

Técnicas de Gestión Energética en Sistemas de Vapor

Palacios J.L.*; Peña A.**; Hidalgo V.***

*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador
e-mail: jose.palacios@epn.edu.ec

** Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador
e-mail: patricio.pena@epn.edu.ec

*** Tsinghua University, State Key Laboratory of Hydro Science and Engineering, Beijing China
e-mail: victor.hidalgo@epn.edu.ec

Resumen: El trabajo recoge experiencias en técnicas de gestión energética durante la realización de una auditoría energética de una planta industrial alimenticia [1] y en la inspección de las trampas de vapor efectuada en Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) [2]. Se explica cómo emplear la revisión ultrasónica de trampas de vapor e inspección infrarroja como mecanismos efectivos para disminuir pérdidas de energía y conseguir ahorros económicos importantes en sistemas de vapor. Se resalta también la importancia ambiental en la reducción de consumo energético.

Palabras clave: auditoría energética, revisión ultrasónica de trampas de vapor, termografía, mantenimiento de trampas de vapor

Abstract: The present work gathers experiences about techniques of energy management based on an energy audit of a food industry [1] and the steam trap inspection of a Pilot Plant of the Department of Food Science and Biotechnology (DECAB) of the National Polytechnic School (EPN) [2]. It is explained how to use ultrasonic steam trap inspection and infrared thermography. These are means of effective mechanisms to reduce energy losses and achieve *important economic savings in steam systems. It is highlighted the environmental importance that energy saving has.*

Keywords: energy audit, ultrasonic steam trap inspection, infrared thermography, steam trap maintenance

1. INTRODUCCION

La necesidad en la reducción de combustibles fósiles debido a los efectos adversos que ocasionan en el ambiente ha sido la causa principal para la búsqueda de formas adecuadas para el uso eficiente de todos los recursos energéticos.

El uso eficiente de la energía surge hoy más que nunca, como un requisito más que económico, moral, de todos los habitantes del planeta, pues esto contribuirá a dejar a nuestras futuras generaciones un lugar donde vivir. De nada significará poseer autos eficientes o teléfonos modernos, si no se tiene donde disfrutarlos.

En nuestro país mediante la aplicación paulatina de políticas por parte de las entidades encargadas de la administración de la energía se han realizado proyectos para su uso adecuado de manera especial en el sector industrial.

El uso eficiente de la energía además de los beneficios ambientales que trae por la disminución del consumo de combustibles de origen fósil, también logra beneficios económicos importantes que elevan la competitividad de las

empresas. Siendo la auditoría energética el paso fundamental para la identificación de la situación actual del consumo de los distintos energéticos. El uso intensivo de la energía el sector industrial ha convertido este rubro en una importante estructura de costos en las empresas. Las industrias utilizan la energía básicamente para tres aplicaciones: calentamiento o enfriamiento, fuerza motriz y generación de vapor, entonces debido a las importantes cantidades de combustibles fósiles y energía eléctrica que se consumen para estos fines, es importante disminuir éstos con el fin de bajar costos de producción y disminuir la contaminación ambiental [1]. En este contexto, los sistemas de vapor son grandes consumidores de energía.

Del Balance de Energía 2013 [3], se desprende que el 39% del suministro energético proviene de diesel y el 17% de fuel oil. Siendo, por lo tanto, los combustibles fósiles la fuente energética principal de la industria ecuatoriana –superior a la electricidad que asciende al 31%.

Técnicas como inspección de trampas de vapor e inspección infrarroja son herramientas efectivas para la reducción de pérdidas energéticas e identificación de potenciales fuentes de ahorro económico [4-8].

Este trabajo transmite la experiencia adquirida en el empleo de estas técnicas como resultado de una auditoría energética

de una planta industrial alimenticia [1] y en la inspección de las trampas de vapor efectuada en la Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) [2].

Como resultado del trabajo realizado y debido a la necesidad, en términos energéticos y ambientales, del mantenimiento de trampas de vapor. Se sugieren algunos pasos necesarios para la instauración de la gestión de su mantenimiento.

2. EL SISTEMA DE VAPOR

Los elementos de un sistema de vapor son el generador de vapor o caldera, el sistema de distribución, los equipos de consumo de vapor y el retorno de condensado.

Todos los elementos del sistema interactúan entre sí. Si existe mal funcionamiento en algunos de sus elementos la operación de todo el sistema de vapor será afectado, lo que ocasionaría importantes pérdidas de energía con pérdidas económicas considerables.

Los distintos elementos del sistema de vapor, se encuentran indicados en la Fig. 1.

