas)
- b. GTV-02 (Grupo tanque 118)
- c. GTV-03 (Grupo tanques 113 y 114)
- d. GTV-04 (Grupo emulsiones)
- e. GTV-05 (Grupo rack de producto negro)

Estos grupos de trampas serán inscritos en el sistema como equipos individuales, de manera que podrá rastrearse la tendencia de mantenimiento de cada grupo, no de cada trampa en el grupo.

Es necesario mencionar que las trampas de vapor fueron codificadas, con una calcomanía especial resistente al calor y las inclemencias del tiempo, que tiene código de barras. El código de la trampa es TV (de Trampa de Vapor) y un consecutivo. Dicho código no será ingresado en el sistema actual de base de datos del RECOPE. Es un código que será útil para ubicar las trampas de vapor en el plantel, y será usado, como se explicará más adelante, en el software de mantenimiento de trampas de vapor (STMS por sus siglas en inglés).

Con el fin de hacer la localización de cada trampa lo más fácil posible, se ha hecho la codificación de las trampas en referencia al grupo que pertenecen. Esto porque es muy difícil saber la ubicación de un equipo con sólo conocer el número de maquina. Por esta razón, las trampas de vapor que pertenecen al grupo GTV-01 serán numeradas con un consecutivo del 000 al 099. De esta forma, las trampas de vapor del grupo GTV-01 llevarán el siguiente consecutivo:

TV-001, TV-002, TV-003..... hasta llegar a un máximo de TV-099.

Este sistema permite una gran expansibilidad, debido a que el número de trampas de vapor está muy por debajo del máximo permitido por el sistema de codificación. Por ejemplo, en el grupo GTV-01 sólo existen 6 trampas actualmente. Por lo que queda una posible expansión de 94 trampas de vapor.

De manera similar, en el grupo GTV-02 se numeraron las trampas con un consecutivo que comienza desde el 100 al 199, para quedar de la siguiente forma:

TV-100, TV-101, TV-102,.....hasta llegar a un máximo de TV-199.

Es necesario recordar que se usa la nomenclatura de GTV (Grupo de Trampas de Vapor) para los grupos, y TV (Trampa de Vapor) para las trampas.

Así es la codificación empleada para todos los 5 grupos de trampas de vapor. Esto quiere decir que si en un momento la instalación actual del plantel se amplía, todavía existen 94 grupos por agregar. Se escogió de esta forma, debido a que el plantel puede expandirse y aunque quizá no llegue a utilizar 90 grupos de trampas de vapor, si podría usar 10 o 11 grupos a un futuro. Por lo que tuvo que dejarse abierta la posibilidad de codificar ese nuevo equipo.

Con este nuevo sistema de codificación, cuando se vaya a hacer la inspección del grupo GTV-01, se hará una inspección a todas las trampas cuyo número de equipo se encuentre entre el TV-001 y el TV-099. Y como estos grupos fueron elaborados según la distribución física de las trampas en el plantel, todas las trampas de un grupo se encuentran cerca unas de otras, por lo que la revisión se facilita.

La manera en que las fichas de mantenimiento preventivo funcionan, es consecuencia directa de la manera de operar del sistema actual de RECOPE.

El uso de las fichas de mantenimiento preventivo de las trampas de vapor es muy sencillo. En este sistema de grupos, se tiene una ficha que contiene toda la información referente a los distintos accesorios mecánicos presentes en ese grupo, con el fin de no tener que cargar una ficha individual para cada accesorio del grupo. Esto facilita mucho la labor de la inspección y la toma de datos.

Esto significa que el operador no tiene que cargar una ficha de inspección para cada tipo de trampa, sino que existe sólo una ficha con las actividades a realizar en todas las trampas de vapor. Esta ficha es la misma para todos los 5 grupos de trampas de vapor que existen en el plantel. Por esta razón, en esa ficha hay que marcar si se está revisando el grupo GTV-01, o el GTV-02, o el GTV-03, o el GTV-04, o el GTV-05. Dependiendo del grupo que se esté revisando, se deben escribir los datos obtenidos en una ficha específica.

Resumiendo lo anterior, la primera ficha a llenar es la DN-16-06-095, en la cual aparecen todas las actividades a realizar en cada uno de los 5 grupos. En la misma ficha hay que marcar la opción DN-16-06-096 si se va a revisar el grupo GTV-01, marcar la opción DN-16-06-097 si se va a revisar el grupo GTV-02, marcar la opción DN-16-06-098 si se va a revisar el grupo GTV-03, de la misma forma habría que marcar la opción DN-16-06-099 si se va a revisar el grupo GTV-04 y finalmente, se debe marcar la opción DN-16-06-10 si se va a revisar el grupo GTV-05.

De esta forma, cuando se ingrese el código de calidad en el sistema de base de datos de RECOPE, podrán obtenerse los pormenores de cada grupo.

En las siguientes páginas, se muestran las seis fichas que se diseñaron para el mantenimiento preventivo de las trampas de vapor, usando el sistema de base de datos existente en RECOPE.



FICHA DE INSPECCIÓN A TRAMPAS DE VAPOR
SERVICIO TRIMESTRAL
GTV-TV-05-12 DN-16-06-095

FECHA DE VIGENCIA
VERSION: 01
09/03/2006

No	ACTIVIDAD	ESTADO			
		BU	MA	RZ	NA
01	REVISIÓN DE GRUPOS DE TRAMPAS DE VAPOR DEL PLANTEL EL ALTO Para la inspección de trampas de vapor del grupo GTV-01, utilizar la ficha DN-16-06-XX1				
02	Para la inspección de trampas de vapor del grupo GTV-02, utilizar la ficha DN-16-06-XX2				
03	Para la inspección de trampas de vapor del grupo GTV-03, utilizar la ficha DN-16-06-XX3				
04	Para la inspección de trampas de vapor del grupo GTV-04, utilizar la ficha DN-16-06-XX4				
05	Para la inspección de trampas de vapor del grupo GTV-05, utilizar la ficha DN-16-06-XX5				
06	MANTENIMIENTO A TODOS LOS TIPOS DE TRAMPAS Revisar visualmente la trampa en búsqueda de fisuras o fugas de vapor vivo. Si se tiene sospecha, use líquidos penetrantes para detectar fisuras internas, Cambiar la trampa de ser necesario.				
07	Limpiar el filtro (<i>tamiz</i>) y cambiarlo de ser necesario. Remover cualquier partícula del interior de la trampa.				
08	Cambiar las juntas de la trampa si presenta desgaste.				
09	Limpiar el cuerpo de la trampa con líquido para quitar óxido.				
10	TRAMPA TERMODINAMICA Revisar la tapa aislante o casquillo (<i>insotub</i>) en busca de deformaciones o fisuras y cambiar de ser necesario.				
11	Revisar el disco en búsqueda de fisuras o deformaciones. En caso de desgaste, debe reemplazarse.				
12	Revisar el estado del asiento del disco, asentar de ser necesario. La cantidad de metal eliminado no debe sobrepasar los 0,25mm.				
13	Revisar que los orificios de entrada y salida de vapor que se encuentran debajo del disco, estén libres de cualquier obstrucción. Usar limpia boquillas.				
14	TRAMPA DE FLOTADOR Revisar el mecanismo interno de oscilación del flotador, reemplazar si es necesario.				
15	Revisar el estado del asiento de la válvula interna, lijar y pulir ligeramente de ser necesario.				
16	Revisar y limpiar el sistema de venteo de aire. Reemplazar de ser necesario.				
17	Revisar la boya en busca de perforaciones y cambiar de ser necesario.				
18	TRAMPA DE BALDE INVERTIDO Limpiar el mecanismo de oscilación del balde y reemplazar de ser necesario.				
19	Revisar el balde en busca de perforaciones o grietas y cambiar de ser necesario.				
20	Revisar el estado del asiento de la válvula interna, lijar y pulir ligeramente de ser necesario.				
21	Limpiar el sistema de venteo de aire. Reemplazar de ser necesario.				
OBSERVACIONES					
Anote en este espacio cualquier información adicional - si es necesario utilice el dorso de la hoja					
Fecha inicio : / /		Duración (Hrs):		O.T.M.	
Fecha final : / /					
Equipo:		Fecha de Mantenimiento:		Realizado por :	

