

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO Y PROPUESTA PARA CONSERVACIÓN DE  
ENERGÍA EN EL SISTEMA DE VAPOR DE LA REFINADORA  
COSTARRICENSE DE PETRÓLEO EN LA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO  
Y DISTRIBUCIÓN EL ALTO DE OCHOMOGO, CARTAGO**

**Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la  
Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Mecánica  
para optar al grado y título de Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica  
con énfasis en Sistemas Térmicos y de Energía**

**CARLOS HUMBERTO SALAS NÚÑEZ**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica**

**2011**

## **DEDICATORIA**

A mis hijos Carlos Humberto Salas Durán y Alejandro Salas Durán, con la esperanza de que les sirva de ejemplo en sus vidas.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Ingeniera Leonora De Lemos, por el apoyo brindado, no solo en materia técnica sino moral, sobre todo en los últimos días de la realización de este trabajo.

Al Ingeniero Fernando Chanto Jarquín por su asesoría técnica en el tema.

Al Físico Carlos Acosta Nassar y al Ingeniero Jorge Alberto Rojas Montero, lectores del presente trabajo.

A todas las personas que en mayor o menor grado colaboraron con la realización de este trabajo.



SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
TRABAJO FINAL DE INVESTIGACIÓN APLICADA  
Acta 588-2011

Dra. Gabriela Marín Raventós  
Decana

Estimada señora:

Le informamos que **Carlos Humberto Salas Núñez** carné universitario A66615 del Programa de Posgrado en Ingeniería Mecánica, en la Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica con énfasis en Sistemas Térmicos y de Energía.



aprobó



reprobó

su trabajo final de investigación aplicada el día **11 de marzo del 2011**, con el proyecto titulado: **DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO Y PROPUESTA PARA CONSERVACIÓN DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE VAPOR DE LA REFINADORA COSTARRICENSE DE PETRÓLEO EN LA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EL ALTO DE OCHOMOGO, CARTAGO.**

TRIBUNAL EXAMINADOR

Nombre	Firma	Cédula
M.Sc. Juan Gabriel Monge Gapper Representante de la Decana del SEP		4-165-432
Magister Leonora De Lemos Medina Profesora Guía		109320006
Magister Carlos Acosta Nassar Lector		
M.Sc. Jorge Rojas Montero Lector		10546 0779 1 0369 0459
Magister Jhymer Rojas Vásquez Director del Programa de Posgrado		2-488-638
Graduando		1743586
OBSERVACIONES		

Nota: En cada caso, firmarán el acta solamente los responsables de la actividad descrita.

Garantía de excelencia

## ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	ii
Hoja de Aprobación.....	iii
Resumen.....	viii
Lista de Tablas.....	ix
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Abreviaturas.....	xiv
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción al tema.....	1
1.2 Justificación del tema.....	1
1.3 Objetivos.....	10
1.4 Definiciones.....	11
1.5 Delimitaciones.....	14
1.6 Limitaciones.....	14
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Definición de Auditoría Energética.....	16
2.2 Objetivo de una auditoría energética.....	17
2.3 Tipos de Auditorías Energéticas.....	18
2.4 Auditoría Nivel I: Auditoría Energética Preliminar.....	18
2.5 Auditoría Nivel II: Auditoría Energética Detallada.....	18
2.6 Desarrollo de una auditoría energética de nivel II orientada hacia un programa de conservación y uso racional de la energía .....	19
2.7 Metodología para el análisis energético de un establecimiento de consumo según norma INTE 19-4-01-94.....	32

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	36
3.1 Tipo de investigación.....	36
3.2 Participantes y su selección.....	36
3.3 Instrumentos.....	36
3.4 Procedimientos.....	38
3.5 Análisis de la información recolectada.....	40
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	41
4.1 Descripción general del proceso de producción de emulsión asfáltica....	41
4.2 Descripción general del sistema de vapor.....	47
4.3 Información recolectada del proceso.....	50
4.3.1 Datos de operación de las calderas.....	50
4.3.2 Consumo de combustible (búnker C) de las calderas.....	51
4.3.3 Flujos volumétricos anuales de productos en el sistema.....	53
4.3.4 Índices energéticos para la producción de emulsión asfáltica.....	54
4.4 Mediciones de campo.....	56
4.4.1 Medición de la eficiencia de combustión en base seca de las calderas.....	56
4.4.2 Medición del retorno de condensado del sistema.....	57
4.4.3 Medición de la purga continua de las calderas.....	60
4.4.4 Medición indirecta de las principales fugas de vapor.....	61
4.4.5 Medición de las dimensiones de los tanques de almacenamiento y sus aislamientos térmicos. ....	63
4.4.6 Medición de las dimensiones de las tuberías de trasiego de vapor, búnker y asfalto, y sus aislamientos térmicos a efectos de realizar los cálculos de pérdidas de calor respectivos.....	65
4.5 Cálculo de la energía de entrada al sistema.....	69
4.6 Cálculo de la energía aprovechable en el sistema.....	70

