

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

" INSPECCIÓN, DIAGNOSTICO Y MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN DE VAPOR POR RECUPERACIÓN DE ENERGÍA DE
GASES DE ESCAPE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA "

TRABAJO FINAL DE GRADUACION

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Armando Alfredo Guapisaca Lino

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTO

A mis Padres que hicieron posible mi educación y me guiaron en cada momento de mi vida.

A mis seres queridos que de una u otra manera colaboraron con la realización de este TFG.

DEDICATORIA

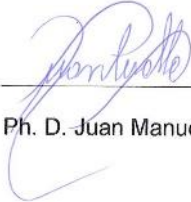
A MIS PADRES

A MI HERMANO

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ph. D. Juan Manuel Peralta Jaramillo



Ph. D. Emérita Alexandra Delgado Plaza

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in blue ink, reading "Armando Alfredo Guapisaca Lino", written over a horizontal line.

Armando Alfredo Guapisaca Lino

RESUMEN

En instalaciones termoeléctricas la producción y generación de vapor desempeña un papel primordial para el consumo en diferentes etapas de sus procesos internos. Este trabajo realiza un estudio energético se realiza debido a los problemas de vapor en una planta termoeléctrica donde se cuenta con ocho motores de combustión interna de encendido por compresión, que utilizan fuel-oil No. 6 (bunker C) como combustible, acoplados a generadores estacionarios, siete unidades con capacidad de 3.5MW y una unidad con capacidad de 5.0MW. En forma adicional se cuenta con un caldero auxiliar que se abastece de diesel como combustible. El sistema de producción de vapor aprovecha gases de escape (entre 430°C - 450°C) de dos unidades de 3.5MW que en el recorrido hacia cada una de sus chimeneas se encuentra con sendos recuperadores de energía. La energía de los gases se transfiere hacia serpentines dispuestos por los cuales internamente circula agua proveniente de bombas de alimentación. En el recorrido de salida el agua alcanza el estado de vapor, el cual es requerido para consumo interno.

En condiciones óptimas de operación la producción de vapor era suficiente para alcanzar temperatura final de inyección de combustible de 130°C. Actualmente aun con los dos intercambiadores en servicio, en ocasiones se tiene que usar el caldero auxiliar, para alcanzar temperaturas de combustible

de no más de 115°C, lo que provoca una mala combustión y la caída de la eficiencia de los motores al tener baja temperatura de combustible.

La metodología a seguir consistirá básicamente en realizar una auditoría energética en todo el sistema de vapor. Se medirá temperatura en diferentes dispositivos con una herramienta de mantenimiento acorde a la ASNT (American Society for Non-Destructive Testing), como es la termografía infrarroja industrial. Esta norma, mediante los parámetros visuales y gráficos de temperatura nos pueden indicar la condición de operación de un equipo o instalación. Las medidas serán comparadas con valores óptimos de operación con los que debería estar operando cada uno de los dispositivos que componen el sistema de vapor. Se procedió a realizar toma de imágenes de termografía en los puntos de entrada hacia los diferentes consumidores, así como sus componentes válvulas, trampas, realizando inspección visual y evaluando las condiciones actuales del sistema en base a cómo debería trabajar el equipo.

Adicional a esto, se realizó:

- Inspección: instrumentos de control, aislamientos térmicos.
- Análisis térmico en el intercambiador.
- Toma de imágenes en puntos de entrada y salida de consumidores de vapor. Válvulas, trampas y reservorios de retorno de condensado.

Con estos datos se detectó que los equipos que constituyen el sistema de control no estaban operando en condición normal, determinados tramos de tuberías presentaban desgaste interno sea por vida útil o por deterioro debido a que el tratamiento químico en el agua destinada a la producción de vapor no era bien dosificado. Se recomendó los siguientes ítems a ser considerados para un mejor aprovechamiento del vapor:

- Cambio de equipos que constituyen el sistema de control de vapor.
- Cambio de tramos en líneas de conducción de vapor.
- Cambio o recuperación de aislamientos térmicos.
- Control de parámetros mediante la elaboración de una hoja de toma de datos.
- Control de dosificación de químicos del agua de producción de vapor.
- Control visual de sedimentos en tina de recolección de condensado.

Al culminar el trabajo se apreció que con solo el cambio de un elemento (válvula de control) y cambio de tramos de aislamientos térmicos se obtuvo una condición final de entre 118°C-120°C como temperatura de inyección, quedando pendiente los demás ítems a considerar por la parte administrativa.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
INDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	III
SIMBOLOGIA	IV
INDICE DE FIGURAS	V
INDICE DE GRAFICOS	VI
INDICE DE TABLAS	VII

Capítulo 1

Descripción de la planta

1.1 Generadores estacionarios	3
1.2 Producción de vapor en planta Termoeléctrica: Condiciones actuales	6
1.3 Diagrama del proceso de obtención de vapor	10
1.4 Diagrama de distribución interna, consumidores de vapor	12

1.5 Características del combustible fuel oil #6: Descripción de elementos presentes en análisis químico	13
1.6 Mejoramiento en la densidad del combustible mediante pre calentamiento y purificación del combustible	16

Capítulo 2

Inspección y diagnóstico.

2.1 Selección de puntos para recopilación de datos en líneas principales	19
2.2 Toma de datos con Termógrafo en tanques y verificación de cierre hermético de válvulas	20
2.3 Reconocimiento del intercambiador	35
2.4 Inspección en líneas de conducción	38
2.5 Evaluación del sistema de tratamiento de agua	40
2.6 Inspección de instrumentos de medición y control	43

Capítulo 3

Cálculos de pérdidas de energía en intercambiador, tanques de combustible y válvulas principales

3.1 Pérdidas de energía en intercambiador de calor	45
3.2 Calculo de pérdidas de calor en los elementos que constituyen el sistema de vapor	46

3.3 Control de sedimentos (monitoreo de material precipitado después de drenado) 50

3.4 Resultados obtenidos de acuerdo a toma de imágenes de termografía por tanques y válvulas de cada tanque 51

Capítulo 4

Conclusiones y Recomendaciones luego del procesamiento de datos

4.1 Conclusiones luego del análisis de los elementos del sistema de Vapor 56

4.2 Recomendaciones 58

Bibliografía

Apéndices

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASNT American Society for Non-Destructive Testing

HWL High Water Level

LWL Low Water Level

SCADA Sistema y control de adquisición de datos

SIMBOLOGÍA

H_2O	Agua
m	Metro
Kg	Kilogramo
°C	Grado centígrado
E	Emisividad
σ	Constante de Stefan Boltzman
Ts	Temperatura de superficie

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Motor de combustión interna	3
Figura 1.2. Generador acoplado	4
Figura 1.3. Caldero marca Clayton capacidad 2000 kg/h.	5
Figura 1.4. Recuperador de energía, producción de vapor 6580kg/h	6
Figura 1.5. Diagrama esquemático de producción de vapor	12
Figura 1.6. Diagrama esquemático de consumidores de vapor	13
Figura 1.7 Diagrama de elementos del sistema de vapor a ser evaluados	13
Figura 1.8 Densidad de fuel oil #6 vs. Fecha de recepción	16
Figura 1.9 Toma de temperatura manual	17
Figura 1.10 Obstrucción de nozzle debido a la mala combustión al tener baja viscosidad	18
Figura 1.11 Alta contaminación de alabes en turbina	18
Figura 2.1. Elementos que constituyen el sistema de vapor individual en tanques	20
Figura 2.2. Suministro de entrada/salida tanque storage	22
Figura 2.3 Imágenes térmicas en tanque storage	24
Figura 2.4. Suministro de entrada/salida tanque settling	25

Figura 2.5 Imágenes térmicas en tanque settling.	27
Figura 2.6 Suministro de entrada/salida tanque diario	28
Figura 2.7 Imágenes térmicas en tanque diario	30
Figura 2.8 Imágenes térmicas de cierre de válvula tanque storage	32
Figura 2.9 Imágenes térmicas de cierre de válvula tanque settling	33
Figura 2.10 Imágenes térmicas de cierre de válvula tanque diario	34
Figura 2.11 Esquema de funcionamiento del intercambiador de calor	35
Figura 2.12 Imágenes térmicas exteriores del intercambiador de calor	37
Figura 2.13 Líneas de salida desde el intercambiador hacia el sistema	39
Figura 2.14 Líneas de entrada/salida de vapor en separador de aceite	39
Figura 2.15 Descripción de elementos del sistema de tratamiento de Agua	41
Figura 2.16 Contaminación por bunker en línea de vapor	42
Figura 2.17 Formación de incrustaciones solidas debido a la falta de tratamiento de agua	42
Figura 2.18 Viscosímetro analógico deteriorado, no se puede medir viscosidad	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Equipo vs. Obtención de energía calorífica	5
Tabla 1.2 Esquema básico del circuito de vapor	10
Tabla 1.3 Análisis químico fuel oil #6	14
Tabla 2.1 Descripción de elementos tanque storage	21
Tabla 2.2 Descripción de elementos tanque settling	25
Tabla 2.3 Descripción de elementos tanque diario	28
Tabla 3.1 Calculo de E de acuerdo a valores de T_s capturado en imágenes térmicas	46
Tabla 3.2 Porcentaje asignado de consumo de agua por cada tanque	47
Tabla 3.3 Evaluación de pérdidas de acuerdo a las imágenes térmicas en los elementos de cada tanque	48
Tabla 3.4 Porcentaje de aprovechamiento de calor por tanque	49
Tabla 3.5 Evaluación de pérdidas cerrando válvulas principales (comprobación de hermeticidad)	50
Tabla 3.6 Evaluación de resultados por tanque	51
Tabla 3.7 Análisis de cierre de válvulas	54

INTRODUCCION

En instalaciones termoeléctricas el vapor es uno de sus objetivos principales para ser utilizado en diferentes procesos internos para la generación eléctrica. Con referencia a esto se emplean generalmente calderos cuya principal fuente de obtención de energía puede ser diesel o fuel oíl (residuo de petróleo), este poder calorífico desprendido por el combustible es aprovechado por otro fluido el agua en estos casos, para alcanzar temperaturas mayores a 100°C donde esta energía es entregada en alguna parte de un proceso industrial para obtener un producto terminado. La obtención del poder calorífico del combustible representa un costo económico debido al precio de los combustibles. Al aprovechar los gases de salida de un equipo y ponerlo en contacto directamente con líneas de conducción de agua se ahorra esta obtención de poder calorífico

En el capítulo 1 se presenta una descripción del motor-generator con sus condiciones de operación y el modo de aprovechamiento de los gases de combustión. También se describe las condiciones actuales del sistema de vapor y sus consecuencias al no producir un vapor de calidad.

En el capítulo 2 se describe metodología a ser empleada en los componentes del sistema de vapor que se consideran como componentes de control.

En el capítulo 3 se presentan los cálculos y análisis de cada una de las imágenes térmicas capturadas en la entrada de los tanques, procediendo a realizar el análisis cuantitativo de acuerdo a los datos con los que se cuenta en los reportes diarios.

En el capítulo 4 se presentan las recomendaciones y conclusiones que se obtuvieron al cambiar un solo elemento del sistema.

CAPITULO 1

Descripción de la planta.

1.1 Generadores estacionarios.

La empresa termoeléctrica obtiene su producción eléctrica mediante motores de combustión interna acoplados a generadores estacionarios dentro de barcasas, cuenta con siete unidades de 3.5MW y una de 5.0MW (capacidades nominales).



Figura 1.1 Motor de combustión interna.



Figura 1.2 Generador acoplado.

El sistema de generación de vapor se basa principalmente en aprovechar gases de salida de dos unidades de generación, las cuales tienen un promedio de temperatura de salida de entre 430°C-450°C. Aprovechando de esta manera este calor en forma directa. En el recorrido de salida hacia las chimeneas se aprovecha en forma individual gases de dos unidades, que en su camino se encuentran con dos recuperadores de energía, los mismos que constan de cuatro serpentines dispuestos en forma horizontal por donde internamente circula agua a través de estos, obteniendo de esta forma vapor para consumo interno sin haber sumado costos económicos adicionales como en el caso anterior del caldero, haciendo más competitiva y sustentable la obtención de vapor para la empresa.

Tabla 1.1 Equipo vs. Obtención de energía calorífica

Equipo	Fuente de obtención energética	Costo económico (\$)
Caldero	Diesel / Fuel oil	Precio combustible por litro o galón
Recuperador energía	Aprovechamiento gases de escape motores.	No tiene costo

Este vapor es requerido para el calentamiento del combustible fuel oil #6 el mismo que sirve como combustible de los motores.