FICHA DE REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR EN EL PLANTEL EL ALTO						FECHA DE VIGENCIA
						20/03/2006
						VERSIÓN 01
GRUPO CALDERAS (GTV-01)						
SERVICIO TRIMESTRAL						
DN-16-06-096						
CÓDIGO DE TRAMPA	Nº DE ACTIVIDAD según	BU	MA	RZ	NA	OBSERVACIONES
	DN-16-06-095					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
Fecha inicio:			Duración (Horas):		O.T.M.	GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN DEPTO. DE MANTENIMIENTO
Fecha final:						
Fecha Mantenimiento:			Hoja ____ de ____		Realizado por:	

Nota: En los espacios vacíos que corresponden a la columna de número de actividad, deben anotarse las actividades de la ficha de reporte DN-16-06-095 que pertenecen respectivamente al equipo que se está revisando, según sea una trampa termodinámica, de flotador, o de balde invertido.

 FICHA DE REPORTE E DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR EN EL PLANTEL EL ALTO GRUPO TANQUE 118 (GTV-02) SERVICIO TRIMESTRAL DN-16-06-097						FECHA DE VIGENCIA 20/03/2006 VERSIÓN 01
CÓDIGO DE TRAMPA	Nº DE ACTIVIDAD según	BU	MA	RZ	NA	OBSERVACIONES
	DN-16-06-095					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
Fecha inicio:		Duración (Horas):		O.T.M.	GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN DEPTO. DE MANTENIMIENTO	
Fecha final:		Hoja ____ de ____		Realizado por:		
Fecha Mantenimiento:						

Nota: En los espacios vacíos que corresponden a la columna de número de actividad, deben anotarse las actividades de la ficha de reporte DN-16-06-095 que pertenecen respectivamente al equipo que se está revisando, según sea una trampa termodinámica, de flotador, o de balde invertido.

 FICHA DE REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR EN EL PLANTEL EL ALTO GRUPO TANQUES 113 Y 114 (GTV-03) SERVICIO TRIMESTRAL DN-16-06-096						FECHA DE VIGENCIA 20/03/2006 VERSIÓN 01
CÓDIGO DE TRAMPA	Nº DE ACTIVIDAD según	BU	MA	RZ	NA	OBSERVACIONES
	DN-16-06-095					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
Fecha inicio:		Duración (Horas):		O.T.M.	GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN DEPTO. DE MANTENIMIENTO	
Fecha final:		Hoja ____ de ____		Realizado por:		
Fecha Mantenimiento:						

Nota: En los espacios vacíos que corresponden a la columna de número de actividad, deben anotarse las actividades de la ficha de reporte DN-16-06-095 que pertenecen respectivamente al equipo que se está revisando, según sea una trampa termodinámica, de flotador, o de balde invertido.

 FICHA DE REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR EN EL PLANTEL EL ALTO GRUPO EMULSIONES (GTV-04) SERVICIO TRIMESTRAL DN-16-06-099						FECHA DE VIGENCIA 20/03/2006 VERSIÓN 01
CÓDIGO DE TRAMPA	Nº DE ACTIVIDAD según	BU	MA	RZ	NA	OBSERVACIONES
	DN-16-06-095					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
Fecha inicio:		Duración (Horas):		O.T.M.	GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN DEPTO. DE MANTENIMIENTO	
Fecha final:		Hoja ____ de ____		Realizado por:		
Fecha Mantenimiento:						

Nota: En los espacios vacíos que corresponden a la columna de número de actividad, deben anotarse las actividades de la ficha de reporte DN-16-06-095 que pertenecen respectivamente al equipo que se está revisando, según sea una trampa termodinámica, de flotador, o de balde invertido.

 FICHA DE REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR EN EL PLANTEL EL ALTO GRUPO RACK DE PRODUCTO NEGRO (GTV-05) SERVICIO TRIMESTRAL DN-16-06-100						FECHA DE VIGENCIA 20/03/2006 VERSIÓN 01
CÓDIGO DE TRAMPA	Nº DE ACTIVIDAD según	BU	MA	RZ	NA	OBSERVACIONES
	DN-16-06-095					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
	6					
	7					
	8					
	9					
Fecha inicio:		Duración (Horas):		O.T.M.	GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN DEPTO. DE MANTENIMIENTO	
Fecha final:		Hoja ____ de ____		Realizado por:		
Fecha Mantenimiento:						

Nota: En los espacios vacíos que corresponden a la columna de número de actividad, deben anotarse las actividades de la ficha de reporte DN-16-06-095 que pertenecen respectivamente al equipo que se está revisando, según sea una trampa termodinámica, de flotador, o de balde invertido.

3.4 Implementación del Software (STMS) para el mantenimiento de trampas de vapor

El software *Steam Trap Management System* (STMS), fue donado por la compañía *Spirax Sarco*, dado que se formó una relación directa Spirax-RECOPE. Esta relación fue producto de un intercambio de correos electrónicos entre el autor y la compañía *Spirax Sarco*, con sede en Reino Unido. Dichos correos, como se mencionó anteriormente, motivaron la visita de personal experto de *Spirax* que por casualidad se encontraba en el país. Con un poco de suerte, se logró acomodar una reunión en su apretada agenda, ya que únicamente iban a estar en el país por 4 días. La reunión se pactó para el día viernes 10 de marzo del 2006, a las 11:30 AM. La reunión se extendió hasta las 2:30 PM.

Los frutos de esta visita fueron muchos. Gracias a la experiencia y el conocimiento de los expertos de *Spirax*, se pudieron identificar varios problemas que tiene la instalación de vapor del plantel, y se dieron valiosos consejos de cómo disminuir o erradicar esos problemas.

El software STMS tiene la posibilidad de instalarse en un pocket PC (asistente personal portátil) para poder tomar los datos de las trampas directamente en el pocket pc, y luego transferir esos datos a una computadora, con el fin de acoplarlos con la base de datos de la compañía.

Cabe mencionar que RECOPE cuenta con 2 pocket pc, los cuales estaban siendo subutilizados. Con la implementación de este software, podrán utilizarse para tomar datos de una cantidad mayor de equipos. Los pocket pc que posee RECOPE tienen, entre otras características, la posibilidad de leer código de barras, y también se cuenta con el equipo para imprimir etiquetas con código de barras, por lo que la codificación de las trampas, así como la toma de datos se puede hacer de una forma muy rápida y eficiente.

En la figura 3.1 se puede apreciar la ventana principal del programa. Como se observa, está en español (existen varios idiomas de donde escoger). El programa se puede configurar para las necesidades particulares de cualquier empresa. Debido a que puede modificarse cualquier lista que contenga datos de la compañía.

El programa corre en una plataforma del programa *Microsoft Acces*, por lo que cuenta con herramientas avanzadas de procesamiento de base de datos. El programa cuenta con un excelente tutorial, que es muy completo y amigable con el usuario.