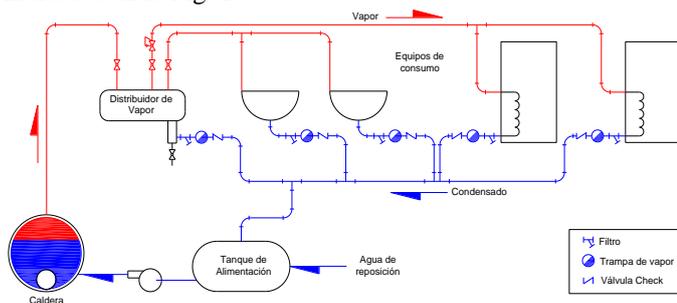


Figura 1. Sistema de vapor

El sistema de distribución de vapor, se encuentra compuesto de tuberías, accesorios y componentes. Cuando el aislamiento térmico de tuberías se encuentra en mal estado, por falta de mantenimiento, ocurren pérdidas energéticas considerables debido a mecanismos de transferencia de calor por radiación y convección. Componentes del sistema de vapor, como por ejemplo, válvulas, filtros, reguladores de presión, etc., que se encuentren parcialmente aislados o sin aislamiento producen pérdidas energéticas y causan problemas de seguridad severos, por el potencial para quemaduras. Además, la falta de aislamiento en dichos componentes, ocasiona un ambiente de trabajo desfavorable por el aumento de temperatura [9].

Por las consideraciones expuestas, es importante contar con herramientas que permitan realizar un diagnóstico adecuado del sistema de vapor. En las secciones siguientes se realiza una breve descripción de los métodos de inspección del funcionamiento de trampas de vapor, con énfasis en el método ultrasónico, así como inspección termográfica del sistema de vapor. Siendo esta dos técnicas, mecanismos efectivos para la identificación de pérdidas energéticas en los sistemas de vapor.

3. REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE TRAMPAS DE VAPOR

De acuerdo con el Instituto de Control de Fluidos, una trampa de vapor es una válvula de autocontención que automáticamente drena condensado desde un recinto que contiene vapor [10], permaneciendo hermética a vapor vivo [11]. Las trampas de vapor establecen el límite entre el vapor y el condensado, por lo tanto si existen fallas en su operación se tendrá como resultado escape de vapor, existiendo por consiguiente pérdidas de energía y por lo tanto pérdidas económicas [12].

Algunos inconvenientes provocado por el mal funcionamiento de las trampas de vapor, son retención de condensado y aire. Si el condensado no es removido, las tuberías se convierten en conductoras de agua transmitiendo muy poco calor –necesario para los procesos industriales [13]. También, el exceso de condensado puede ocasionar golpe de ariete hidráulico, con resultados potencialmente destructivos y peligrosos [8]. Si el aire no es removido, el vapor lleva un reducido calor por unidad de masa, porque la presión de vapor es reducida por la presión del aire. Si el CO₂ no es removido, se promueve la formación de ácido carbónico, que tiene acción corrosiva en la tuberías [13].

3.1 Métodos de Inspección

En la mayoría de industrias la energía consumida se emplea para generar vapor, pero buena parte del vapor producido se pierde a través de fugas del sistema de distribución de vapor, incluyendo tuberías, válvulas y trampas de vapor [1].

Las trampas de vapor que fallan abiertas provocan pérdidas de vapor considerables. Si el condensado no retorna, el agua –tratada químicamente– también se pierde. El resultado son pérdidas económicas considerables, directamente mediante el incremento de costos de la generación de vapor y potencialmente indirectos mediante la reducción de la capacidad calorífica del vapor. Cuando las trampas de vapor fallan cerradas, el resultado es una reducción significativa de la capacidad de calentamiento o daño de los equipos de consumo de vapor [8]. Sin mencionar el potencial peligro de explosión de accesorios y componentes del sistema de distribución de vapor.

Además, trampas de vapor en mal estado pueden contribuir a erosión en las tuberías debido a la circulación de agua de pobre calidad y contaminantes. También, las trampas defectuosas afectan negativamente la calidad de los productos terminados en varios procesos industriales como: papel, alimentos o químicos e inclusive podrían ocurrir problemas de contaminación ambiental [5].

Las pérdidas económicas provocadas por el mal funcionamiento de trampas de vapor pueden ascender de 10 a 100 USD/día de trabajo [1]. Es por estas razones que se requieren de métodos efectivos para la inspección de trampas de vapor. Existen cuatro métodos de inspección de las trampas de vapor: visual, electrónico, térmico y acústico [4, 8, 14, 15].