Figura 1.3 Caldero marca Clayton capacidad 2000 kg/h.



Figura 1.4 Recuperador de energía, producción de vapor 6580kg/h.

1.2 Producción de vapor en planta Termoeléctrica: Condiciones actuales.

En la actualidad las instalaciones se generan un vapor de baja calidad y cantidad. De acuerdo al fabricante de los motores de combustión interna se necesita que la viscosidad para este combustible fuel oil #6 en el momento de inyección se encuentre en un valor entre 14-15cSt (centi Stoke), pero en las condiciones actuales no se realiza la medición de la viscosidad debido a que el viscosímetro se encuentra no operativo pero se trata de alcanzar 130°C que se tiene como referencia de que a esta temperatura alcanza esta viscosidad este tipo

de combustible. Actualmente se consigue llegar a no más de 110°C dando como consecuencia una mala combustión, la cual se ve reflejada principalmente en la eficiencia obtenida y una mayor contaminación en los turbos (excesiva presencia de hollín en los alabes de las turbinas) acortando el tiempo de mantenimiento preventivo de éstos. Adicional a esto, tendríamos que considerar el taponamiento de filtros de combustible debido a la baja temperatura.

Como primer paso se realiza una inspección visual notamos que el sistema de instrumentación se encuentra en condiciones no aptas para monitoreo local, tanto manómetros como termómetros locales no brindan confiabilidad para llevar un monitoreo local.

A continuación enumeramos algunas razones por las cuales usamos vapor en la industria:

- No necesita bombas para ser transportado de un lugar a otro (se realiza desde la misma caldera o unidad generadora), que es el corazón de la red.
- No tiene peligro de incendio una vez generado el vapor.
- Mediante dos válvulas en el circuito de vapor, podemos controlar fácilmente la presión y la temperatura de nuestra instalación.

- El vapor tiene un elevado poder calorífico por unidad de masa. Eso significa que nos permite transportar una buena cantidad de energía de un lugar a otro por cada unidad de masa.
- Tiene un excelente coeficiente de transferencia térmica (2,3 a 2,9 Kw/(m²°C)). O sea, resulta fácil que el vapor libere el calor que transporta en un punto más frío.
- Debido al potencial energético en la industria de la generación termoeléctrica esta energía puede ser utilizada para producir trabajo en turbinas (producir energía eléctrica), bombas (producción energía mecánica), calentar el combustible utilizado en los motores de combustión interna.

Por estas razones la generación de vapor presenta un costo elevado debido al combustible empleados por los calderos (residuos de fuel oil o diesel) y el costo adicional del tratamiento químico de agua utilizada en la producción de vapor.

Dentro de este contexto un generador de vapor es uno de los equipos más importante de la industria. La energía química almacenada en el combustible, se transforma mediante combustión en energía térmica. La energía térmica cambia el agua líquida a vapor. La energía del vapor es transformada en parte en energía mecánica en la turbina. Esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica en el generador de

corriente alterna, la cual es transferida por los cables eléctricos en varios puntos en donde se usan para diferentes usos sea residenciales o industriales. Nuestro entorno está basado económicamente en el suministro eléctrico y está vinculado a la transferencia y transformación de la energía, en la cual sin duda juega un papel clave en la transformación a otras formas previa a su generación y transferencia generalmente a distancias considerables.

En industrias de proceso, la principal fuente de obtención de energía calorífica es por medio de calderos de diferentes tipos entre los principales podemos mencionar: acuotubulares, piro tubulares, entre otros. En procesos donde se requiere suministrar calentamiento estos equipos son utilizados para la generación de vapor el cual mediante transferencia de calor entrega su energía en el proceso.

A nivel nacional se ofrecen unidades de calderos desde la venta pasando por su instalación, capacitación hasta el mantenimiento ya que la gran mayoría de empresas se ha visto en la necesidad de obtener una alza de temperatura en sus procesos de transformación de materia bruta hasta obtener un producto terminado.

En el presente trabajo se describe el aprovechamiento de los gases de escape, es decir, se aprovecha esta energía en forma de calor que se transmite hacia el agua produciendo vapor. De esta manera se ahorra esta obtención de energía calorífica que en caso de un caldero sería necesario utilizar combustible para obtener el poder calorífico. En este tipo de instalaciones que trabajan con residuos de petróleo de alta viscosidad, es muy común el aprovechamiento de gases para la producción de vapor y calentamiento de los tanques reservorios de combustible.

1.3 Diagrama del proceso de obtención de vapor.

El proceso de obtención de vapor sigue un esquema básico similar a un hogar de caldero.

A continuación se describe el proceso:

Tabla 1.2 Esquema básico del circuito de vapor

Ubicación	Equipos	Descripción
Cuarto de caldero (OFB room)	Ablandador	Tratamiento de agua
	Tanque dosificador	
	Tanque reservorio	

	Bombas de alimentación hacia acumuladores	2 bombas independientes para alimentar acumuladores
	Bomba de alimentación para caldero	1 bomba alimentación de caldero
Cuarto de bombas de recirculación (EGB room)	Acumuladores	2 reservorios de bombas recirculación
	Bombas de recirculación	2 bombas independientes abastecen intercambiadores
Intercambiador #1	Serpentines dispuestos	Producción de vapor hacia consumo
Intercambiador #2	Serpentines dispuestos	Producción de vapor hacia consumo

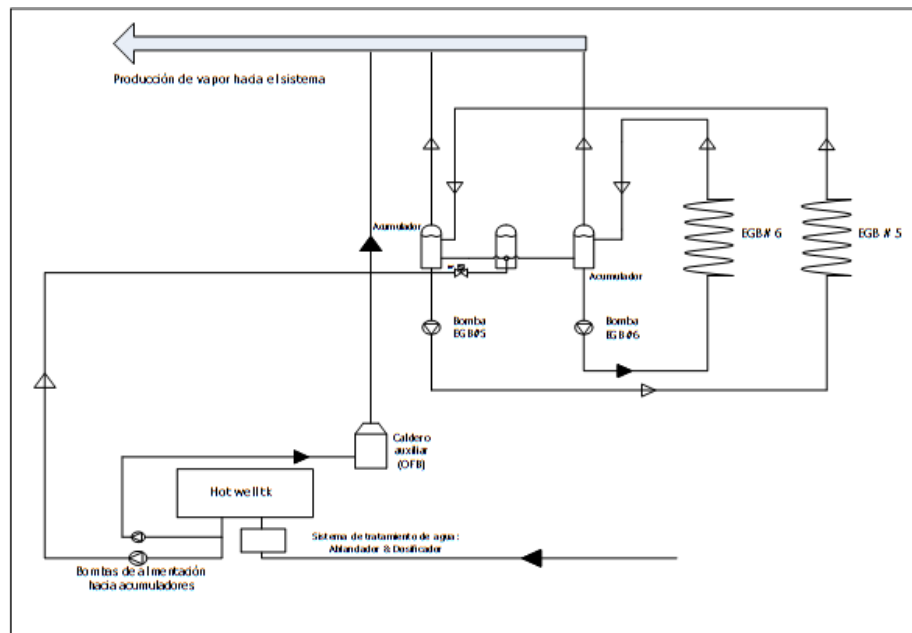


Figura 1.5 Diagrama esquemático de producción de vapor.

1.4 Diagrama de distribución interna, consumidores de vapor.

Posterior a la generación de vapor se lo transporta a los diferentes tanques y equipos que requieren vapor. A continuación se detalla:

- Tanques de combustible: storage, settling y diario.
- Purificadores de combustible y aceite.
- Unidades booster (bombas de alta presión).
- Tanque reservorio de desperdicios (sludge).
- Bomba de transferencia (transfer pump).

El principal consumo de vapor está destinado hacia los tanques, purificadores de combustible y unidades booster.

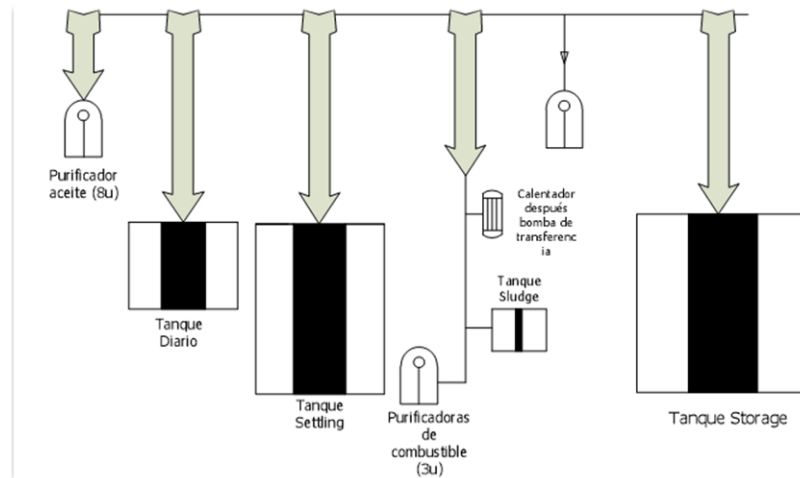


Figura 1.6 Diagrama esquemático de consumidores de vapor.

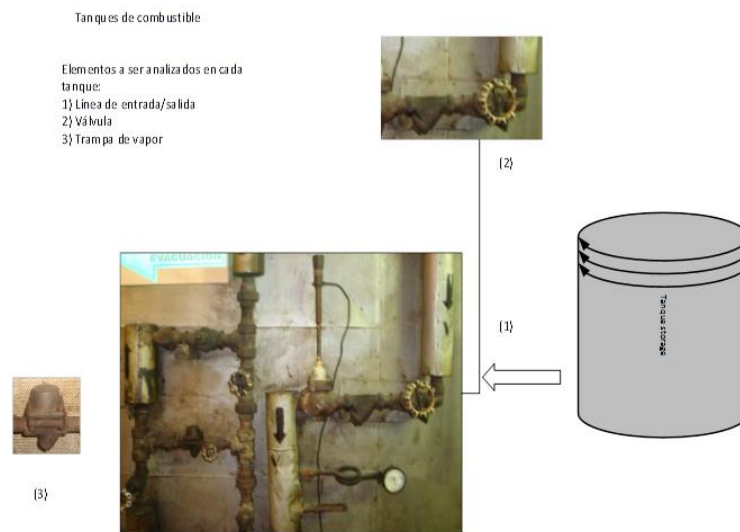


Figura 1.7 Diagrama de elementos del sistema de vapor a ser evaluados.

1.5 Características del combustible fuel oil #6: evaluación de análisis químico.

A continuación se detalla el resultado del análisis químico en este tipo de combustible:

Tabla 1.3 Análisis químico fuel oil #6 (Fuente: Qamar Hussain, Houston, USA)

ANALYSIS	UNIT	SPECIFICATIO		METHOD	23-feb-11
		N	MIN - MAX		
Density @ 15°C	g/ml	... 0,991		ISO 12185	0,9825
Density @ 15°C	Kg/m3	... 991		ISO 12185	982,5
Flash Point	°C	60 ...		ISO 2719	70
Pour Point	°C	... 30		LP 1304	-24
Water by distillation	% Vol				
Water	% Vol	... 0,5		ASTM D 6304	0,1
Kinematic Viscosity, 50 C	mm2/s	500 - 600		ISO 3104	687.3
Conradson Carbon	% m/m	... 22		ISO 10370	15
CCAI (Ignition Quality)		820 870		ISO 8217	839
Ash	% m/m	... 0,15		LP 1001	0,07
Vanadium, V	mg/Kg	... 600		IP 501	266

Sodium, Na	mg/Kg	... 100	IP 501	10
Sulfur, S	% m/m	... 4,5	ISO 8754	1,92
Aluminium + Silicon	mg/Kg	... 80	ISO 10478	10
Iron	mg/Kg	IP 501	6

This is the report from DNV about the last HFO sample taken on June 8th from the shipment received that date.
We have high viscosity 687.3 cSt (max 600 cSt); and density not OK 993.9 Kg/m ³ (max 991.0 Kg/m ³).
Sample was taken before discharge from all ship's tanks at the same sampling point as standard procedures. The other parameters are OK.
Operational advice to know.
Approximate fuel temperatures:
Injection: 155°C for 10 mm ² /s (or cSt), 135°C for 15 mm ² /s
Transfer: 50°C

Se realizó curvas de densidad durante el año 2009 observamos que el combustible llega con alta densidad y una alta viscosidad cinemática, es por esto que la necesidad de producir y aprovechar el vapor al máximo se vuelve prioritario.