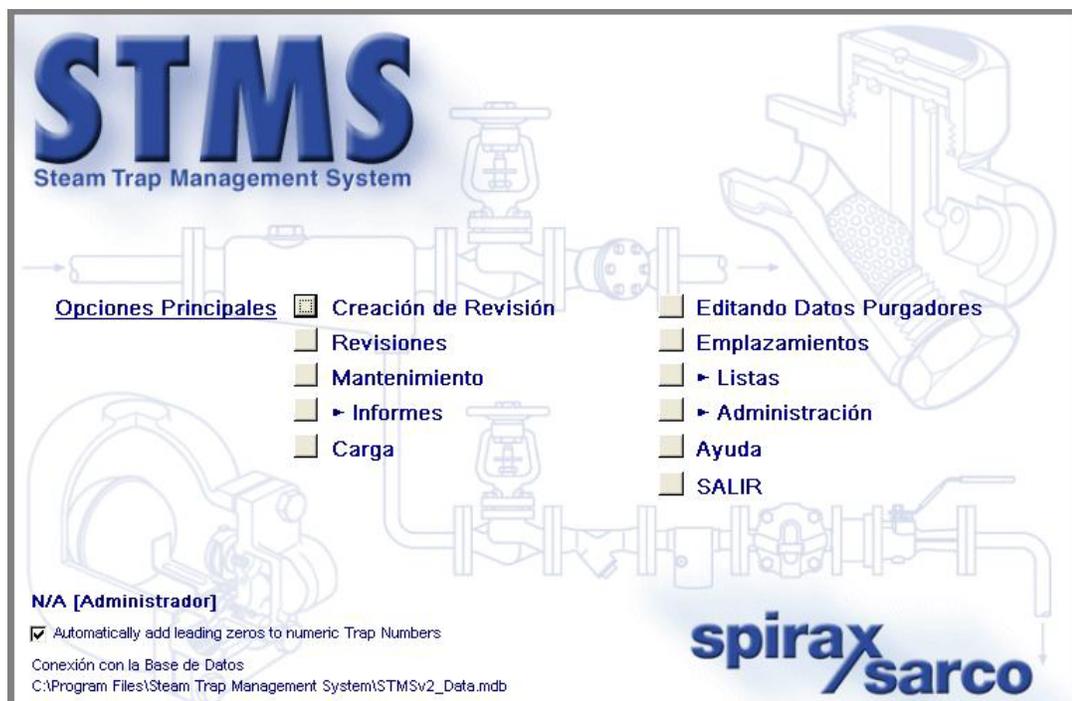


Figura 3.1 Menú principal del software para manejo de trampas de vapor.

En la figura 3.2 se muestra el sistema de revisión de trampas de vapor por fechas, lo que permite saber exactamente qué trampas se revisaron en una fecha específica. Como puede apreciarse en la figura, las revisiones de trampas que salen en la parte inferior de la imagen, fueron tomadas el 20 de marzo del 2006.

Formulario de Revisión

Compañía: RECOPE | Emplazamiento: Mantenimiento | Ubicación: | Número de Pur: | [Filtrar]

Fecha de Inicio de Revisión: | ast: | Acción: | Estado: | Urgencia: | [Despejar]

Revisiones

Fecha de Inic	Emplazamiento	Notas	Revisado
20-Mar-06	Mantenimiento	Trampas de Vapor. Producto Negro.	113

Registro: 1 de 1

Resultados de Revisión Mantenimiento 20-Mar-06

Purgador	Analizado	Estado	Acción	Ingeniero
TV-001	20-Mar-06	No Analizado	Ninguno	id Rivas Esp
TV-002	20-Mar-06	No Analizado	Ninguno	id Rivas Esp
tv-003	20-Mar-06	No Analizado	Ninguno	id Rivas Esp
tv-004	20-Mar-06	No Analizado	Ninguno	id Rivas Esp
tv-005	20-Mar-06	No Analizado	Ninguno	id Rivas Esp
TV-006	24-Mar-06	No Analizado	Ninguno	id Rivas Esp
tv-100	20-Mar-06	No Analizado	Ninguno	id Rivas Esp

Registro: 1 de 113 (Filtrado)

[Ayuda] [Cerrar]

Figura 3.2 Menú de Revisión de trampas de vapor

La figura 3.3 muestra una parte de la extensa base de datos de trampas que existe en su librería. Naturalmente, el software sólo trae instaladas las trampas de *Spirax Sarco*, pero pueden agregarse más tipos de trampas. El software por defecto tiene en su base de datos a los principales fabricantes de trampas, como los son Armstrong, Douglas, Gestra, Spirax, TLV, Yarway, pero si quisiera agregarse un fabricante nuevo, basta con escoger el menú de listas, y escoger el de fabricantes y agregar el fabricante que se desea. Como puede observarse, al ver el tipo de trampa se puede apreciar el tipo que es, ya sea termodinámica, balde invertido, etc. Esta información se considera muy valiosa, ya que con el sistema actual de RECOPE, éstos datos serían imposibles de manejar. Por esta razón, se llegó a la conclusión de que se implementaría una ficha de inspección que sirviera bajo los estándares actuales de manejo de información de RECOPE (tópico explicado en el capítulo anterior) así como este nuevo software. Se pensó de esta forma para que el primer sistema empezara a funcionar inmediatamente, y posteriormente se empleara este software, paulatinamente, una vez que la unidad técnica del departamento de mantenimiento diera el visto bueno.

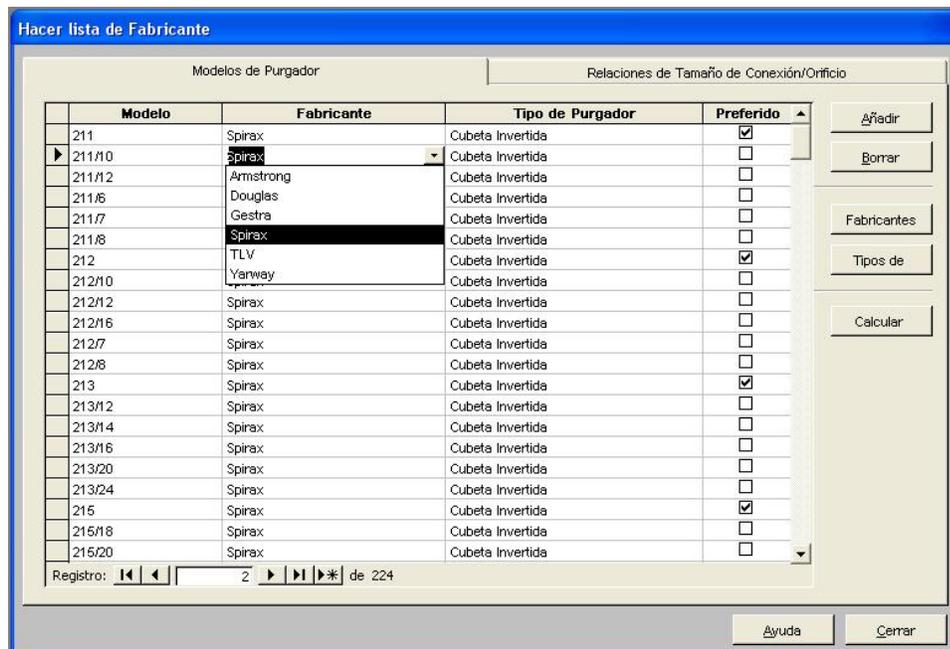


Figura 3.3 Menú de listas de trampas y sus fabricantes

En la figura 3.4 puede observarse la lista de tamaños de orificio. Este orificio es el diámetro de la válvula interna de las trampas de vapor. Este diámetro es el que se usó en el análisis de resultados del proyecto técnico, bajo la ecuación de Napier.