A continuación se describen los aspectos más importantes de cada método y particular atención se concentra en la revisión ultrasónica –método aplicado en el Proyecto de Titulación de auditoría energética de una planta de alimentos [1] y en la inspección con fines educativos realizada a la Planta Piloto del DECAB-EPN [2].

3.1.1 Método visual

Se fundamenta en la observación de la descarga de las trampas de vapor, cuando estas se realiza a la atmósfera, es decir, cuando no existe recuperación de condensado. El inspector de trampas de vapor debe reconocer entre vapor flash o revaporizado, que es característico en el funcionamiento de trampas, y vapor vivo, presente este último cuando la trampa falla en posición abierta [1, 8]. La diferencia entre vapor vivo y vapor flash se aprecia en la Fig. 2. A la derecha se encuentra la descarga de vapor vivo (trampa totalmente abierta) y a la izquierda revaporizado (trampa operando con normalidad).



Figura 2. Descarga de trampa de vapor (Fuente:[12])

También, se pueden emplear vidrios de observación, instalados en las trampas de vapor, para realizar la inspección visual [15].

Aunque este método es efectivo para la inspección de trampas. La desventaja se encuentra en que las trampas tienen que estar descargando a la atmósfera, lo que conlleva pérdidas energéticas y económicas considerables, o requiere la instalación de visores a la descarga de trampas de vapor, lo que aumentaría los costos del sistema de distribución. Para salvar esta dificultad existen otros métodos de inspección, que se describen a continuación.

3.1.2 Método electrónico

Este método consiste en la utilización de sensores electrónicos para medir la conductividad del condensado en una cámara que se instala antes de la trampa de vapor, Fig. 3.

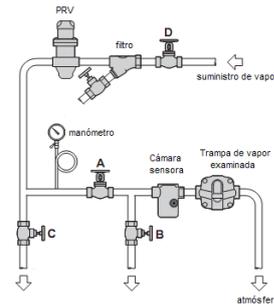


Figura 3. Instalación de cámara sensora para revisión electrónica (Fuente: modificado de [12])

El sensor instalado en la cámara, detecta la presencia de condensado y oprimiendo un botón en un indicador portátil, se cierra el circuito que indica que la trampa está trabajando correctamente.

Si la trampa falla en la posición abierta, un volumen relativamente grande de vapor fluye hacia ella, lo que ocasiona una depresión del nivel de condensado del lado que se alimenta la cámara, dejando descubierto el sensor e interrumpiendo el circuito eléctrico, con lo cual el indicador portátil señalará que la trampa está fallando.

Mediante conexiones inalámbricas se puede verificar el funcionamiento en tiempo real de las trampas de vapor durante todo el tiempo de trabajo de las mismas, llevándose registros que permiten agilizar tareas de mantenimiento ahorrando dinero y tiempo [12].

3.1.3 Método térmico

La medición de la temperatura de la trampa de vapor es considerado el método menos confiable para la inspección de trampas, porque vapor saturado y condensado tienen la misma temperatura, por lo tanto es difícil diferenciar cuando la operación de la trampa es adecuada o no. Aunque la información que provee este método es relevante, especialmente cuando la trampa falla en posición cerrada su temperatura será menor por acumulación de condensado. Para este método se pueden emplear termómetros, termocuplas y otros dispositivos de contacto y termómetros infrarrojos que permiten una evaluación más rápida [8, 12, 15].

3.1.4 Método acústico

Mecanismos dentro de las trampas de vapor, flujo de vapor y condensado a través de las trampas generan sonidos audibles para el oído humano por medio de estetoscopios y sonidos supersónicos verificables mediante el empleo de equipos especializados. El estetoscopio es un equipo utilizado en este método. Consiste en una sonda metálica que al ponerla en contacto con la trampa de vapor, transmite vibraciones a los auriculares a través de una membrana. Su uso requiere cierta experiencia en el discernimiento de los sonidos y tiene el inconveniente de que cuando hay varias trampas de vapor próximas, las tuberías transmiten las vibraciones que pueden causar errores de diagnóstico.

Para detectar los sonidos ultrasónicos se emplea un equipo llamado *detector ultrasónico de trampas de vapor*, que se fundamenta en el principio físico de que un fluido al pasar por un orificio restringido, produce vibraciones de elevada frecuencia -ultrasonido no captadas por el oído humano-.

El detector ultrasónico de trampas de vapor consiste en una sonda de contacto o receptor de ultrasonidos, un convertidor de señales de ultrasonidos en impulsos eléctricos con amplificadores, filtros y convertidor de la señal en sonido audible, medido en decibelios (dB). Resulta extremadamente útil para realizar diagnósticos precisos del funcionamiento de las trampas de vapor, especialmente cuando el equipo consta de un almacenador de datos que permite su análisis en un ordenador mediante diagramas de nivel de presión sonora versus tiempo [1, 8, 12, 15].