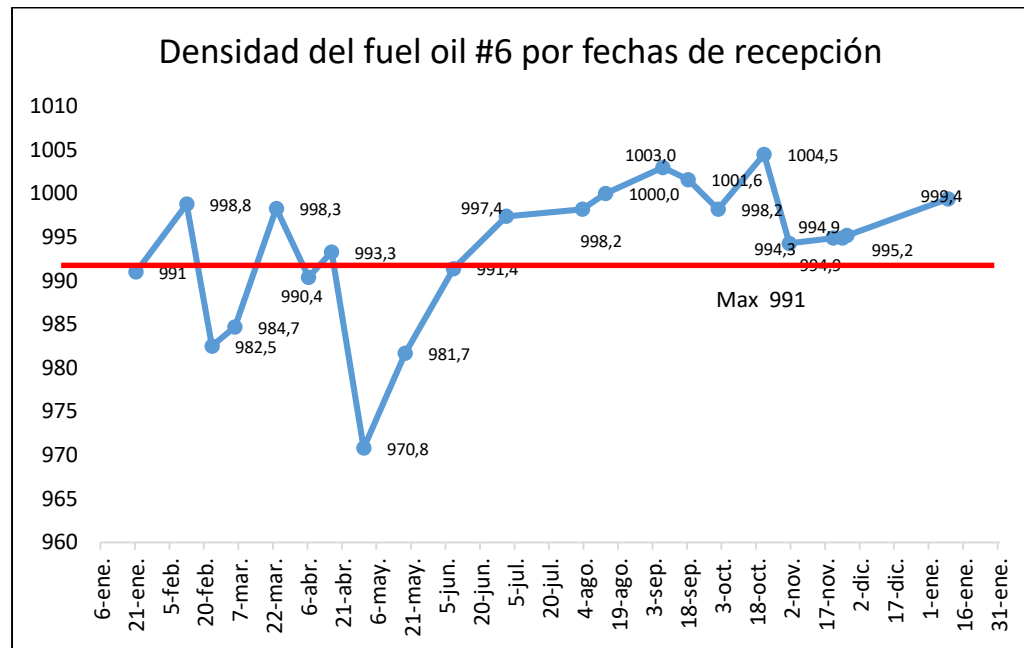


Figura 1.8 Densidad de fuel oil #6 vs. Fecha de recepción

1.6 Mejoramiento en la densidad del combustible mediante pre calentamiento y purificación del combustible.

De acuerdo al análisis químico del combustible fuel oil #6, los resultados de densidad y de viscosidad se recomienda que se alcance temperaturas de 135°C con una viscosidad de 15cSt como valores mínimos al momento de inyección.

Actualmente el monitoreo de temperatura se realiza mediante un termómetro infrarrojo de punto en la línea de ingreso antes de que ingrese al inyector, es decir se lleva un monitoreo manual ya que el instrumento de medición de viscosidad (viscosímetro) se encuentra no operativo, pero en

los actuales momentos se logra alcanzar una temperatura de máximo 110°C.



Figura 1.9 Toma de temperatura manual

Al no alcanzar la temperatura correcta de inyección se produce una mala combustión lo cual se ve reflejado en la disminución en el programa de mantenimiento preventivo programado (horas de mantenimiento se adelantan) y la eficiencia del motor cae. Se dan problemas de alta temperatura de cilindros y su consecuente alta temperatura en los alabes de turbina, taponamiento de inyectores, excesiva producción de hollín.



Figura 1.10 Obstrucción de toberas debido a la mala combustión por alta viscosidad.



Figura 1.11 Alta contaminación por hollín en alabes de turbina

CAPITULO 2

Inspección y diagnóstico.

2.1 Selección de puntos para recopilación de datos en líneas principales.

El procedimiento seguido fue de distribuir cada uno de los elementos que componen el sistema al ingreso de cada tanque a ser analizado, tomando lecturas en cada uno de los puntos en los elementos de acuerdo al orden como están distribuidos, desde que ingresa el vapor hasta la salida del tanque, la misma distribución me servirá para futuras inspecciones.

El procedimiento de trabajo se basa en el diagrama presentado en el capítulo 1, es decir por cada consumidor se realiza toma de datos. Para cada uno de los consumidores tenemos que poseen instrumento de control de suministro de vapor, termómetro, manómetro y trampa de vapor.

A continuación detallamos los elementos que constituyen el sistema de control de vapor en los tanques de combustible: storage, settling y day.

- 1) Actuador mecánico de suministro de vapor (a)
- 2) Manómetro (b)
- 3) Termómetro de mercurio (c)

4) Trampa de vapor (d)

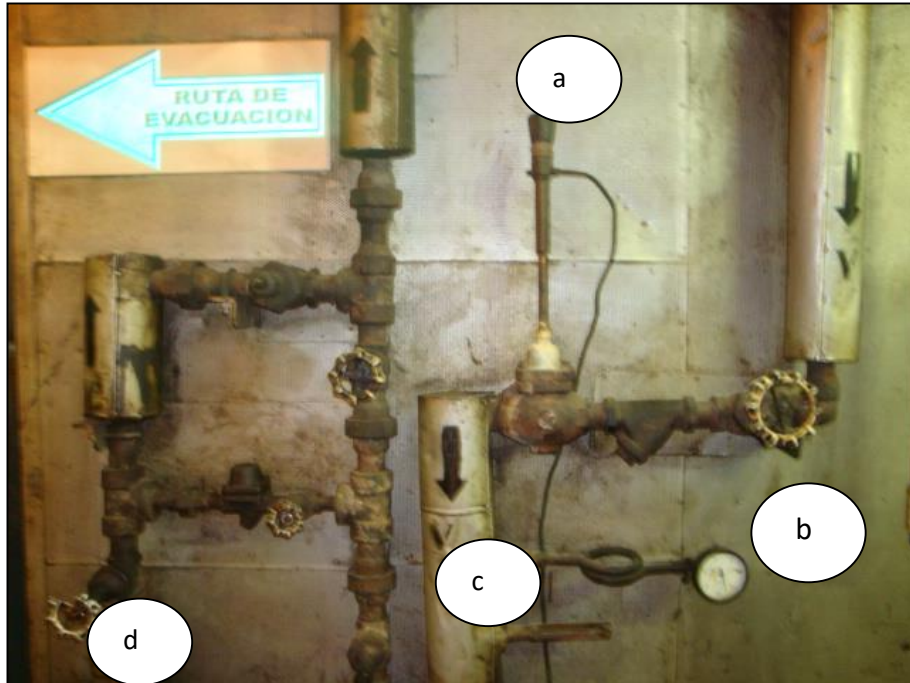


Figura 2.1 Elementos que constituyen el sistema de vapor por tanque.

Los purificadores de aceite y combustible poseen una trampa de vapor, controlador de suministro de vapor una válvula cheque a la salida.

2.2 Toma de datos con Termógrafo en tanques y verificación de cierre hermético de válvulas.

La verificación de datos está basada en la creación de una hoja de ruta en la cual se ha asignado una distribución de puntos acordes al estudio, cuando el vapor se distribuye para cada uno de los consumidores.

Se registró Imágenes térmicas en:

- Línea de salida hacia el sistema.
- Ingreso/salida de vapor en cada uno de los tanques.
- Trampa de vapor: antes y después.
- Verificación de cierre hermético de válvulas.
- Puntos aleatorios en intercambiador de calor.

Tanque storage

Este tanque es de almacenamiento.

Tabla 2.1 Descripción de elementos tanque storage

Descripción	Tanque storage
Entrada de vapor al tanque (1)	Suministro al tanque
Salida de vapor al tanque (2)	
Antes (3)	Trampa de vapor
Después (4)	

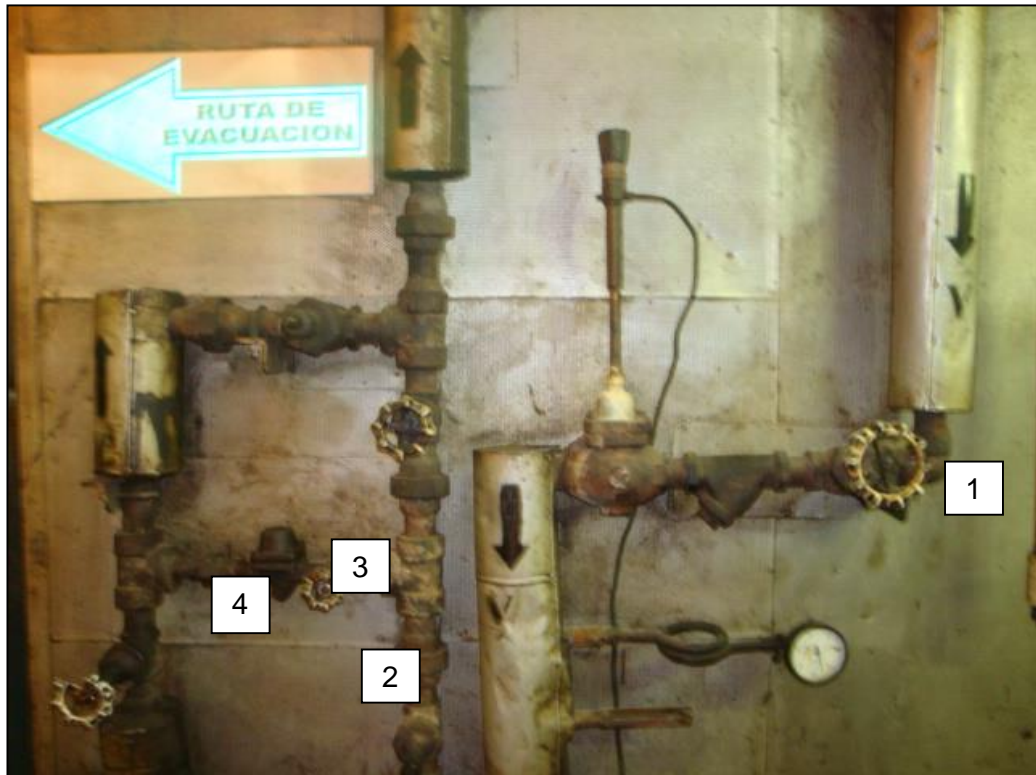


Figura 2.2 Suministro de entrada/salida tanque storage

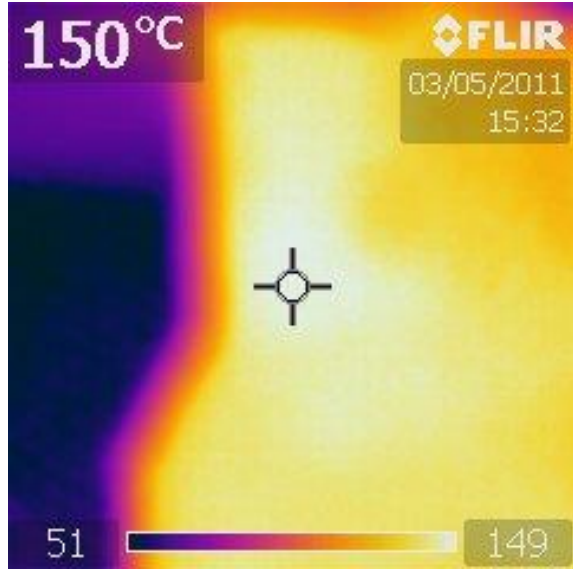
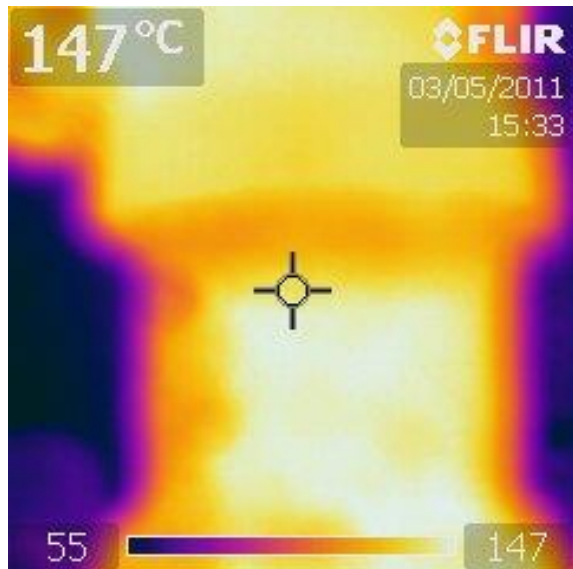
	<p>Punto 1: Entrada de vapor tanque storage.</p>
	<p>Punto 2: Salida de vapor tanque storage una vez que el vapor entrega su energía al interior del tanque en los serpentines de calentamiento para combustible y sale a continuar su recorrido.</p>



Figura 2.3 Imágenes térmicas en tanque storage.