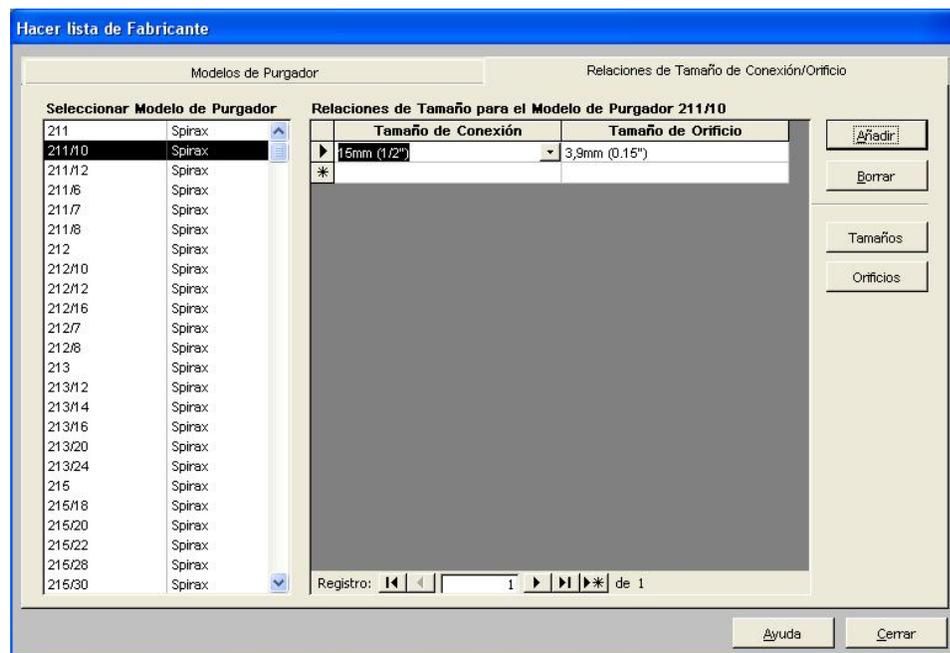


Figura 3.4 Datos del tamaño del orificio de fuga de vapor.

El software también permite hacer búsqueda de trampas, utilizando un filtrado de datos. La base de datos está diseñada de tal forma que todos los datos están ligados y relacionados entre sí, siendo la llave primaria el código de la trampa. En la figura 3.5 puede apreciarse la ventana que permite filtrar la búsqueda de trampas. Pueden buscarse todas las trampas de vapor de una ubicación específica, todas las trampas que posean una falla específica, todas las trampas de un tamaño específico, todas las trampas de un modelo específico, todas las trampas de un tipo, estado o nombre de planta especificado, o bien, cualquier combinación de esas propiedades.

Esta función de búsqueda filtrada, es con el fin de utilizar una base de datos, ya que la información que no puede manejarse y estudiarse, no es útil. Ésta es la ventaja de instalar este software. Antes, no existía información alguna de la tendencia de mantenimiento de las trampas. Ahora, puede rastrearse cualquier relación existente en el mantenimiento de las trampas de vapor, lo que permitirá encontrar una tendencia de fallas, que podrá llegar a disminuirse, o incluso evitarse.

Purgador	Emplazamiento	Ubicación	Modelo	Tamaño	Estado
TV-001	Mantenimiento	GTV-01 (Calderas)	TD 42H	15mm (1/2")	No Analizado
TV-002	Mantenimiento	GTV-01 (Calderas)	P46SS	15mm (1/2")	No Analizado
tv-003	Mantenimiento	GTV-01 (Calderas)	TD 42	15mm (1/2")	No Analizado
tv-004	Mantenimiento	GTV-01 (Calderas)	TD 42	15mm (1/2")	No Analizado
tv-005	Mantenimiento	GTV-01 (Calderas)	TD 42H	15mm (1/2")	No Analizado
TV-006	Mantenimiento	GTV-01 (Calderas)	TD 42H	15mm (1/2")	No Analizado
tv-100	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	P46SS	15mm (1/2")	No Analizado
TV-101	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	TD 42	15mm (1/2")	No Analizado
TV-102	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	P46SS	15mm (1/2")	No Analizado
TV-103	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	P46SS	15mm (1/2")	No Analizado
TV-104	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	P46SS	15mm (1/2")	No Analizado
TV-105	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	TD552L	15mm (1/2")	Sin Usar
tv-106	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	N90	15mm (1/2")	Sin Usar
TV-107	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	410SN	15mm (1/2")	No Analizado
tv-108	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	P46SS	15mm (1/2")	No Analizado
tv-109	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	TD 42	15mm (1/2")	No Analizado
tv-110	Mantenimiento	GTV-02 (Tanque 118)	P46SS	15mm (1/2")	No Analizado

Figura 3.5 Menú para búsqueda de trampas por filtrado de datos.

3.5 Manual Práctico de mantenimiento de trampas de vapor

NORMAS GENERALES DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TRAMPAS DE VAPOR

Instalación

- a. Se deberá instalar un filtro aguas arriba de toda trampa de vapor, para proteger el obturador y asiento de suciedad e incrustaciones. Instalar válvulas de aislamiento de paso total aguas arriba y aguas abajo de la trampa para facilitar el mantenimiento. La trampa debe instalarse por debajo del punto que se desea drenar con el cuerpo en vertical de modo que el balde suba y baje verticalmente. En aplicaciones de vapor recalentado se debe instalar una válvula de retención en la entrada de la trampa.
- b. El purgador debe instalarse con el flotador y palanca en un plano horizontal respecto al flujo tal como indica la flecha del cuerpo. Nota: Se puede comprobar si el purgador está orientado correctamente leyendo la escritura del cuerpo, tapa y placa de características.
- c. El purgador debe montarse por debajo de la salida del sistema de vapor, precedido de un codo. Si no se puede colocar un codo, existe la posibilidad (en condiciones de poca carga) de que el vapor fluya por encima del condensado en el fondo de la tubería y alcance al purgador.
- d. Los purgadores de boya cerrada deberán montarse lo más cerca de la salida del equipo que se ha de drenar, sino existe la posibilidad que se produzca un bloqueo por vapor. El bloqueo por vapor ocurre cuando la tubería entre la salida de condensado y el purgador se llena de vapor e impide que el condensado llegue al purgador. Es muy parecido al bloqueo por aire en sistemas de agua. La aplicación más común donde existe el riesgo de bloqueo por vapor son los cilindros rotativos y otras aplicaciones en las que el condensado se elimina por medio de un tubo o sifón. El bloqueo por vapor se puede evitar fácilmente montando el purgador con una combinación de eliminador de aire termostático y un dispositivo antibloqueo por vapor (SLR).
- e. Establezca la situación correcta de la instalación y la dirección de flujo.

- f. El ajuste de una trampa con SLR montado se consigue girando el tornillo en sentido contrario a las agujas del reloj para aumentar el flujo, y en sentido de las agujas del reloj para reducir el flujo.
- g. Cuando se trata de drenar una aplicación de cilindro de alta velocidad, se necesita una gran cantidad de vapor soplado para asistir a la salida de condensado del cilindro por el tubo sifón.
- h. En estos casos el SLR no puede manejar estas cantidades tan grandes y se necesitará un bypass externo con una válvula ajustable de aguja.
- i. Montar siempre una válvula de retención aguas abajo de cualquier purgador que descargue a líneas de retorno de condensado con una contrapresión. Generalmente no lo causa una elevación en la línea de condensado. La válvula de retención evitará que se inunde el espacio vapor cuando disminuya la presión de entrada o se corte el suministro de vapor.
- j. Compruebe los materiales, valores máximos de presión y temperatura. Si el límite operativo máximo del producto es inferior al del sistema en el que se va a instalar, asegure que se incluya un dispositivo de seguridad en el sistema para evitar una sobre-presión.
- k. Asegurarse de dejar el espacio necesario para retirar la tapa del cuerpo para el mantenimiento.
- l. Si la escritura se ve o está legible entonces el purgador está instalado correctamente.
- m. Nota: Si el purgador descarga a la atmósfera, que sea a un lugar seguro, el fluido de descarga puede estar a una temperatura de 100 °C (212 °F).