La Fig. 4 indica la sonda del detector ultrasónico de trampas de vapor durante su inspección.

El equipo utilizado empleado en las inspecciones de [1] y [2] fue un *detector ultrasónico de trampas de vapor* marca SONOTEC, modelo SONAPHONE con 40kHz de frecuencia de operación del sensor.



Figura 4. Revisión ultrasónica de trampas de vapor. (Fuente: [8])

Los diferentes tipos de trampas de vapor producen diferentes sonidos durante su operación. Un operador o técnico puede ser entrenado para reconocer estos sonidos.

Las trampas de balde invertido fallan, por lo regular, en posición abierta, dando como resultado un sonido continuo similar al vapor cuando pasa por la trampa, el balde también puede ser oído cuando golpea con el cuerpo de la trampa.

Las trampas de flotador y termostato normalmente fallan en la posición cerrada. Un pequeño orificio en el flotador de la trampa hará que este por su propio peso, caiga hacia abajo. En estos la trampa no cierra correctamente y no se oír ningún sonido. Alternativamente, si la trampa tiene fallas en la posición abierta, un sonido continuo será oído, como cuando el vapor pasa a través de la trampa.

Las trampas termodinámicas generalmente fallan en la posición abierta, permitiendo el paso continuo de vapor. Si la trampa opera normalmente el detector de ultrasonido puede registrar el sonido del disco en forma cíclica de 4 a 10 veces por minuto. Cuando las trampas termostáticas fallan en la posición cerrada lo hacen en forma silenciosa, mientras que aquellas que fallan en posición abierta producen un sonido continuo de vapor. En operación normal el detector será capaz de registrar el sonido del ciclo de apertura y cierre [15].

La Tabla 1 resume los modos de operación de los tres tipos de trampas de vapor, así como sus modos más comunes de fallas.

Tabla 1. Modos usuales de falla de trampas de vapor. (Fuente: modificado de [12])

Tipo de Trampa	Modo de operación		Modo usual de falla
	Carga ligera	Carga normal	
balde invertido (mecánica)	intermitente	intermitente	abierta
bimetálica (termostática)	usualmente	podría explotar a altas presiones	abierta
flotador & termostato	usualmente continuo, pero podría operar en ciclos en altas presiones		cerrada
disco (termodinámica)	intermitente	intermitente	abierta

3.1.4.1 Aplicación de la revisión ultrasónica

El método más común para la revisión ultrasónica de trampas de vapor es colocar la sonda de prueba en la tubería de la descarga del purgador. Ajustando la sensibilidad en el punto donde los sonidos de la trampa son escuchados. De manera general, se recomienda realizar esta operación en todo el cuerpo de la trampa de vapor para determinar el mejor punto de audición que permita realizar un diagnóstico adecuado de su funcionamiento [1, 14].

En las siguientes figuras se indican diagramas (nivel de presión sonora vs. tiempo) de la revisión del funcionamiento de trampas de vapor reales obtenidos de inspecciones a la planta de alimentos [1].

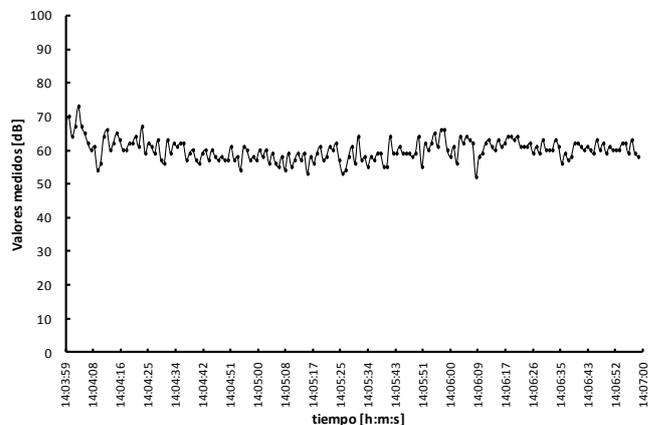


Figura 5. Fuga de vapor en la brida de una tubería de vapor.

Al analizar la Fig. 5, se observa que el comportamiento de una fuga es constante en el tiempo, en cuanto al nivel de presión sonora que esta emite. Siendo en valor de emisión elevado que corresponde a un valor promedio de 60 dB.

Las Fig. 6 y 7, presentan los diagramas de la trampa de vapor termodinámica en dos condiciones; de una trampa abierta (Fig. 6) y de una trampa nueva (Fig. 7) operando correctamente.