Tanque settling

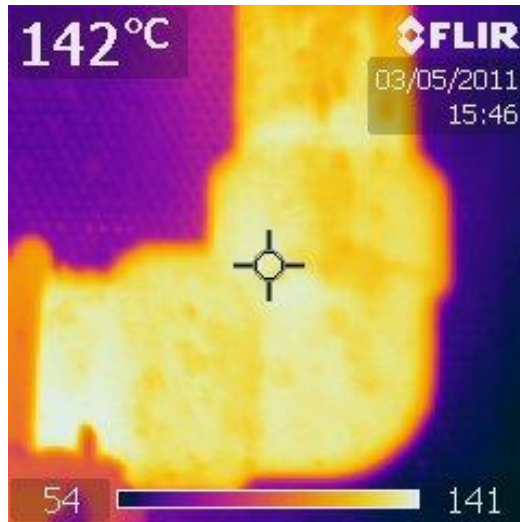
Este tanque es de asentamiento de combustible.

Tabla 2.2 Descripción de elementos tanque settling

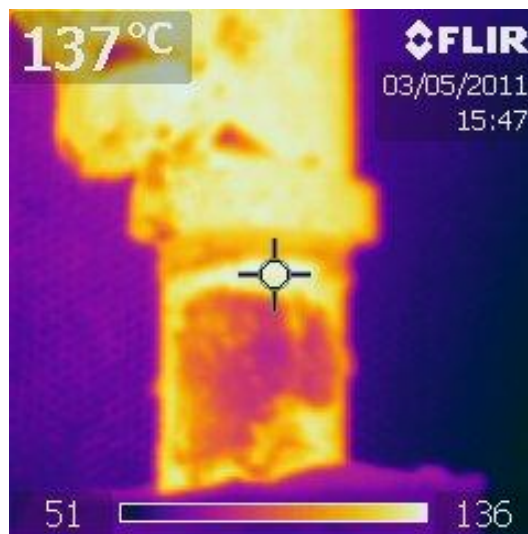
Punto	Tanque settling
Entrada de vapor al tanque (1)	Suministro al tanque
Salida de vapor al tanque (2)	
Antes (3)	Trampa de vapor
Después (4)	



Figura 2.4 Suministro de entrada/salida tanque setting



Punto 1: Entrada de vapor tanque settling.



Punto 2: Salida de vapor tanque settling una vez que el vapor entrega su energía al interior del tanque en los serpentines de calentamiento para combustible.

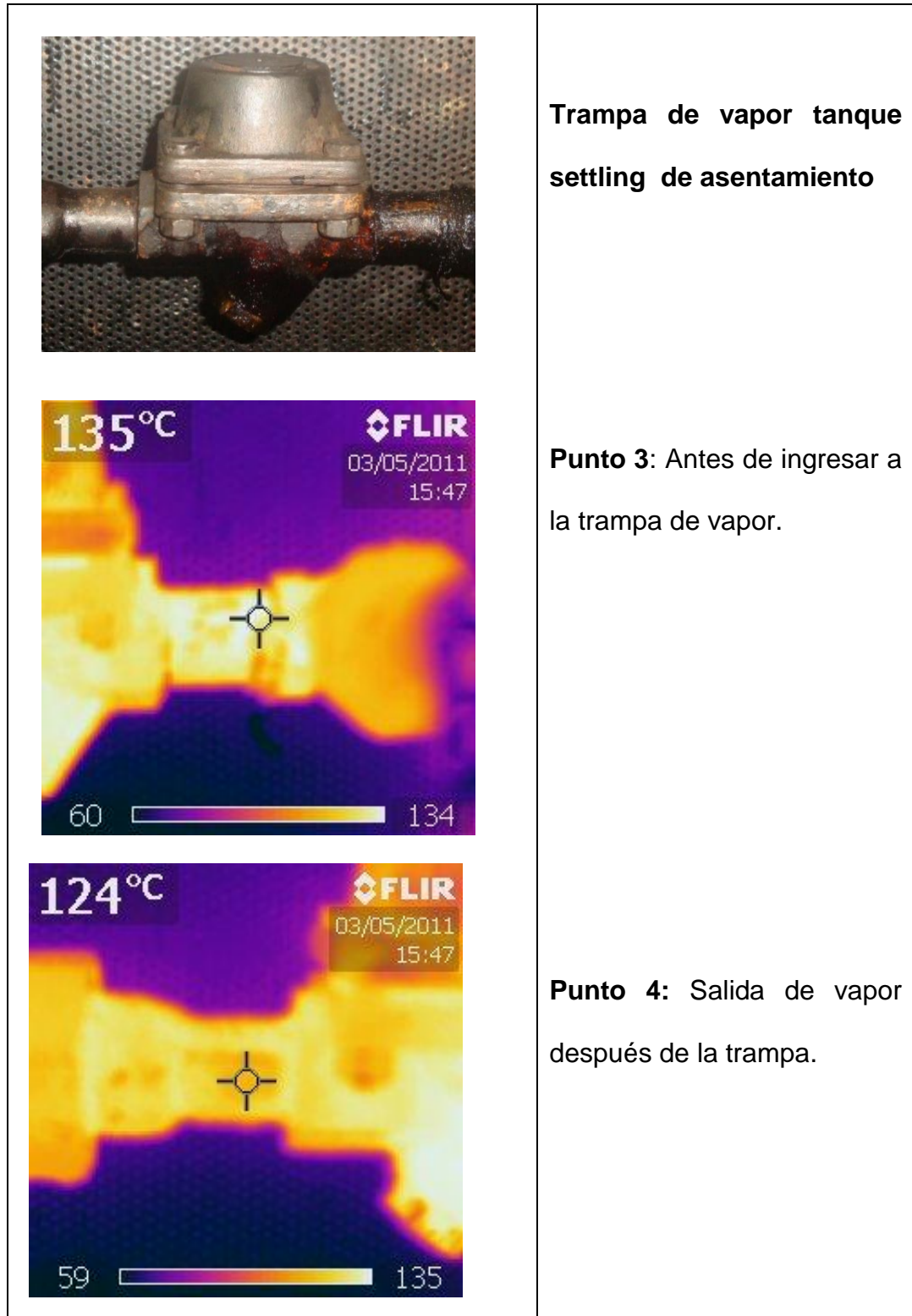


Figura 2.5 Imágenes térmicas en tanque settling.

Tanque diario

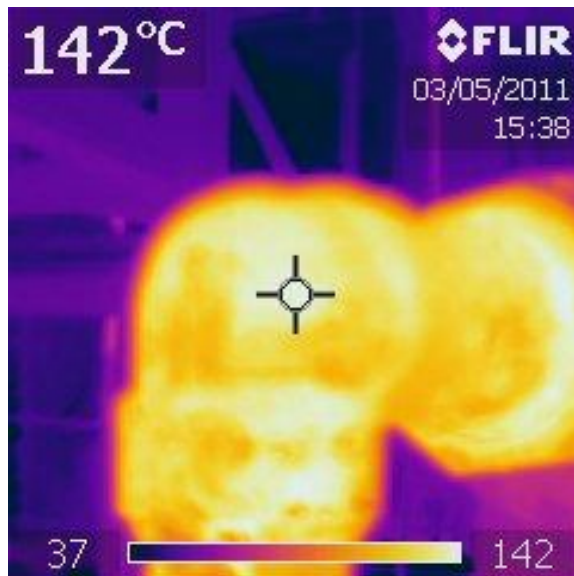
Este tanque es para consumo de las unidades de generación.

Tabla 2.3 Descripción de elementos tanque diario

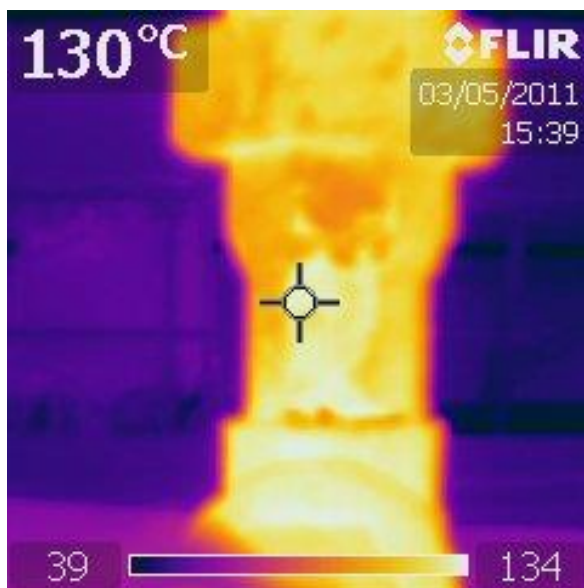
Punto	Tanque diario
Entrada de vapor al tanque (1)	Suministro al tanque
Salida de vapor al tanque (2)	
Antes (3)	Trampa de vapor
Después (4)	



Figura 2.6 Suministro de entrada/salida tanque diario



Punto 1: Entrada de vapor tanque diario.



Punto 2: Salida de vapor tanque diario una vez que el vapor entrega su energía al interior del tanque en los serpentines de calentamiento para combustible.

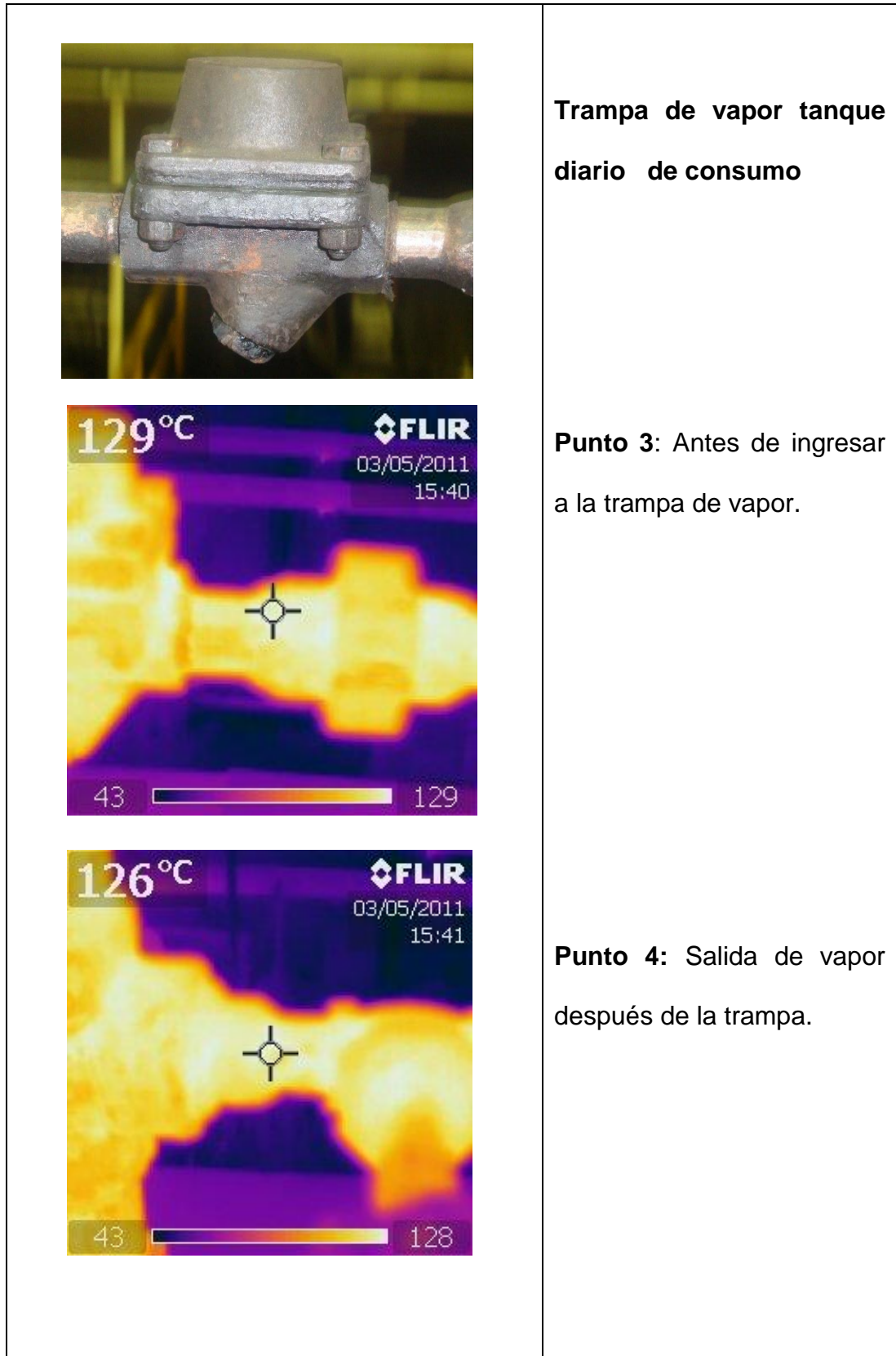


Figura 2.7 Imágenes térmicas en tanque diario

Ahora se procederá a verificar el cierre hermético de válvulas.