Mantenimiento general

Antes de efectuar cualquier mantenimiento de la trampa, se deberá aislar (usando válvulas de aislamiento independientes) y dejar que la presión se normalice y dejar enfriar antes de abrir. Al volver a montar asegurar que las caras de unión están limpias.

TRAMPA TERMODINÁMICA

Para sustituir el disco:

Desenroscar la tapa usando una llave fija, no usar llaves que pueden deformar la tapa. Si las caras de asiento del disco y del cuerpo están sólo ligeramente desgastadas, pueden rectificarse puliéndolas individualmente sobre una superficie plana tal como una placa para probar superficies planas. Un movimiento en figura de ocho y aplicando un poco de compuesto para esmerilar dan los mejores resultados. Si el desgaste es demasiado grande para ser rectificado por simple pulido, las caras de asentamiento del cuerpo pueden ser esmeriladas y pulidas y el disco sustituido por uno nuevo. La cantidad total de metal eliminado no debe ser mayor de 0,25 mm (0,01"). Al montar, colocar el disco con la cara ranurada en contacto con el asiento del cuerpo. Roscar la tapa lubricando la rosca con Disulfuro de Molibdeno. En la figura 3.6 se puede apreciar un despiece de la trampa de vapor termodinámica.

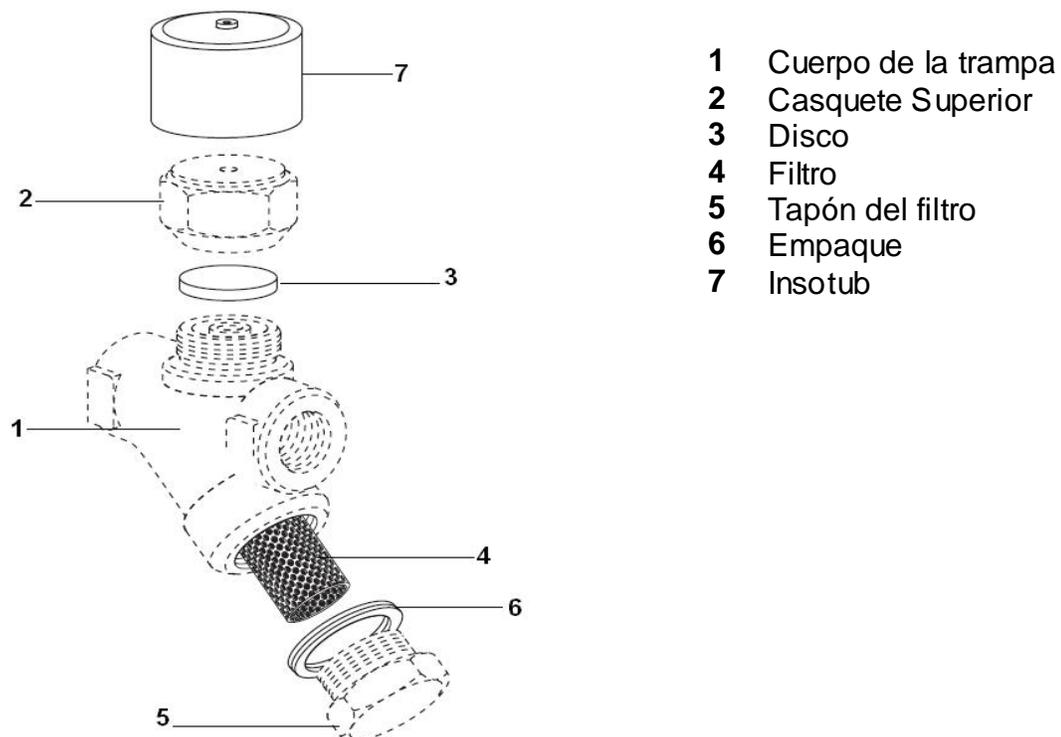


Figura 3.6 Despiece de trampa termodinámica equipada con filtro interno

TRAMPA BALDE INVERTIDO

En caso de inspección o recambio del balde o mecanismo:

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

En la figuras 3.7 y 3.8 se aprecia un despiece de una trampa de balde invertido.