4. TERMOGRAFÍA

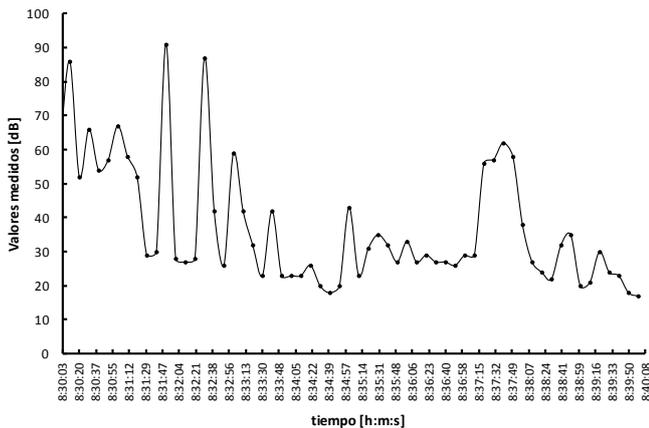


Figura 6. Trampa de vapor abierta, con el disco rebotando dentro de la tapa de la trampa.

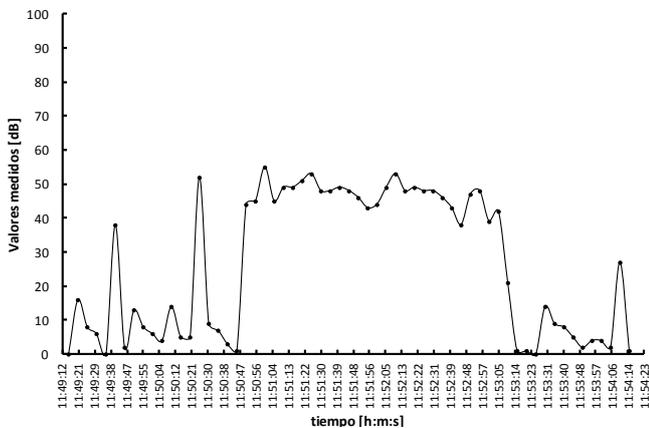


Figura 7. Trampa de vapor nueva, funcionamiento correcto.

Obsérvese como en la trampa abierta (Fig. 6) el nivel de emisión siempre permanece por encima de los 30 dB. En cambio, en la trampa nueva (Fig. 7) los ciclos de cierre y descarga se aprecian fácilmente con niveles de 0 y 40 dB, respectivamente.

Por otro lado, el diagrama de una trampa de vapor cerrada, Fig. 8, muestra claramente como no ocurre descarga alguna de condensado, identificado por un nivel de presión sonora menor a 5 dB.

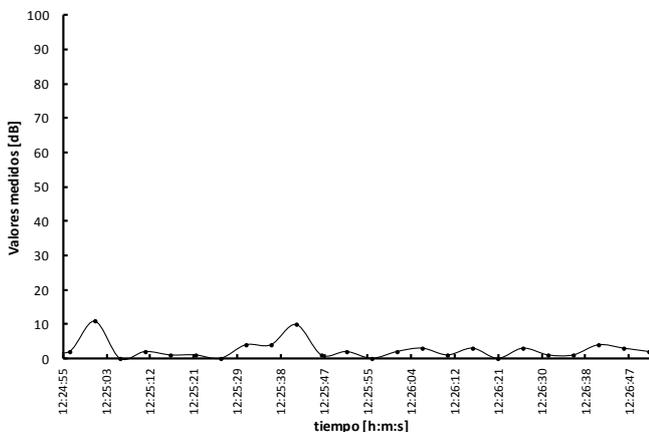


Figura 8. Trampa de balde invertido cerrada.

Esta técnica usa instrumentación diseñada para monitorear la emisión de energía infrarroja, para determinar las condiciones de operación detectando anomalías térmicas, es decir, áreas que se encuentran a mayor o menor temperatura a la que se deberían encontrar normalmente.

La tecnología infrarroja se fundamenta en el hecho de que todos los objetos que se encuentran a una temperatura mayor al cero absoluto emiten energía o radiación. La radiación infrarroja es una forma de esa radiación emitida, cubre el espectro en el rango de 0.750 μm a 100 μm , que es superior al espectro visible.

Los sistemas ópticos de la tecnología infrarroja coleccionan la energía radiante y la concentran en un detector, el cual la convierte en una señal eléctrica. Dispositivos electrónicos amplifican la señal de salida y la procesan de manera que pueden ser mostradas en forma digital y procesadas en imágenes de video que son llamadas termogramas. Cada pixel del termograma tiene un valor de temperatura y el contraste en la imagen se debe a la diferencia en la temperatura de la superficie del objeto en estudio.