Se procede a realizar el cierre de válvulas en cada uno de los tanques durante 5 minutos para comprobar la hermeticidad de las mismas y asegurar para cuando se realice algún tipo de trabajo en las líneas después de las válvulas el trabajo sea seguro para la persona. Así mismo se escogió las tres válvulas principales de ingreso de vapor en los tanques principales y se toma imágenes térmicas antes y después de cerrar las válvulas.

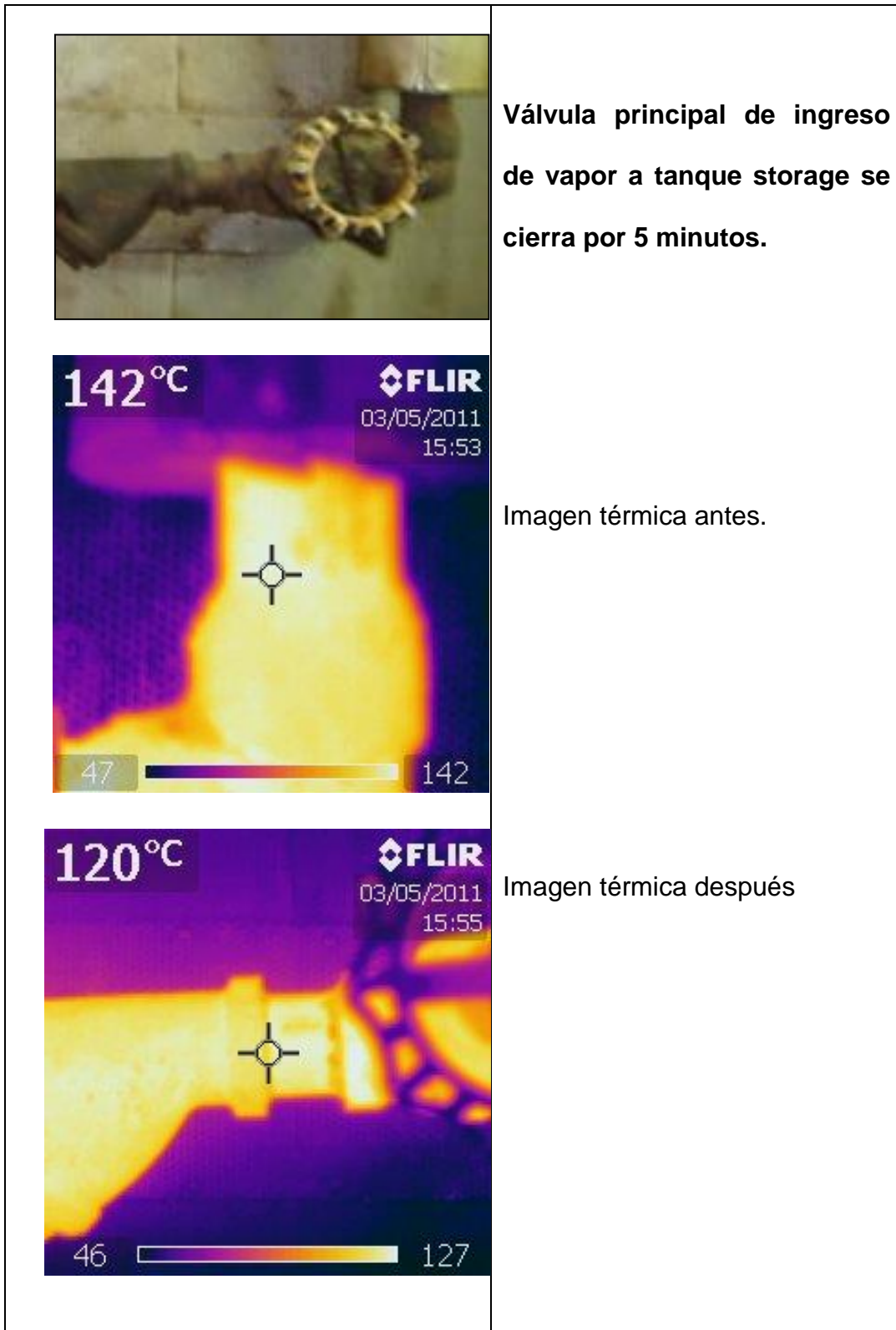


Figura 2.8 Imágenes térmicas de cierre de válvula tanque storage

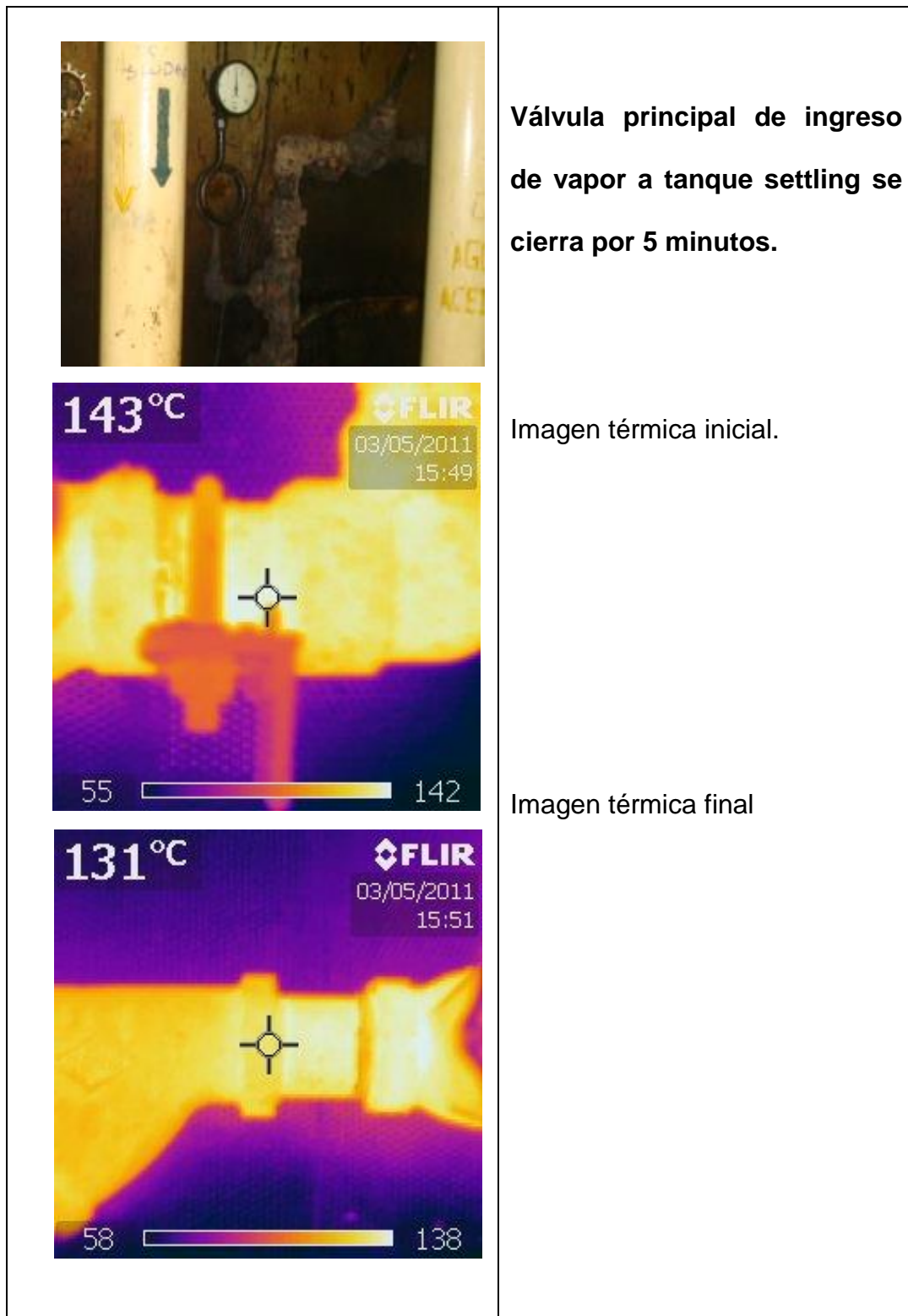


Figura 2.9 Imágenes térmicas de cierre de válvula tanque settling

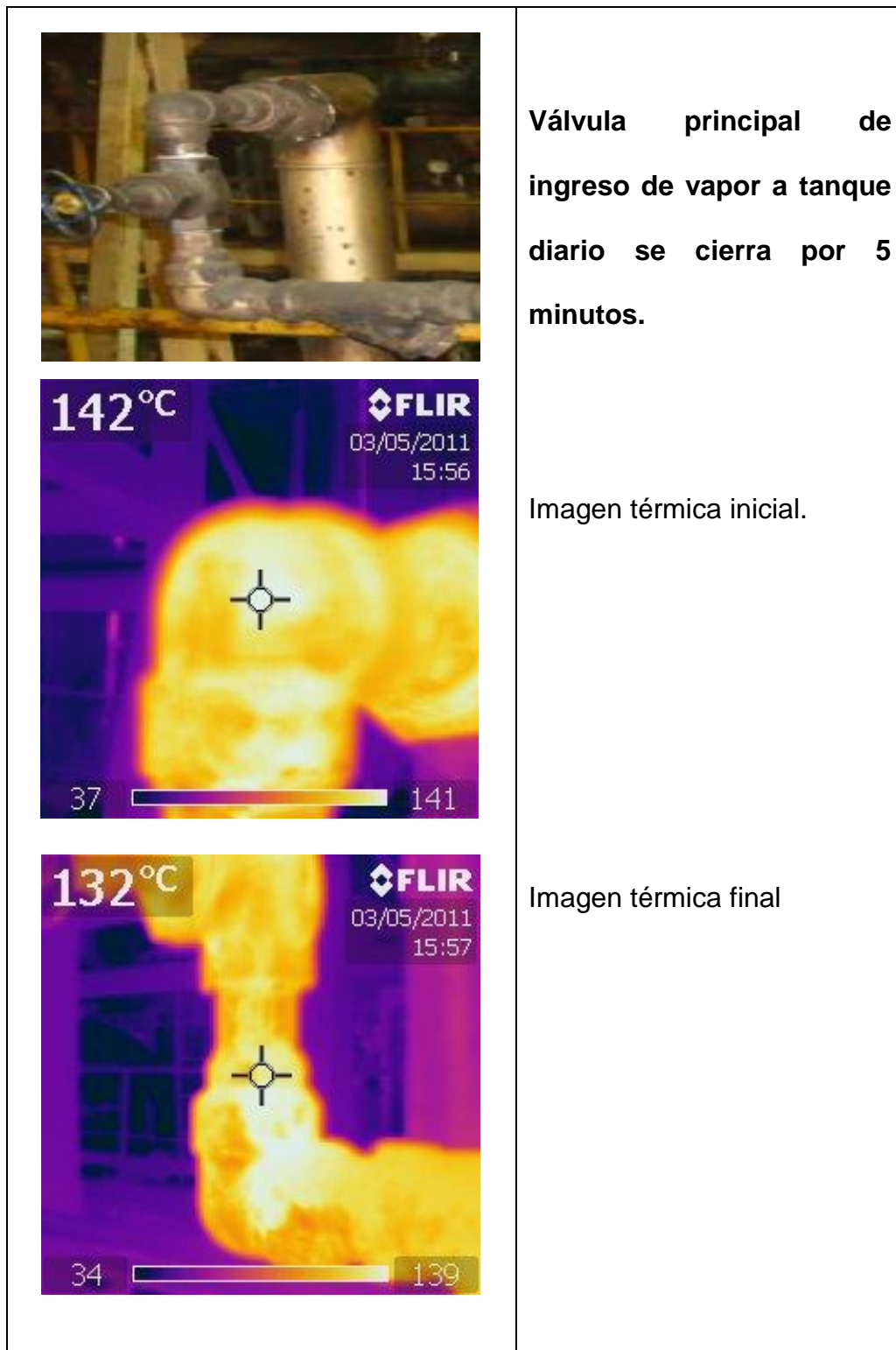


Figura 2.10 Imágenes térmicas de cierre de válvula tanque diario

2.3 Reconocimiento del intercambiador

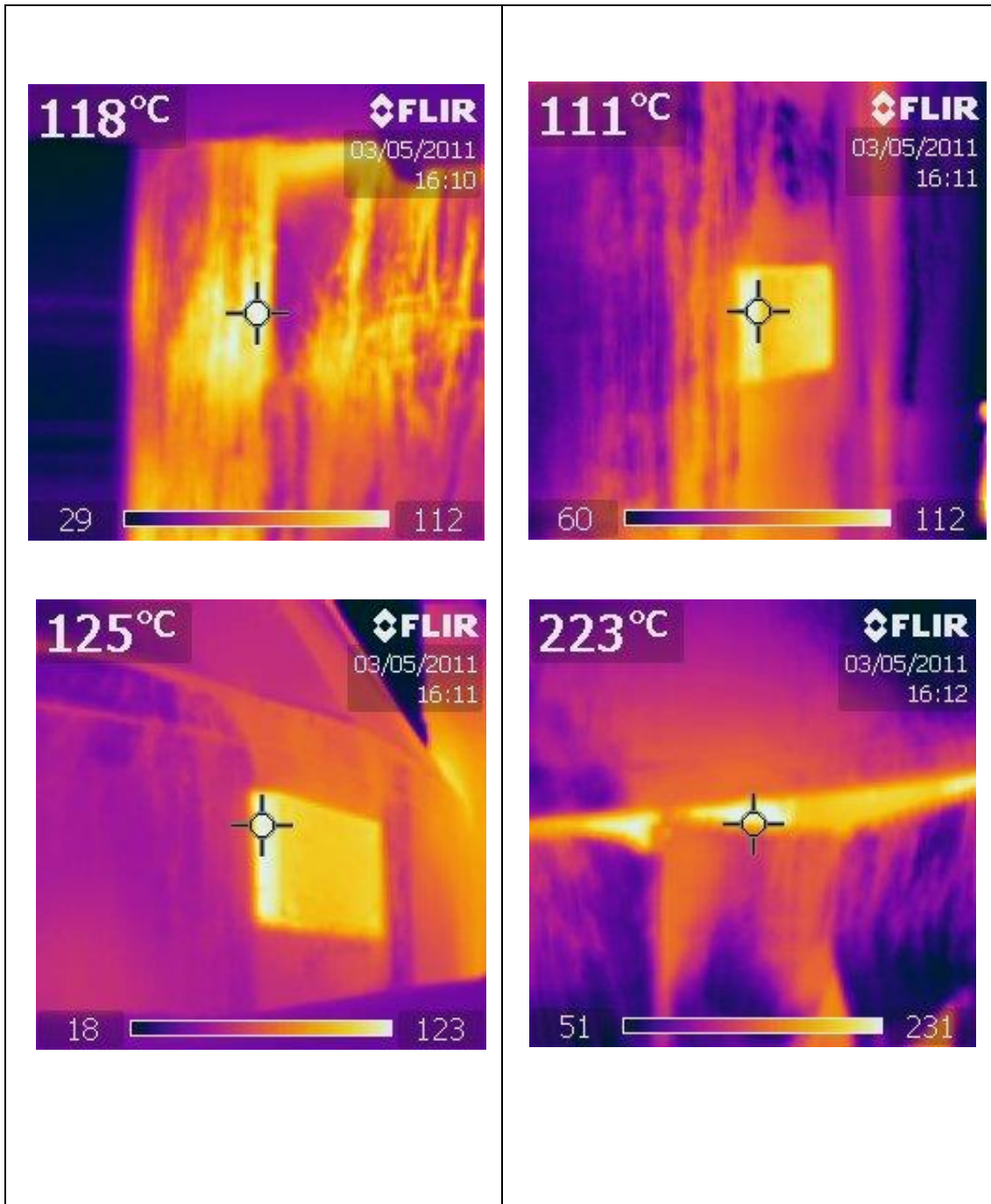
El intercambiador consta de cuatro serpentines dispuestos horizontalmente hacia los cuales se dirigen gases de escape producto de la combustión de un motor dirigidos por la chimenea de salida con temperaturas superiores a los 430°C , los cuales ingresan por su parte inferior, internamente dentro del serpentín circula agua, que al recibir esta temperatura externa produce la transferencia de calor obteniendo vapor en la salida de los serpentines.

La siguiente figura nos muestra el esquema al cual estamos refiriéndonos:



Figura 2.11 Esquema de funcionamiento del intercambiador de calor.

En el intercambiador se tomaron las siguientes imágenes térmicas en puntos aleatorios:



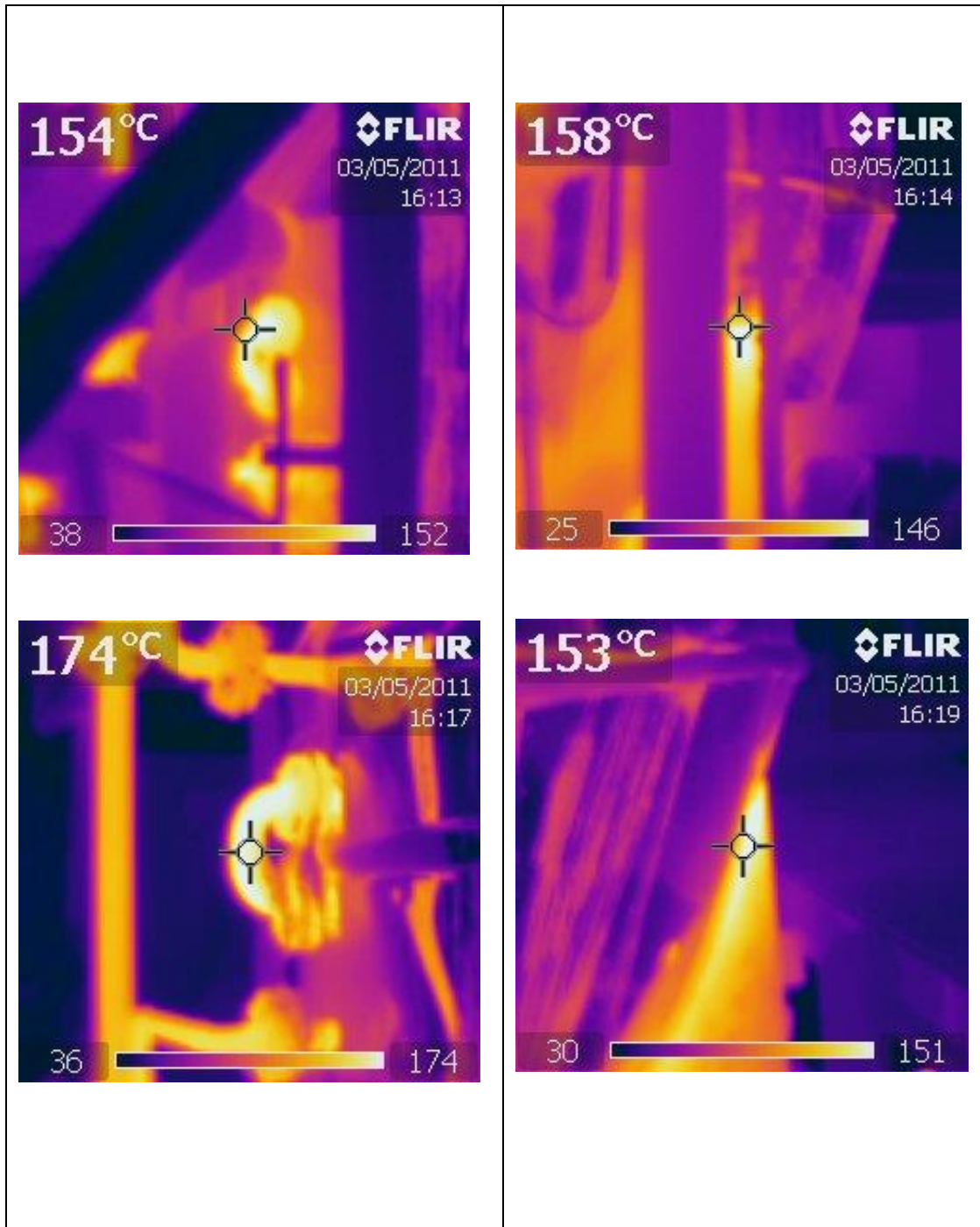


Figura 2.12 Imágenes térmicas exteriores del intercambiador de calor

2.4 Inspección en líneas de conducción