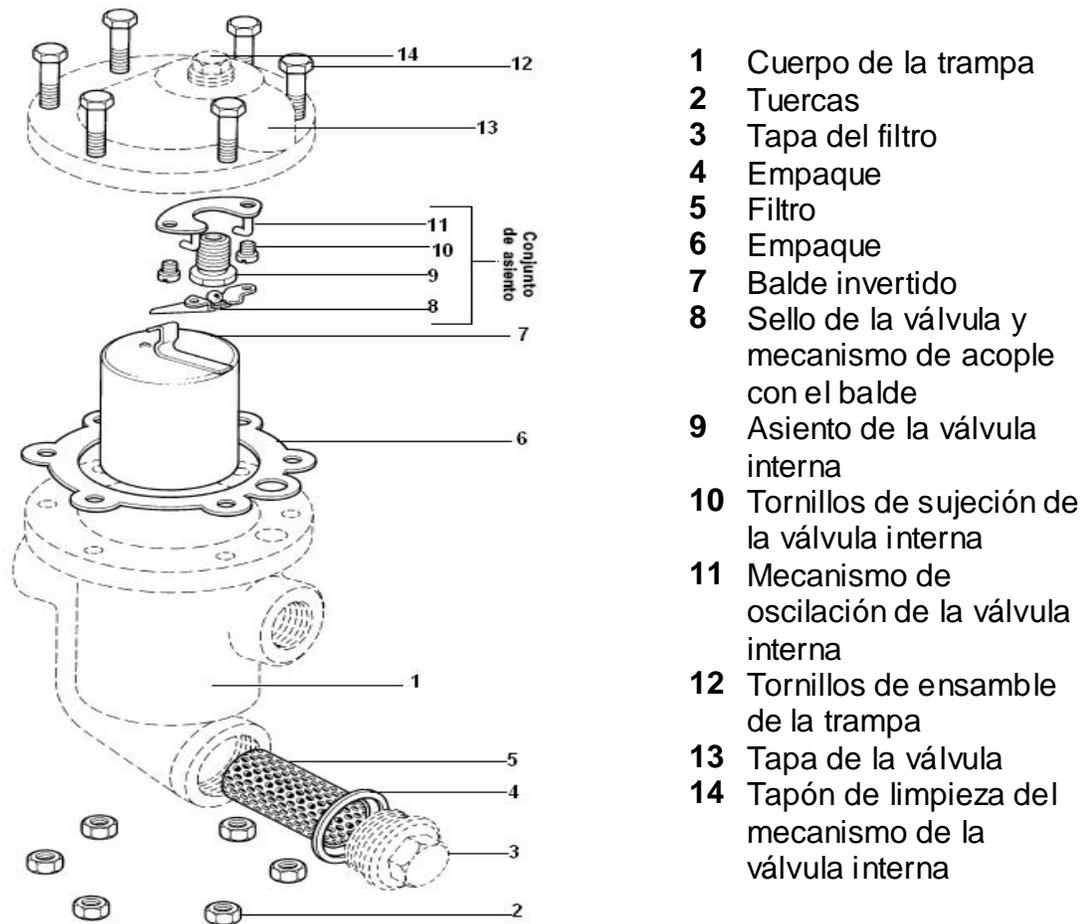


Figura 3.7 Despiece de trampa de vapor de balde invertido con filtro interno

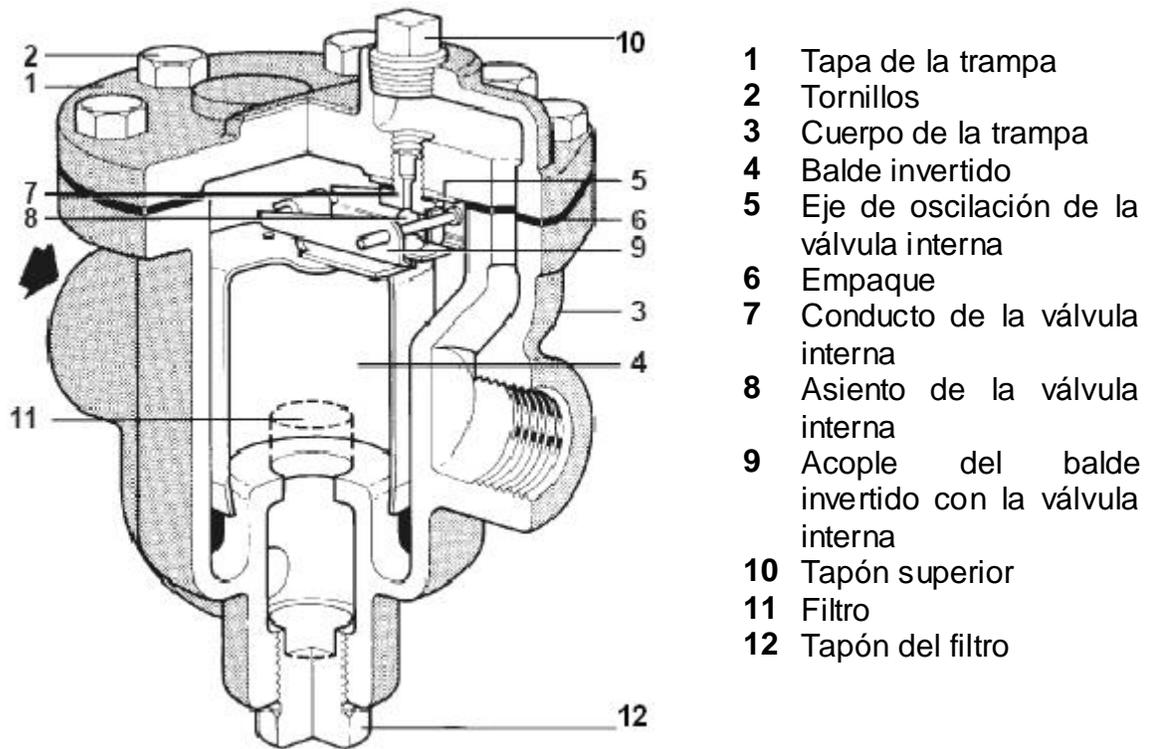


Figura 3.8 Corte longitudinal de una trampa de vapor de tipo balde invertido equipada con filtro interno

Trampas Mecánicas de flotador (libre o palanca)

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

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

En la figura 3.9 se puede apreciar un despiece de una trampa mecánica de boya.

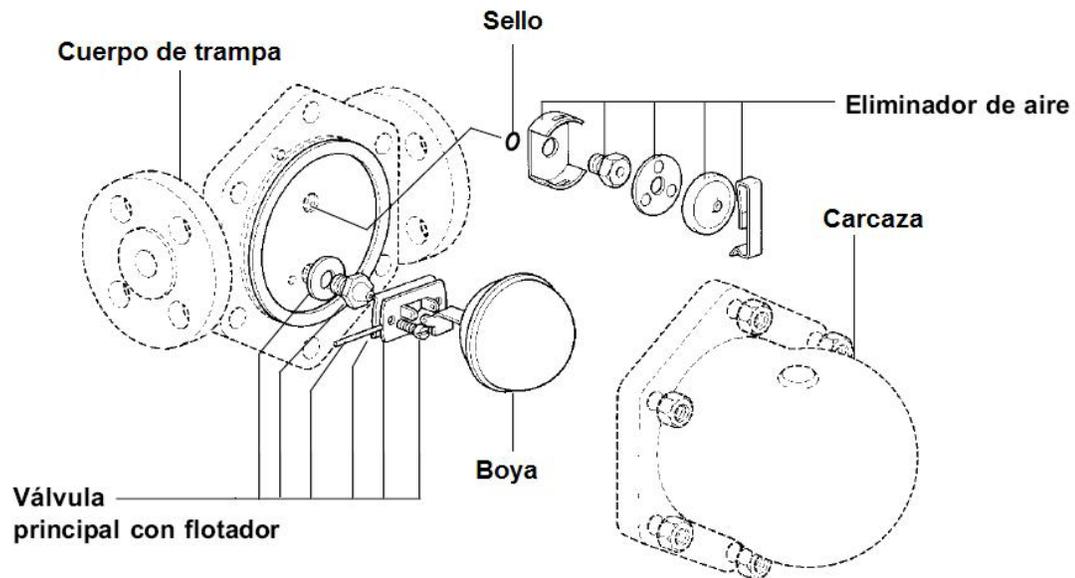


Figura 3.9 Despiece de trampa de vapor mecánica de boya.

3.6 Conclusiones y Recomendaciones

- a. Con la implementación de las fichas de mantenimiento preventivo, ya pueden realizarse inspecciones a las trampas de vapor de forma periódica y sistematizada. Las fichas coinciden con la base de datos actual de RECOPE, y también pueden usarse con el programa STMS, por lo que se tiene la opción de usar el sistema actual mientras se entrena a la gente para aprender a usar el software STMS. Se recomienda designar a una persona encargada del implementar el programa y darle seguimiento.
- b. La codificación de las trampas se llevó a cabo a plenitud.
- c. Se recomienda la compra de un equipo para diagnosticar el estado de las trampas de vapor, de tipo ultrasónico.
- d. Se recomienda hacer un plano en donde se muestre la ubicación específica de cada trampa en el plantel y repartir copias entre el personal de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Crane.: Flujo de fluidos. México: McGraw Hill, 1992.

ICAITI Ahorro de energía en sistemas de vapor.

Kohan, A.L. Manual de Calderas. México: McGraw Hill, 2000

Selmec. Manual de Calderas. México: Editorial Tecnológica, 1993

Spirax Sarco. Manual de vapor. Capítulo 4

Yunus A, Cengel et al. Termodinámica. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill.