4.7 Cálculo de la pérdida de energía debido a la eficiencia de combustión de las calderas.....	71
4.8 Cálculo de la pérdida de energía debido a la purga continua de las calderas.....	72
4.9 Cálculo de la pérdida de energía por radiación en las calderas.....	73
4.10 Cálculo de la pérdida de energía debido a las principales fugas de vapor en el sistema.....	74
4.11 Cálculo de las pérdidas de energía en tanques de almacenamiento.....	82
4.12 Cálculo de las pérdidas de energía en las tuberías del sistema.....	85
4.13 Estimación de la pérdida de energía a través de las trampas de vapor del sistema.....	87
4.14 Cálculo de la energía necesaria para el calentamiento de los diferentes productos que se almacenan y procesan en el sistema.....	89
4.15 Cálculo de la energía necesaria para calentar el agua de alimentación de las calderas a la temperatura deseada.....	91
4.16 Balance de energía del sistema.....	92
4.17 Balance de masa del sistema.....	96
4.18 Balances de energía y masa de los componentes del sistema.....	98
4.19 Cálculo del ahorro de energía debido a mejoras en el aislamiento térmico de los tanques de almacenamiento.....	110
4.20 Cálculo del ahorro de energía debido a mejoras en el aislamiento térmico de las tuberías del sistema de vapor y planta de emulsiones.....	111
4.21 Cálculo del ahorro de energía debido al mejoramiento de la eficiencia de combustión de las calderas.....	112
4.22 Cálculo de la energía ahorrada al mejorar el retorno de condensado a las calderas y aumentar la temperatura de alimentación de agua.....	113
4.23 Cálculo del ahorro de energía por la reparación o sustitución de trampas de vapor en mal estado.....	114
4.24 Resumen de las principales oportunidades de conservación de energía (OCE's) y ahorro económico identificados en el sistema.....	114

4.25 Descripción general del estado de conservación de las instalaciones...	116
4.25.1 Estado general de las calderas.....	116
4.25.2 Estado general de los aislamientos del sistema de tuberías.....	119
4.25.3 Trampeo de vapor en el sistema.....	125
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
5.1 Discusión.....	128
5.2 Conclusiones.....	138
5.3 Recomendaciones.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	146
ANEXOS.....	149
ANEXO A.....	150
ANEXO B.....	155
ANEXO C.....	158
ANEXO D.....	161
ANEXO E.....	175
ANEXO F.....	178

## RESUMEN

El presente Trabajo Final de Investigación Aplicada consiste en la realización de una auditoría energética detallada o de nivel 2, en el sistema de vapor de la Terminal de Almacenamiento y Distribución de Combustibles El Alto, de la Refinería Costarricense de Petróleo S.A., ubicada en El Alto de Ochomogo, San Nicolás de Cartago.

La investigación está dirigida a determinar la forma en que se utiliza la energía térmica generada en las calderas, en el proceso de almacenamiento y venta de productos negros como el búnker y el asfalto, así como en la elaboración, almacenamiento y venta de emulsión catiónica de rompimiento rápido, lo anterior, con la finalidad de identificar aquellos sumideros de energía más importantes, y todas las ineficiencias asociadas al proceso, en busca de identificar las oportunidades de conservación, que permitan el establecimiento de un programa de uso racional y administración de la energía, a través del cual, se implementen las acciones de mejora necesarias para hacer un mejor aprovechamiento de la energía disponible en el sistema, la reducción de costos de operación, y la reducción de emisiones a la atmósfera como consecuencia de un menor consumo de combustibles fósiles en el proceso.