Las líneas de distribución del sistema de vapor en todo su trayecto no cuentan con su respectivo aislamiento térmico, se realizó un seguimiento a través de todo el sistema encontrando que ya hay tramos en donde el recubrimiento térmico está deteriorado y otros donde debería de haber para evitar pérdidas de calor por radiación hacia el ambiente. En los intercambiadores también existen puntos que deben protegerse con recubrimiento térmico pero al momento se encuentran expuestos al ambiente lo cual sumado a los demás puntos encontrados nos indican que está habiendo una importante pérdida de energía hacia el ambiente. A continuación señalamos algunos tramos en donde se ha deteriorado el recubrimiento térmico dentro del sistema:



Figura 2.13 Líneas de salida desde el intercambiador hacia el sistema

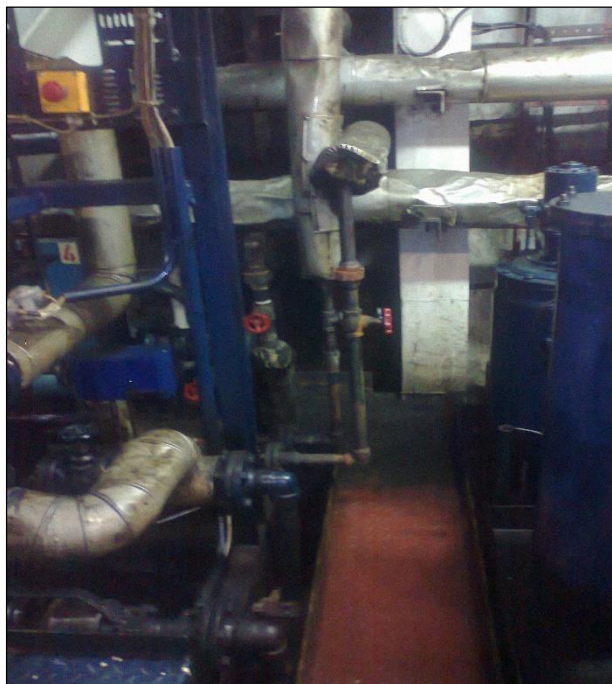


Figura 2.14 Líneas de entrada/salida de vapor en separador de aceite

2.5 Evaluación del sistema de tratamiento de agua.

El sistema de tratamiento de agua consta de un tanque dosificador el cual es dosificado con aislador de oxígeno y dos tanques ablandadores que reciben sales para eliminar minerales del agua. Luego de recibir este tratamiento de agua ingresan a un tanque reservorio denominado hotwell que sirve como suministro de agua para los intercambiadores de calor, este tanque hotwell también recibe todo el condensado acumulado del sistema luego de que el vapor realiza su trabajo.

A continuación se detalla los elementos que constituyen el sistema de tratamiento de agua:

- a) Tanque dosificador (producto químico para aislar O₂).
- b) Ablandadores (dosificado con sales para eliminar minerales).
- c) Tanque almacenamiento hotwell.