INTERNET

<http://recopenet/nuestraempresa/index.html>

<http://www.recope.com/esp/historia.htm>

<http://172.16.2.152/recopenetProduccion/nuestraempresa/funcionesEmpresa.html#MRC00000000000000223>

ANEXOS

ANEXO 1

INFORME GENERAL DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE CALDERAS EN LA EMPRESA RECOPE

Cuadro 1. Costo de Materias Primas para la producción de vapor

Material	Cantidad	Precio	Total
Agua	563,19 m ³ /mes	¢154,7 /m ³	¢ 87.125,5/mes
Bunker	132,131 m ³ /mes	¢175,05 /L	¢23.129.531/mes
Diesel	1,2618 m ³ /mes	¢326 /L	¢ 411.346,0 /mes
TOTAL			¢23.628.002,5/mes

Tratamiento Químico del agua para caldera:

Costo: ¢2.437.704, 30/año = **¢203.142,025/ mes**

La compra se realiza cada 3 meses

Análisis de Gases:

Costo: ¢1.350.000, 00/año = **¢112.500,00/ mes**

Se realizan tres mediciones anuales

Seguridad Laboral:

El área de caldera se encuentra equipada con dos cilindros de polvo químico y uno de CO₂. Estos cilindros se llenan una vez al año, el servicio lo realiza la empresa JIREH por medio de un contrato con RECOPE de ¢7.000.000,00/anuales

El costo de llenado de los cilindros es el siguiente:

Cuadro 2. Costo de Mantenimiento de los extintores de la caldera

Tipo de Cilindro	Costo	Total
Polvo Químico 68 kg(x2)	¢1500/kg + N ₂	¢105.000,0/ anuales
CO ₂ 20 lb	¢1300/kg	¢11.793,4 / anuales
TOTAL		¢116.793,0 /anuales

Mano de Obra y Supervisión:

Para la mano de obra de los operarios de calderas se tiene un aproximado de ¢ 770.000/mes. Como son tres turnos y en promedio se trabajan 30 días por mes, se tiene un costo de ¢ 77.000 / día

Para supervisión se toma el 15% de los gastos de mano de obra que corresponde a ¢ 11.550 / día

Costo total: ¢ 88.550 / día

Análisis de la calidad del agua de caldera

El costo de un análisis de aguas en LABMDA que incluya los siguientes aspectos:

- 9 Alcalinidad Hidróxida
- Alcalinidad Parcial
- Alcalinidad Total
- pH
- Conductividad
- Fosfatos
- Dureza
- Sulfitos
- Sílice
- Hierro

Es de ¢20.000,00/ muestra. Como los análisis se hacen una vez al día, el costo mensual es de **¢600.000,00/ mes**

Cuadro 3. Gastos de mantenimiento y reparación en la caldera

OTM	Costo de Mano de Obra y reparación	OTM	Costo de Mano de Obra y reparación
551974	54414,52	553441	2267,78
551981	35483,18	553443	10185,10
553400	25535,34	553507	159930,42
553404	5855,95	553509	32218,74
553411	3645,52	559806	86958,14
553412	3645,52	559848	77815,99
553418	151095,03	559853	4785,26
553419	144656,94	559855	30314,29
553424	14959,44	559857	14641,45
553427	32042,94	559859	51004,80
553428	91834,10	559860	91714,72
553434	7698,15	559866	61772,61
553436	8739,20	559868	5100,48
553437	5361,68	559872	41016,64
553438	30475,56	559874	17851,68

Costo Total: ¢ 1.303.816,16/ año = **¢ 108.651/mes**

Demanda Eléctrica:

En calderas se tiene:

1. Bomba de agua: $V = 200 \text{ V}$, $I = 26,7 \text{ A}$; por lo tanto la potencia consumida $P = 5,34 \text{ kW-hr}$.
2. Bomba de Búnker: $V = 204 \text{ V}$, $I = 8,4 \text{ A}$; por lo tanto la potencia consumida $P = 1,71 \text{ kW-hr}$.
3. Bomba de agua de reposición: $V = 202 \text{ V}$, $I = 6,3 \text{ A}$; por lo tanto la potencia consumida $P = 1,27 \text{ kW-hr}$.
4. Bomba de químicos: $V = 110 \text{ V}$, $\text{caballaje} = 0,25 \text{ hp}$; por lo tanto la potencia consumida $P = 0,187 \text{ kW-hr}$.
5. Abanico: $V = 202 \text{ V}$, $I = 11,75 \text{ A}$; por lo tanto la potencia consumida $P = 2,37 \text{ kW-hr}$.
6. Bomba de agua de tanque (12 hr de trabajo/día): $V = 193 \text{ V}$, $I = 22 \text{ A}$; por lo tanto la potencia consumida $P = 2,25 \text{ kW-hr}$.
7. Bomba de agua de condensado (2 hr de trabajo/día): $V = 200 \text{ V}$, $I = 18 \text{ A}$; por lo tanto la potencia consumida $P = 0,30 \text{ kW-hr}$.

Total: 13,43 kW-hr

Para el 2006 se tomará un costo promedio de $\text{¢}44,473/\text{kW-hr}$
Es decir el **costo será de $\text{¢}597,3/\text{día}$**

Datos de la caldera

Cuadro 4. Cantidad de agua consumida por la caldera

Inicial			Hora			Temperatura
Lugar	Hora	Distancia*	Lugar	Final	Distancia*	
Tq. Cond	10:50 am	39 pulg	Tq. Cond	12:20pm	36 pulg	96 °C
Tq. Calde	10:30 am	24 pulg	Tq. Calde	12:00md	30 pulg	82 °C

*Desde arriba del tanque

Cuadro 5. Cantidad de agua consumida por la caldera

Inicial			Hora			Temperatura
Lugar	Hora	Distancia*	Lugar	Final	Distancia*	
Tq. Cond	10:40 am	32 pulg	Tq. Cond	11:40am	29 pulg	96 °C
Tq. Calde	10:45 am	20 pulg	Tq. Calde	11:45am	27 pulg	92 °C

*Desde arriba del tanque

Cuadro 6. Cantidad de agua consumida por la caldera

Inicial			Hora			Temperatura
Lugar	Hora	Distancia*	Lugar	Final	Distancia*	
Tq. Cond	9:35 am	23,5 pulg	Tq. Cond	11:05 am	19,0 pulg	92 °C
Tq. Calde	9:40 am	23 pulg	Tq. Calde	11:10 am	32,0 pulg	
Tq. Cond	3:05 pm	28,0 pulg	Tq. Cond	4:35 pm	25,0 pulg	86 °C
Tq. Calde	3:10 pm	23,5 pulg	Tq. Calde	4:40 pm	33,0 pulg	

* Desde arriba del tanque

Cuadro 7. Cantidad de agua consumida por la caldera

Inicial			Hora			Temperatura
Lugar	Hora	Distancia*	Lugar	Final	Distancia*	
Tq. Cond	2:55 pm	33.75 pulg	Tq. Cond	3:55 pm	31.75 pulg	92 °C
Tq. Calde	3:00 am	19 pulg	Tq. Calde	4:00 pm	25 pulg	

* Desde arriba del tanque

Flujo de vapor producido por la caldera

Flujo promedio: 4569,79 lb/ h

Análisis de gases

Cuadro 8. Análisis de Gases en la Caldera UB-414

Parámetro	Valor
O ₂	4,2 %
CO	7 ppm
Eficiencia	82,0 %
CO ₂	13,2 %
Temperatura de gases de chimenea	325 °C
Temperatura del aire	29,5 °C
Exceso de Aire	23 %
NO	267 ppm
NO ₂	0 ppm
NO _x	267 ppm
SO ₂	691 ppm
CO (5)	7 ppm
NO (5)	254 ppm
NO ₂ (5)	0 ppm
NO _x (5)	254 ppm
SO ₂ (5)	658 ppm

Cuadro 9. Cálculo del consumo de agua caliente de la caldera

	H (m)	Alfa (α)	Volumen (m ³)	Diferencia (m ³)	Tiempo (min)	Flujo m ³ /min
Volumen1	1.1176	1.86932853	5.69160133	1.28450965	90	0.01427233
Volumen2	0.9652	1.68871648	4.40709168			
Volumen1	1.2192	1.99518604	6.59578797	1.55886523	60	0.02598109
Volumen2	1.0414	1.77816162	5.03692274			
Volumen1	1.143	1.90025347	5.91460401	1.91146723	90	0.02123852
Volumen2	0.9144	1.62965383	4.00313678			
Volumen1	1.1303	1.88475218	5.80282708	1.99641911	90	0.02218243
Volumen2	0.889	1.60021233	3.80640797			
Volumen1	1.2446	2.02770553	6.82643145	1.35555003	60	0.0225925
Volumen2	1.0922	1.83869524	5.47088142			
Promedio						0.02125338