La inspección infrarroja es una técnica no destructiva para detectar diferencias térmicas que indican problemas en el equipo. Se emplea para realizar inspecciones en: cajas de velocidades, subestaciones eléctricas, motores, envoltorio de construcciones, rodamientos, líneas de vapor, etc. [16]

La cámara termográfica empleada en [1] fue marca HIOKI modelo 3460-50. Con medición de onda infrarroja de 8 a 16 μm , con una rango de temperatura de -50 a 1000°C, resolución 0.1°C.

5. RESULTADOS

5.1 Inspección de trampas de vapor

Durante el Proyecto de Titulación en una planta de alimentos [1] se realizó la inspección de trampas de vapor mediante revisión ultrasónica en la mayoría de trampas de vapor y en las que por ruido circundante, que perjudicaba un diagnóstico adecuado se empleó el método acústico.

A continuación se describe de manera resumida el procedimiento seguido para la revisión. Primero, se procedió a la identificación de trampas de vapor. Registrando en un archivo electrónico la ubicación (referida a un plano de planta), tipo de trampa de vapor, marca, diámetro de conexión, método de inspección y estado, es decir, abierta, cerrada u operación correcta.

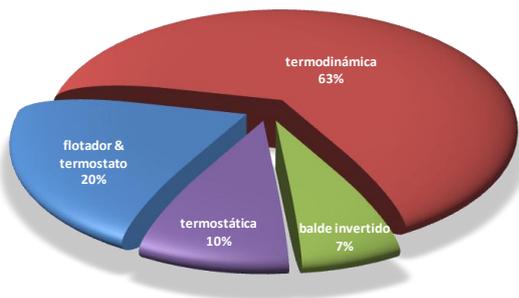


Figura 9. Clasificación de trampas de vapor, planta de alimentos.

La Fig. 9 muestra la clasificación de trampas de vapor en la planta de alimentos: en su mayoría son termodinámicas (63%) aparte de las de balde invertidos (7%).

Se encontró que el 38% de trampas de vapor se encontraban abiertas. Dentro de las cuales el 78% corresponden a trampas termodinámicas y 22% a flotador y termostato. La explicación para que el mayor porcentaje de trampas de vapor abiertas sean termodinámicas, es que debido a su principio de funcionamiento estas presentan mayor desgaste por el movimiento relativo entre la cubierta de la trampa y el disco que se encuentra en su interior.

Durante el trabajo realizado, se ha estimado que la pérdida económica por trampas de vapor equivale al 31% de la energía consumida por la caldera.

En la Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), se realizó una inspección de las trampas de vapor [2] con el objetivo de reunir más información y experiencia para ser difundida con fines educativos.

La inspección de trampas de vapor fue realizada mediante revisión ultrasónica.

La Fig. 10 muestra el registro de trampas de vapor que en su mayoría (62%), al igual que en la planta de alimentos [1], son trampas termodinámicas y la minoría (7%) son de flotador y termostato.

El resultado de la revisión ultrasónica indicó que el 15% de trampas se encontraban abiertas.

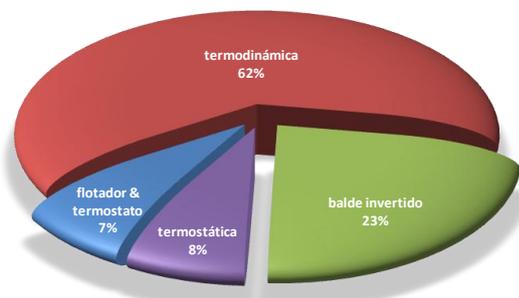


Figura 10. Clasificación de trampas de vapor, Planta Piloto-DECAB.

5.2 Termografía

La inspección termográfica fue realizada en la planta de alimentos [1]. El criterio considerado para la selección de

puntos calientes es una comparación con puntos contiguos de análisis al sitio de análisis en los termogramas.

El resultado de la inspección realizada fue la ubicación de catorce puntos calientes en el sistema de distribución de vapor. Principalmente en tuberías de suministro de vapor a equipos de consumo. Por lo tanto, se realizó la recomendación de verificar el aislamiento térmico.

6. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE TRAMPAS DE VAPOR

Debido a las considerables pérdidas energéticas y económicas que provocan trampas de vapor en mal estado y en base a la experiencia del trabajo de auditoría energética realizado en la planta de alimentos [1] y de la inspección en la Planta Piloto-DECAB [2], se proponen una serie de acciones para que el mantenimiento de trampas de vapor sea efectivo y permita realizar un seguimiento fiable de su funcionamiento.