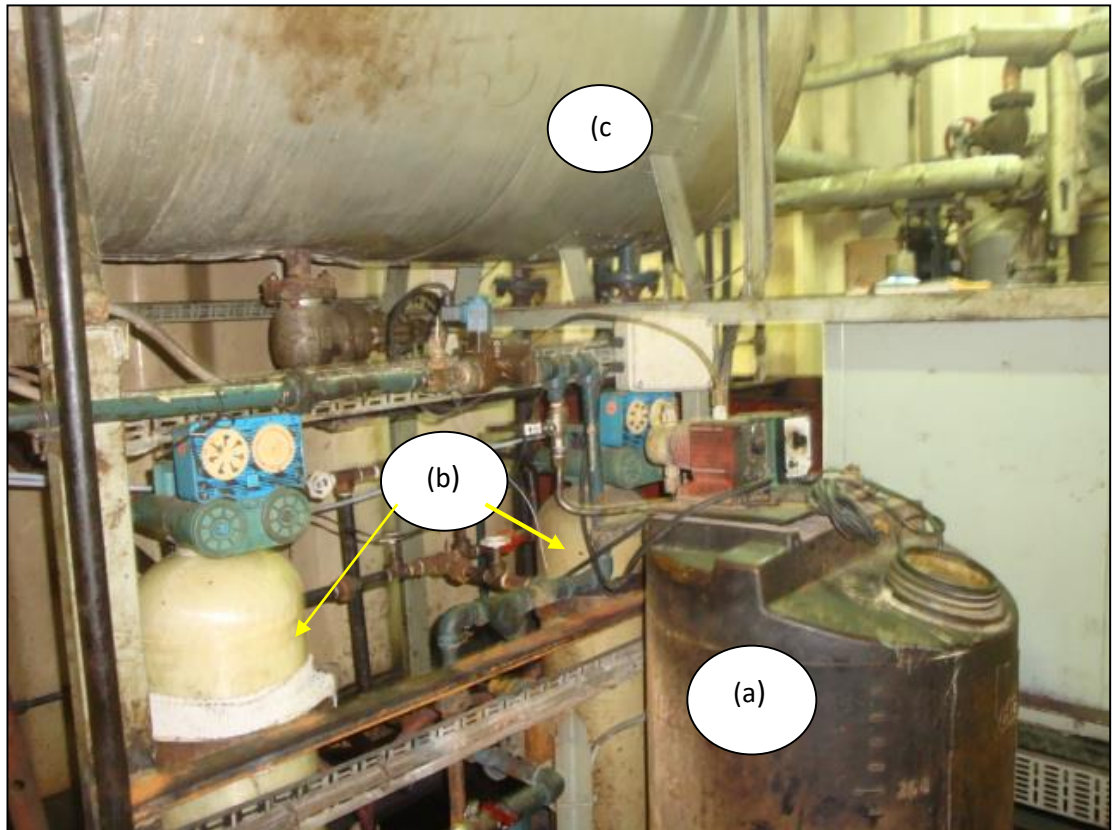


Figura 2.15 Descripción de elementos del sistema de tratamiento de agua.

Actualmente estos equipos se encuentran no operativos, es decir el agua no recibe ningún tipo de tratamiento antes de cambiar de fase. Cuando se ha realizado inspecciones por parte de mantenimiento debido a que se ha detectado alta presión de trabajo en líneas de conducción de vapor se ha detectado incrustaciones debido principalmente al no tratamiento de agua y en algunos casos cuando ha habido contaminación del sistema de vapor con combustible pesado (bunker) cuando en los calentadores individuales de combustible ocurre una fisura.



Figura 2.16 Contaminación por bunker en línea de vapor.



Figura 2.17 Formación de incrustaciones solidas debido a la falta de tratamiento de agua.

2.6 Inspección de instrumentos de medición y control

A partir de la evidencia fotográfica se puede observar que los instrumentos de control y medición y control están completamente deteriorados, instrumentos tales como:

- Manómetros de caratula.
- Termómetros tipo lápiz.
- Actuadores mecánicos de temperatura.
- Viscosímetro analógico.



Figura 2.18 Viscosímetro analógico deteriorado, no se puede medir viscosidad

CAPITULO 3

Cálculos de pérdidas de energía en intercambiador, tanques de combustible y válvulas principales

En este capítulo se presenta los cálculos que existen por pérdidas en cada uno de los componentes del sistema de vapor donde fueron capturadas las imágenes térmicas:

- Intercambiador de calor.
- Tanques de combustible: storage, settling, diario.

Los siguientes datos son valores normales de operación:

Capacidad de tanque de circulación del sistema de vapor: 1m^3

De 1m^3 la producción se genera con la mitad de la capacidad del tanque debido a que la compensación del mismo es cada 24 horas

Consumo diario (compensación) al tanque: $0,5\text{m}^3/24\text{h} = 0,02084\text{m}^3/\text{h}$

Presión de suministro de agua a los serpentines del recuperador: 4 bar.

Se calculó la cantidad de vapor que pierdo en cada elemento del cual fue tomada la imagen térmica, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación No. 1 $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (\text{kcal/h})$

Adicional se realiza un análisis en cuanto al cálculo de pérdidas de potencia emisiva y velocidad de pérdida de calor por unidad de longitud mediante las ecuaciones:

Potencia emisiva [E]: Utilizaremos la siguiente ecuación:

Ecuación No. 2 $E = \epsilon \sigma T_s^4$

σ : Constante de Stefan Boltzman, con un valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \text{ k}^4\text{]}$

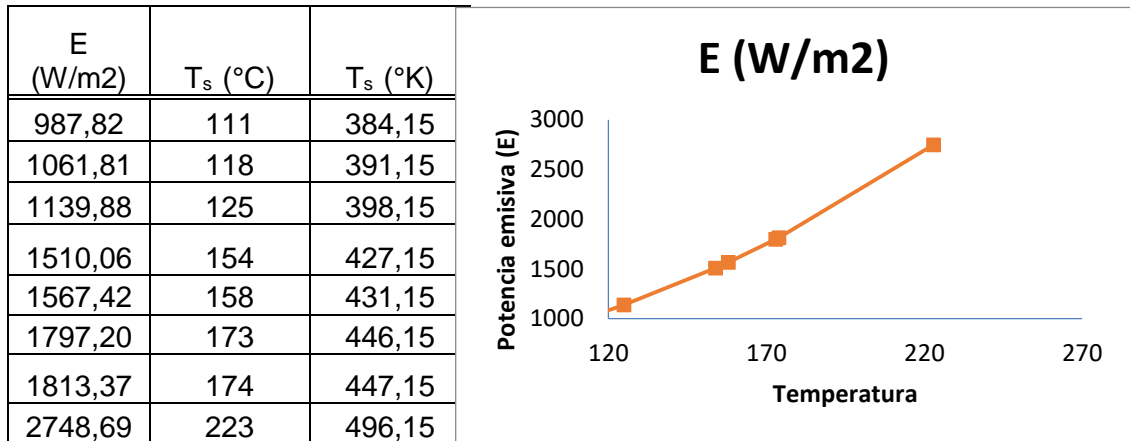
ϵ : Emisividad, se considera un valor de 0,8 (para materiales ferrosos el equipo considera como set point este valor)

T_s : Temperatura superficie [°K]

3.1 Pérdidas de energía en intercambiador de calor.

Los datos obtenidos y la evidencia fotográfica procederemos a calcular las pérdidas de energía de acuerdo a las imágenes obtenidas en el intercambiador de calor. Esto es:

Tabla 3.1 Calculo de E de acuerdo a valores de T_s capturado en imágenes térmicas.



3.2 Cálculo de pérdidas de calor en los elementos que constituyen el sistema de vapor.

A continuación se cuantificó las pérdidas por las trampas en cada uno de los tanques al haber detectado que las trampas no realizan su función de diseño.

Como se mencionó al inicio del capítulo el consumo diario de agua es un dato fijo, el consumo por otros sistemas (separadoras de aceite) es despreciable comparado con el volumen para la producción de vapor.

Al despreciar el consumo de agua por otros sistemas para cuestiones de cálculo se asignó del consumo de agua (0,5m³/24h) un porcentaje a cada uno de los tanques de acuerdo al volumen físico de los mismos:

- Tanque storage 40%
- Tanque settling 40%
- Tanque diario 20%

Partimos con los siguientes datos:

$C_{p\text{ agua}} = 130,41 \text{ kcal/ (kg}\cdot\text{°C) @ } 150\text{°C}$; $Densidad_{\text{ agua}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

La condición normal de operación de una trampa de vapor según el fabricante indica que se debería llegar a no más del valor del punto de ebullición del agua es decir $< 99\text{°C}$, para nuestro análisis se tomó este valor como límite máximo.

Primero se calculó la cantidad de agua por tanque de acuerdo al porcentaje asignado:

$Consumo_{\text{ agua}} = 0,5\text{m}^3/24\text{h} = 0,02084\text{m}^3/\text{h}$, asignando el respectivo porcentaje quedaría:

Tanques de combustible: Consumo de agua en m^3/h

Tabla 3.2 Porcentaje asignado de consumo de agua por cada tanque

Storage	0,008
Settling	0,008
Diario	0,004

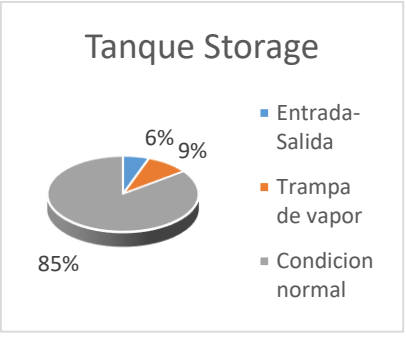
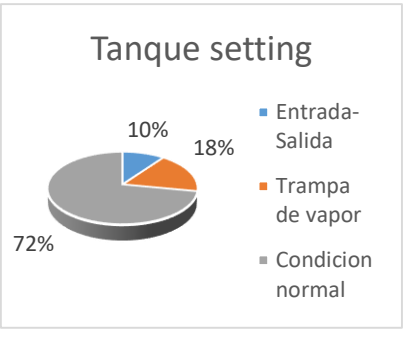
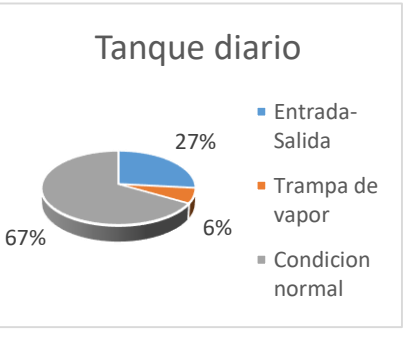
Evaluación de pérdidas de calor en cada tanque:

Tabla 3.3 Evaluación de pérdidas de acuerdo a las imágenes térmicas en los elementos de cada tanque.

Tanque	Descripción	ΔT (°C)	Q (kcal/h)
Storage	Entrada-Salida	3	3260,25
	Trampa de vapor	5	5433,74
	Condición normal	46	49990,45
Settling	Entrada-Salida	5	5433,74
	Trampa de vapor	9	9780,74
	Condición normal	36	19561,48
Diario	Entrada-Salida	8	8693,99
	Trampa de vapor	3	3260,25
	Condición normal	30	16301,23

El valor de **condición normal**, indica que este calor debería ser aprovechado por el tanque lo cual no está sucediendo ya que la trampa apenas alcanza a retener este valor, como lo demuestra el cálculo.

Tabla 3.4 Porcentaje de aprovechamiento de calor por tanque.