Cuadro 10. Cálculo del volumen de condensados recuperados en el tanque

	H (m)	Alfa (α)	Volumen (m ³)	Diferencia (m ³)	Tiempo (min)	Flujo m ³ /min
Volumen1	0.7366	1.42320222	2.70878227	0.52590837	90	0.00584343
Volumen2	0.8122	1.51124284	3.23469063			
Volumen1	0.9144	1.62965383	4.00313678	0.6108705	60	0.01018118
Volumen2	0.9906	1.71839043	4.61400728			
Volumen1	1.1306	1.88511744	5.8054612	1.02097025	90	0.01134411
Volumen2	1.2446	2.02770553	6.82643145			
Volumen1	1.016	1.74819593	4.82400428	0.64687714	90	0.00718752
Volumen2	1.0922	1.83869524	5.47088142			
Volumen1	0.86995	1.57814933	3.66128225	0.39159746	60	0.00652662
Volumen2	0.92075	1.63702119	4.0528797			
Promedio						0.00821657

De lo cual se tiene que el volumen de agua que debe de reponerse es de 0,0130368 m³/min.
Los valores de altura y volumen que se encuentran en los cuadros anteriores se obtuvieron con las siguientes ecuaciones en forma respectiva:

$$h = \frac{D}{2} - \frac{D}{2} \cos(\alpha)$$

$$V = \left[\frac{D^2}{4} \alpha - \frac{D}{2} \operatorname{sen}(\alpha) \frac{D}{2} \cos(\alpha) \right] x H$$

Costo Total

Cuadro 11. Cálculo del costo total de producción de vapor de la caldera

Rubro	Costo
Materias Primas	¢787.600,1 / día
Tratamiento químico	¢ 6.771,4 / día
Análisis de gases	¢3.750 / día
Seguridad Laboral	¢324,43 / día
Mano de Obra y Supervisión	¢ 88.550 / día
Análisis de la calidad del agua de caldera	¢20.000 / día
Mantenimiento	¢ 3.621,7 / día
Demanda Eléctrica	¢597,3 / día
Costo Total del vapor	¢ 911.214,93 / día
Flujo de vapor producido por la caldera	4.569,79 lb / h

Costo del vapor: ¢ 8,31 / lb (Dato al mes de abril del 2006)

ANEXO 2

Códigos de las unidades ejecutoras presentes en la codificación de RECOPE.

01	Administrativa	41	Contrato Oleoducto Turrialba
02	Automotriz central	42	Cuadrilla. Siquirres
03	Contrato	43	Cuadrilla. Turrialba
04	Electricidad central	44	Mant. E. A. En Turrialba
05	Industrial Central	45	Cuadrilla. B-Line
06	Sin definir	46	Contrato Mant. Turrialba
07	Instrumentación central	47	Instrumentación Atlántica
08	Maquinaria y equipo	48-59	Sin definir
09	Región central oleoducto	60	Mantenimiento Región Pacífico
10	Área técnica	61	Industrial Pacífica
11	Soldadura central	62	Instrumentación Pacífica
12	Sin definir	63	Sin definir
13	Transporte	64	Soldadura Pacífica
14	Turrialba	65	Automotriz Pacífica
15	Jefatura	66	Cuadrilla. R. Maravilla-EA
16	San Carlos	67	Cuadrilla. EA-Barranca
17	Programación y control	68-79	Sin definir
18	Región pacífica oleoducto	80	Mecánica Dist. Moín
19-29	Sin definir	81	Industrial Dist. Moín
30	Turrialba administrativo	82	Eléctrica Dist. Moín
31	Turrialba bombeo	83	Soldadura Dist. Moín
32	Turrialba contrato	84	Cuadrilla. B Line Moín
33	Eléctrica Atlántica	85	Contratos Moín
34	Mecánica Turrialba	86	Mant. Turrialba en Moín
35	Turrialba oleoducto	87	Mant. El Alto en Moín
36	Turrialba transporte	88	Mantenimiento Refinería
37	Soldadura Turrialba	89	Jefatura Mant. Moín
38	Industrial Atlántica	90	Administ. Dist Moín
39	Jefatura Turrialba	91	Automotriz Moín
40	Programación y Control		

Códigos de tipo de equipo estacionario.

ACE	Accesorios	SA	Sistema Aguas
ALM	Aeropuerto Liberia Mecánico	SEC	Oleoducto
B	Bomba	SIE	Sistema Eléctrico
BAM	Barranca Mecánico	SIM	Sistema Mecánico
CAL	Caldera	SP	Sistema de Pararrayos
COM	Compresor	SUR	Surtidor
EAE	El Alto Eléctrico	TE	Termografía Eléctrica
EAM	El Alto Mecánico	TEL	Teléfonos
GE	Generador Eléctrico	TRF	Transformador
JSM	Juan Santa María Mecánico	TM	Termografía Mecánica
LCM	La Carpio Mecánico	TUB	Tuberías
LGM	La Garita Mecánico	VBA	Vibración Barranca
MC	Motor de Combustión	VEA	Vibración El Alto
ME	Motor Eléctrico	VGA	Vibración Gallo
MED	Medidores	VGU	Vibración Guardián
MET	Medición tierras	VIB	Vibración Barranca
MOL	Molino	VJS	Vibración Juan Santa María
OLE	Oleoducto	VLG	Vibración La Garita
RAD	Radios	VLI	Vibración Liberia
RAM	Tubería Rampa AJS	VOE	Válvula Oleoducto Eléctrico
RED	Reductor	VOI	Ser. Mecánico válvula oleoducto

ANEXO 3

Factores de Seguridad	
Drenado de líneas	2 a 1
Intercambiadores de Calor instantáneo	2 a 1
Calentadores de agua a vapor	3 a 1
Evaporadores	4 a 1
Cilindros rotativos	8 a 1

ANEXO 4

Aplicación	Primera Alternativa	Segunda Alternativa
Serpentines de Calefacción de aire		
Baja y mediana presión	Flotador y Termostática	N.A.
Alta Presión	N.A.	Termodinámica
Intercambiadores de Calor		
Pequeños - Alta Presión	Termodinámica	Flotador y Termostática
Grandes - Baja y mediana presión	Flotador y Termostática	N.A.
Re-calentadores	Flotador y Termostática	N.A.
Recipiente con camisa de vapor		
Alta presión	Termodinámica	Flotador y Termostática
Baja presión	Flotador y Termostática	Termodinámica
Trampas para drenar líneas principales de vapor		
0 - 15 lbs/pulg ² man	Flotador y Termostática	N.A.
16 - 125 lbs/pulg ² man	Termodinámica	Flotador y Termostática
125 - 600 lbs/pulg ² man	Termodinámica	Balde Invertido
Separadores de Vapor		
0 - 15 lbs/pulg ² man	Flotador y Termostática	N.A.
16 - 125 lbs/pulg ² man	Termodinámica	Flotador y Termostática
125 - 600 lbs/pulg ² man	Termodinámica	Balde Invertido
Serpentines de calefacción sumergidos		
Alta presión	Termodinámica	Balde Invertido
Baja y mediana presión	Flotador y Termostática	Termostática (de presión equilibrada)
Otras Aplicaciones		
Serpentines para tanque de almacenamiento	Expansión Líquida	Termodinámica
Serpentines de tubería de vapor (Calefacción de Aire)	Termostática (de presión equilibrada)	Termodinámica
Radiadores de vapor	Termostática (de presión equilibrada)	Termodinámica
Calentadores de agua (instantáneos)	Flotador y Termostática	N.A.
Calentadores de agua (almacenamiento)	Flotador y Termostática	N.A.