La justificación para llevar a cabo un programa de mantenimiento de trampas de vapor se halla en que dicho programa lleva a la reducción de vapor perdido por trampas de vapor abiertas con la consecuente disminución de energía requerida y el resultante ahorro económico. De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos (US DOE) [7] el ahorro de energía asociado a un programa de inspección de trampas de vapor, para instalaciones sin mantenimiento de trampas de vapor, se encontraría entre 5 y 15% del combustible de alimentación al generador de vapor. También, se debe tener en cuenta el aspecto ambiental como justificación para llevar a cabo el programa, puesto que si se ahorra vapor también se estará disminuyendo el consumo de combustible fósil del generador, téngase en cuenta que por cada galón de bunker o diesel, combustibles muy usados en la industria ecuatoriana, que se combustiona se emiten 22.384 libras masa de dióxido de carbono a la atmósfera de acuerdo con la Oficina de Administración de Información de Energía de los Estados Unidos [17].

Las acciones sugeridas para la instauración de la gestión del mantenimiento de trampas de vapor, son:

6.1 Identificación

En ciertas plantas industriales donde no existe un plano del sistema de vapor y se requiere de forma inmediata realizar la inspección de las trampas de vapor. Lo primero que se debe realizar es la identificación de las trampas de vapor mediante una etiqueta que sea visible, es decir, se realizará una identificación en sitio como la sugerida en la Fig. 11.

El orden de numeración sugerido es desde el generador de vapor hasta los equipos de consumo, es decir, se empezará con el número 1 con la trampa de vapor que se encuentre más cercana a la caldera.



Figura 11. Identificación en sitio de trampas de vapor.

6.2 Registro

En un documento electrónico se debe detallar su código de identificación, la ubicación preferiblemente referida a un plano de planta o al equipo de consumo más cercano, tipo de trampa de vapor, marca, diámetro de conexión, si la trampa consta de un filtro y de ser necesario, un registro fotográfico. También se sugiere determinar el modo de operación de trampas, es decir, si es continuo o por proceso.

Es importante determinar el porcentaje del tipo de trampas de vapor existentes en la instalación. Como se va visto en los casos de estudio, las trampas termodinámicas son las que más presentan fallas de operación.

6.3 Inspección

Seleccionar un método de inspección, visual o acústico o contratar el servicio de inspección de trampas de vapor. Coordinando actividades con las personas responsables de la planta industrial se procede a realizar la inspección del funcionamiento de trampas de vapor. Se recomienda tener extremo cuidado con las tuberías de vapor que no se encuentran aisladas y de manera general en todo el sistema de distribución para evitar quemaduras y lesiones. Los resultados de la inspección se registran en un formato en el que debe constar: el código de la trampa, el funcionamiento: correcto, abierta, cerrada; novedades encontradas y el método de inspección utilizado.

La inspección culmina con un informe en el cual se muestre el registro inicial de trampas, los resultados de la inspección con el porcentaje de trampas con un funcionamiento inadecuado, conclusiones y recomendaciones. Se debe sugerir continuar con el seguimiento de la revisión de trampas de vapor con un método de inspección confiable y una frecuencia adecuada.

6.4 Frecuencia de inspección

El primer informe de la inspección de trampas es el paso inicial para la instauración un programa de mantenimiento de estos elementos del sistema de vapor.

Es importante determinar la frecuencia de inspección de trampas de vapor, al estilo especificado en la Tabla 2.

Tabla 2. Frecuencia sugerida de inspección (Fuente: modificado de [7])

Presión de trabajo de trampas de vapor	Frecuencia de Mantenimiento		
	Semanal	Mensual	Anual
alta presión (150 psig o más)	X		
media presión (30-150 psig),		X	
baja presión (menos de 30 psig)			X

Si bien la tabla anterior es una recomendación válida, especialmente para la implantación, de un programa de mantenimiento de trampas de vapor, la frecuencia de revisión óptima de las trampas debe establecerse después, en función del ritmo de operación de la planta, pudiéndose por lo tanto aumentar o disminuir su frecuencia de revisión.

Algo que no debe descuidarse, es la limpieza de los filtros cuando se ejecuten actividades de mantenimiento de trampas de vapor.

El US DOE dentro del Programa Federal de Administración Energética [18] sugiere que se reemplacen trampas de vapor cuando la inspección muestre que hay problemas. Generalmente, las trampas deben ser reemplazadas cada 3 o 4 años. Además, cuando se reemplace las trampas, verifíquese que su dimensionamiento sea adecuado.

6.5 Mejoramiento continuo

La identificación de la causa raíz de los problemas que provocan la falla de componentes de trampas de vapor es esencial para evitar que los daños ocurran de nuevo. Los problemas en los sistemas de vapor tendrán una solución definitiva si se corrigen o eliminan las causas en lugar de cambiar los componentes sin análisis alguno [19].