<p style="text-align: center;">Tanque Storage</p>  <p>A 3D pie chart titled 'Tanque Storage' showing the distribution of heat utilization. The largest slice is 'Condicion normal' at 85%, followed by 'Trampa de vapor' at 9%, and 'Entrada-Salida' at 6%.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Entrada-Salida</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>Trampa de vapor</td> <td>9%</td> </tr> <tr> <td>Condicion normal</td> <td>85%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Entrada-Salida	6%	Trampa de vapor	9%	Condicion normal	85%	<p>Con este porcentaje de perdida de calor (85%) que debería ser aprovechado en el interior del tanque vemos que apenas el (9%) es retenido por la trampa solo quedando un 3% de aprovechamiento al interior del tanque.</p>
Categoría	Porcentaje								
Entrada-Salida	6%								
Trampa de vapor	9%								
Condicion normal	85%								
<p style="text-align: center;">Tanque setting</p>  <p>A 3D pie chart titled 'Tanque setting' showing the distribution of heat utilization. The largest slice is 'Condicion normal' at 72%, followed by 'Trampa de vapor' at 18%, and 'Entrada-Salida' at 10%.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Entrada-Salida</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Trampa de vapor</td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td>Condicion normal</td> <td>72%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Entrada-Salida	10%	Trampa de vapor	18%	Condicion normal	72%	<p>Con este porcentaje de perdida de calor (72%) que debería ser aprovechado en el interior del tanque vemos que apenas el (18%) es retenido por la trampa solo quedando un 10% de aprovechamiento al interior del tanque.</p>
Categoría	Porcentaje								
Entrada-Salida	10%								
Trampa de vapor	18%								
Condicion normal	72%								
<p style="text-align: center;">Tanque diario</p>  <p>A 3D pie chart titled 'Tanque diario' showing the distribution of heat utilization. The largest slice is 'Condicion normal' at 67%, followed by 'Entrada-Salida' at 27%, and 'Trampa de vapor' at 6%.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Entrada-Salida</td> <td>27%</td> </tr> <tr> <td>Trampa de vapor</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>Condicion normal</td> <td>67%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Entrada-Salida	27%	Trampa de vapor	6%	Condicion normal	67%	<p>Con este porcentaje de perdida de calor (67%) que debería ser aprovechado en el interior del tanque vemos que apenas el (6%) es retenido por la trampa solo quedando un 27% de aprovechamiento al interior del tanque.</p>
Categoría	Porcentaje								
Entrada-Salida	27%								
Trampa de vapor	6%								
Condicion normal	67%								

Cerrando las válvulas para comprobación de hermeticidad en cada tanque obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3.5 Evaluación de pérdidas cerrando válvulas principales (comprobación de hermeticidad)

Tanque	Descripción	ΔT (°C)	Q (kcal/h)
Storage	Válvula cerrada	22	23908,47
Settling	Válvula cerrada	12	13040,99
Diario	Válvula cerrada	10	5433,74

Aun estando cerradas las válvulas por 5 minutos se aprecia una fuga de vapor es decir las válvulas no cierran herméticamente.

3.3 Control de sedimentos (monitoreo de material precipitado después de drenado)

El sistema actual cuenta con un recipiente colector de agua de condensado, está ubicado en la parte inferior del tanque hotwell, que es el que recibe todo el condensado cuando el vapor ya entregó su energía.

Actualmente se puede encontrar en el fondo del recipiente colector residuos que son producto de corrosión proveniente de todo el sistema de tuberías que conducen el vapor en la instalación, el mismo que al no recibir un correcto tratamiento químico el agua produce una corrosión agresiva

formando corrosión interna lo que ocasionan problemas en trampas y filtros dentro del sistema.

Esta agua residual es desechada junto con los desechos de hidrocarburo, agua que es prácticamente condensado con temperatura debería devolverse hacia el sistema y así evitaríamos tener que volver a calentar agua desde temperatura ambiente que llega desde costa.

3.4 Resultados obtenidos de acuerdo a toma de imágenes de termografía por tanques y válvulas de cada tanque.

Tabla 3.6 Evaluación de resultados por tanque.

Descripción	Tanque storage	Análisis
Entrada de vapor al tanque (1)	Suministro al tanque	150°C se aprecia que el vapor llega hacia el tanque una vez producido
Salida de vapor al tanque (2)		147°C notamos que el vapor no realiza entrega de energía apenas una mínima diferencia realiza su aporte en el tanque esto denota una falla existente.
Antes (3)	Trampa de vapor	145°C vapor saliendo del tanque con alta temperatura como en el

		punto anterior
Después (4)		140°C vapor está saliendo casi con la misma temperatura con la que entra al dispositivo, esto nos indica que el dispositivo no realiza su función para lo cual está diseñado.
Descripción	Tanque settling	Análisis
Entrada de vapor al tanque (1)	Suministro al tanque	142°C se aprecia que el vapor llega hacia el tanque una vez producido
Salida de vapor al tanque (2)		137°C notamos que el vapor no realiza entrega de energía apenas una mínima diferencia realiza su aporte en el tanque, desaprovecha calor.
Antes (3)	Trampa de vapor	135°C vapor saliendo del tanque con alta temperatura como en el punto anterior
Después (4)		124°C vapor está saliendo con una diferencia de apenas 11°C con la que entra al dispositivo,

		esto nos indica que el dispositivo no funciona
Descripción	Tanque diario	Análisis
Entrada de vapor al tanque (1)	Suministro al tanque	142°C se aprecia que el vapor llega hacia el tanque una vez producido
Salida de vapor al tanque (2)		130°C notamos que el vapor realiza una mínima entrega de energía apenas cae 12°C la temperatura realizando un mínimo calentamiento al tanque.
Antes (3)	Trampa de vapor	129°C vapor saliendo del tanque con alta temperatura como en el punto anterior
Después (4)		126°C vapor está saliendo con una diferencia de apenas 3°C con la que entra al dispositivo, esto nos indica que el dispositivo no funciona

Tabla 3.7 Análisis de cierre de válvulas

Tanque	Antes (°C)	Después (°C)	Análisis después de haber cerrado la válvula durante 5 minutos
Storage	142	120	No hay cierre hermético al permitir paso de vapor
Settling	143	131	No hay cierre hermético al permitir paso de vapor
Diario	142	132	No hay cierre hermético al permitir paso de vapor

Análisis del intercambiador en servicio:

Las imágenes térmicas nos muestran que la pérdida de temperatura hacia el medio ambiente es evidente, detectando imágenes con altas temperaturas mientras el intercambiador está en servicio, se determinó mediante inspección visual cuando el recuperador esta fuera de servicio que aislamiento térmico no existe solo queda recubrimiento metálico de protección, es por esto que en las imágenes se detecta esta alta temperatura. Incluso pone en riesgo la integridad física al haber circulación de personal de operaciones por esta zona que monitorea las instalaciones.

Los recuperadores cuentan con un soplador de hollín en la parte inferior que es utilizado cuando está en servicio el recuperador y un baño o ducha desde

la parte superior que se utiliza cuando el recuperador esta fuera de servicio. Ambos sistemas son utilizados con la finalidad de realizar desprendimiento de hollín y con esto mejorar la superficie de transferencia de calor. El soplador de hollín ubicado en la parte inferior recibe aire a presión de 6 bar e impacta sobre los serpentines y el hollín es llevado por los gases que van en el mismo sentido de salida hacia el exterior por la chimenea

Así mismo, cuando el recuperador no está produciendo vapor es decir está en stand by, se realiza una ducha desde la parte superior para de esta manera desprender la mayor cantidad de material adherido a la superficie de calentamiento.

Actualmente el sistema de soplado de hollín no está habilitado y hay que esperar que la unidad salga fuera de servicio para poder realizar la ducha ya que como los serpentines se encuentran a alta temperatura no podemos dejar caer agua a temperatura ambiente porque produciría cambios en la estructura del material de los serpentines.

Capítulo 4

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones luego del análisis de los elementos del sistema de vapor.

- a) En cada uno de los tanques ya se determinó que la pérdida de energía por la trampa es muy significativa:
 - a. Tanque storage: 85% de pérdida de energía calorífica.
 - b. Tanque settling: 72% de pérdida de energía calorífica.
 - c. Tanque diario: 67% de pérdida de energía calorífica.

Esta energía no se aprovecha en los tanques debido a que las trampas realizan un mínimo aporte para lo cual están diseñadas, nos indica ya la obsolescencia o deterioro de las mismas. Esta pérdida muy significativa disminuye el aprovechamiento del vapor en cada tanque.

- b) Después del estudio se tomó la decisión por parte de los directivos el cambio de la válvula del tanque storage dando un sellado hermético, pudiendo prescindir de suministro de vapor al tanque storage por tiempos (horario matutino) permitiendo cerrar el paso de vapor para de esta manera darle prioridad al tanque diario.

- c) En la inspección de los recubrimientos térmicos de las líneas de conducción de vapor el 70% del sistema necesita cambio total de recubrimiento. Hay tramos de recubrimiento térmico en las líneas los cuales ya ha cumplido su vida útil.
- d) Al no contar con el soplador de hollín habilitado la transferencia de calor disminuye debido a que en los serpentines se deposita incrustaciones de hollín impidiendo una correcta transferencia de calor hacia el agua que circula internamente.
- e) El sistema de tratamiento de agua (ablandador, dosificador) como se corroboro no está en funcionamiento ante lo cual se hace imprescindible habilitar este sistema para poder mejorar la calidad de agua destinada a la generación de vapor. El deterioro de la tubería por una corrosión agresiva se evidencio.
- f) Una mayor ocurrencia en la frecuencia de mantenimientos preventivos en inyectores y turbinas se viene dando debido a la acumulación de hollín proveniente de una mala combustión al tener baja temperatura.
- g) Como se evidencia en la muestra fotográfica los instrumentos de medición están deteriorados, por lo tanto no podemos mantener la confiabilidad de la generación de vapor al no poder visualizar los parámetros de operación en sitio.

4.2 Recomendaciones

Ante la evidencia de imágenes y análisis de las mismas se realizan las siguientes recomendaciones:

- a) En las condiciones actuales se debería ya realizar de manera urgente mediciones de espesor en líneas de conducción es decir medir espesor de tuberías para ir viendo la posibilidad de cambio de tuberías de conducción de vapor.
- b) El no tratamiento y monitoreo continuo de agua condujo a un agresivo proceso corrosivo en las líneas de vapor.
- c) Las fallas en los calentadores de combustibles (heaters) también aportaron a que las líneas de conducción se obstruyan impidiendo el paso de condensado.
- d) Planificar el cambio y monitoreo de instrumentos de control visuales con su respectivo mantenimiento programado de instrumentación.
- e) Elaborar una hoja de control para puntos en los principales consumidores de vapor para monitorear mediante presión y temperatura, los cuales deben ser comparados con el diagrama Presión-Entalpia.

- f) Integrar al sistema de monitoreo SCADA el sistema de vapor para tener un mejor control del sistema de producción de vapor.
- g) El intercambiador de calor necesita nuevo recubrimiento térmico acorde a las imágenes donde se muestra una excesiva pérdida de calor hacia el medio ambiente.
- h) En las actuales condiciones se necesita direccionar el vapor al tanque diario ya que es la última etapa donde el combustible está estacionario antes de pasar a la inyección. Esto se pudo realizar debido al cambio de válvula de entrada de vapor al tanque storage. Pudiendo dirigir la mayor cantidad de vapor hacia el tanque diario con lo cual se logró mejorar la temperatura de inyección a 120°C.
- i) Las líneas de conducción de vapor necesitan ser cambiadas el recubrimiento térmico en la mayor parte de sus tramos un 75% aproximadamente.
- j) Solicitar al despachador de combustible que se bombee con 50°C el combustible y no con 40°C como se lo hace actualmente, esta solicitud se realiza ya que se cuenta con un caldero auxiliar en el área de despacho.
- k) Según la conclusión de que las trampas de vapor están deterioradas se recomienda de forma inmediata el cambio.
- l) El cambio de las trampas de vapor permitiría mejorar el tiempo de aprovechamiento de vapor en los tanques de combustible, es decir

mejor calentamiento de los mismos al tener mayor recuperación de vapor.

- m) El condensado que se drena hacia la tina recolectora debe reutilizarse para aprovechar la energía calorífica que traen.
- n) Evitar drenar el condensado hacia las sentinas donde ya en forma inmediata se mezcla con desperdicios de hidrocarburos.
- o) Cuando se detecta algún tipo de contaminación por combustible en los calentadores, se necesita realizar una limpieza total del sistema con productos específicos que no deterioren las líneas de vapor.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fundamentos de transferencia de calor, cuarta edición, FRANK P. INCROPERA-DAVID P. De WITT, Pearson Prentice Hall, capítulo 11, intercambiadores de calor
2. FLIR SYSTEM, Manual de usuario, Infra Cam año 2009
3. Manual de usuario para trampas de vapor, LA LLAVE, año publicación 2009
4. Guía para la termografía en mantenimiento, www.fener.com
5. Termodinámica FAIRES/SIMMANG, capítulo 7, procesos en los fluidos.
6. Aislamiento térmico y acústico, Miguel Paya Andrés 2007
7. Guía de termografía para mantenimiento predictivo FLIR, año 2009
8. Análisis termografico TRC Madrid, www.trc.es
9. Aplicaciones de termografía en mantenimiento industrial, www.adler-instrumentos.es,