Las acciones sugeridas son importantes para implementar un sistema de gestión de mantenimiento. Sin embargo, es esencial la capacitación del personal a cargo de mantenimiento y el compromiso de todos los miembros de la organización industrial, especialmente a nivel gerencial, para asegurar el éxito de la reducción energética y pérdidas económicas en sistemas de vapor.

7. CONCLUSIONES

Las técnicas de gestión energética indicadas en el presente artículo, son herramientas importantes para la reducción de pérdidas energéticas y económicas, teniendo en cuenta también los beneficios ambientales.

La inspección termográfica de sistemas de vapor permite identificar con efectividad zonas donde ocurren pérdidas energéticas de consideración que son imperceptibles a simple vista.

De acuerdo con el US DOE, en sistemas de vapor sin mantenimiento por 3 o 5 años, el porcentaje de trampas de vapor con falla oscila entre el 15 y 30% [8].

De las inspecciones realizadas, tanto en la planta de alimentos [1] como en la Planta Piloto-DECAB [2] se ha determinado que el porcentaje de trampas de vapor en mal estado concuerdan con lo indicado por US DOE, citado en líneas anteriores.

Se recomiendan iniciar o modificar actividades que promuevan la aplicación de las técnicas estudiadas en sistemas de vapor de otro tipo de instalaciones industriales a las tratadas en el presente trabajo con el objetivo de aumentar la variedad de trampas de vapor en estudio.

Se sugiere también que resultados de estos estudios sean compartidos, a través de artículos en revistas, para comprobar el ahorro energético y económico alcanzado en instalaciones industriales en el país.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable que colaboraron para la realización del contrato de comodato de los equipos de diagnóstico energético con la Escuela Politécnica Nacional.

REFERENCIAS

- [1] J. L. Palacios Encalada, "Auditoría Energética de la Caldera y el Sistema de Distribución de Vapor de la Planta de Elaborados y Embutidos de PRONACA," Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.
- [2] J. L. Palacios Encalada, "Informe de la Revisión del Funcionamiento de las Trampas de Vapor de la Planta Piloto-DECAB," Escuela Politécnica Nacional, Laboratorio de Energías Alternativas y Eficiencia No publicado 2010.
- [3] P. Carvajal and A. Orbe, *Balance Energético Nacional 2013 (Año Base 2012)*: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador, 2013.
- [4] W. T. Deacon, "Testing traps pays dividends," Thermo Diagnostics Company, West Lafayette 1991.
- [5] I. UE Systems, "Steam Trap Inspection Methods and Steam Cost Analysis," ed.
- [6] UCATEE, *Manual Eficiencia Energética para PYMES*. El Salvador, 2009.
- [7] U. S. D. o. Energy, "Inspect and Repair Steam Traps," 2012.
- [8] U. S. D. o. Energy, "Steam Trap Performance Assessment," 1999.
- [9] G. H. Hart, "Saving Energy by Insulating Pipe Components on Steam and Hot Water Distribution Systems," *Insulation Outlook*, January 2012 2012.
- [10] *Standard for Production Testing of Steam Traps*, 1989.
- [11] C. B. Oland, "Review of Orifice Plate Steam Traps," Oak Ridge National Laboratory 2000.
- [12] S. Sarco, *Design of Fluid Systems, Hook Ups, Steam Utilization*. Allentown, 2000.
- [13] B. L. Capehart, W. C. Turner, and W. J. Kennedy, *Guide to Energy Management*: The Fairmont Press, Inc., 2003.
- [14] J. L. P. Encalada, "Técnicas de Gestión Energética en Sistemas de Vapor," Escuela Politécnica Nacional, Laboratorio de Energías Alternativas y Eficiencia Energética, Quito, Ecuador, No publicado 2010.
- [15] A. Borroto, *Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor*. Cienfuegos, Cuba: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, 2005.
- [16] R. K. Mobley, *Maintenance Engineering Handbook*, Seventh Edition ed. USA: Mc Graw Hill, 2008.
- [17] U. S. E. I. Administration. (último acceso Julio 2014). *Voluntary Reporting of Greenhouse Gases Program*. Available: <http://www.eia.gov/oiaf/1605/coefficients.html>
- [18] O. o. E. E. R. Energy. (último acceso Abril 2010). *Federal Energy Management Program*. Available: http://www1.eere.energy.gov/femp/operations_maintenance/printable_versions/om_stchecklist.html
- [19] I. Swagelok Energy Advisors, "Steam Systems Best Practices."