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Consumo y Costo Total de la Energía Terminal de Almacenamiento y Distribución El Alto, RECOPE S.A.	8
Tabla 3.1 Equipos de Medición Portátiles	37
Tabla 4.1 Componentes de la Emulsión Asfáltica	46
Tabla 4.2 Inventario de Equipos de Generación de Energía	47
Tabla 4.3 Valores Promedio Parámetros de Operación de las Calderas	50
Tabla 4.4 Consumo de Búnker C Calderas UB 414 Y UB 415	51
Tabla 4.5 Flujos Volumétricos Anuales Promedio Productos y Materias Primas Planta de Emulsiones	53
Tabla 4.6 Índices Energéticos para la Producción de Emulsión Asfáltica	54
Tabla 4.7 Medición de los Gases de Combustión de las Calderas	56
Tabla 4.8 Medición del Volumen y Cálculo del Retorno de Condensado Ramal Tanque 118	57
Tabla 4.9 Medición del Volumen y Cálculo del Retorno de Condensado Ramal Planta de Emulsiones	58
Tabla 4.10 Total Retorno de Condensado Plantel El Alto	60
Tabla 4.11 Medición y Cálculo del Caudal de Purga Continua	61
Tabla 4.12 Medición Indirecta de las Principales Fugas de Vapor	62
Tabla 4.13 Estimación Indirecta de la Fuga de Vapor - Tubería de Trazado de Línea Principal De Búnker	63
Tabla 4.14 Dimensiones de Tanques de Almacenamiento y sus Aislamientos	64
Tabla 4.15 Dimensiones de Tuberías de Trasiego de Vapor y sus Aislamientos	66
Tabla 4.16 Dimensiones de Tuberías de Trasiego de Búnker C y sus Aislamientos	67

Tabla 4.17	Dimensiones de Tuberías de Trasiego de Asfalto y sus Aislamientos	68
Tabla 4.18	Pérdidas de Calor en Tanques de Almacenamiento - Aislamiento Actual	84
Tabla 4.19	Pérdidas de Calor en Tuberías - Sistema de Vapor y Planta de Emulsiones (Aislamiento Actual)	86
Tabla 4.20	Calor Demandado para el Calentamiento de los Productos que Ingresan al Sistema	90
Tabla 4.21	Balance de Energía del Sistema	94
Tabla 4.22	Balance de Energía y Masa de los Componentes del Sistema	99
Tabla 4.23	Ahorro de Energía Debido a Mejoras en el Aislamiento Térmico - Tanques 5 y 8 (Aislamiento Recomendado)	110
Tabla 4.24	Ahorro de Energía Debido a Mejoras en el Aislamiento Térmico de las Tuberías del Sistema de Vapor y Planta de Emulsiones	111
Tabla 4.25	Principales Oportunidades de Conservación de Energía y Ahorro Económico Identificados en el Sistema	115
Tabla A.1	Recibo de Búnker C	149
Tabla A.2	Consumo de Búnker C – Planta de Emulsiones	149
Tabla A.3	Recibo de Asfalto AC 30 (Por Tanque)	150
Tabla A.4	Recibo de Asfalto AC 30 (Total)	151
Tabla A.5	Consumo de Asfalto AC 30 – Planta de Emulsiones	151
Tabla A.6	Producción de Emulsión Asfáltica	152
Tabla B.1	Pérdida de Calor en Tanques de Almacenamiento – Aislamiento Actual	154
Tabla B.2	Pérdida de Calor en Tanques de Almacenamiento – Aislamiento Actual (Continuación)	155
Tabla C.1	Pérdida de Calor en Tuberías - Aislamiento Actual (Caldera UB 414)	157

Tabla C.2	Pérdida de Calor en Tuberías - Aislamiento Actual (Caldera UB 415)	158
Tablas D.1 a D.8	Información de Trampas de Vapor (Páginas 1 a 8)	160-167
Tablas D.9 a D.13	Reporte de Inspección de Trampas de Vapor (Páginas 1 a 5)	168-172
Tabla E.1	Ahorro de Energía al Mejorar Aislamiento Térmico de Tuberías (Caldera UB 414)	174
Tabla E.2	Ahorro de Energía al Mejorar Aislamiento Térmico de Tuberías (Caldera UB 415)	175
Tabla F.1	Inventario de Trampas de Vapor del Sistema	177

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Consumo y Costo Total de la Energía - Terminal de Almacenamiento y Distribución El Alto, RECOPE S.A.	8
Figura 4.1	Diagrama Simplificado del Sistema de Vapor y Planta de Emulsiones Asfálticas	42
Figura 4.2	Diagrama Simplificado de la Producción de Emulsión Asfáltica	46
Figura 4.3	Plano General Sistema de Vapor y Planta de Emulsiones Plantel El Alto – RECOPE	49
Figura 4.4	Consumo Mensual de Búnker C - Calderas UB 414 y UB 415	52
Figura 4.5	Índices Energéticos para la Producción de Emulsión Asfáltica	55
Figura 4.6	Esquema del Tanque de Recolección de Condensados Dimensiones y Niveles de Líquido	59
Figura 4.7	Fuga N° 1: Fuga en Válvula de Entrada de Vapor, Tanque 118	74
Figura 4.8	Fuga N° 2: Fuga en Traza de Vapor de Tubería de Salida de Búnker C, Tanque 118	76
Figura 4.9	Fuga N° 3: Fuga en Trampa de Vapor del Tanque 112	78
Figura 4.10	Fuga N° 4: Fuga en Traza de Vapor en Tubería de Salida de Búnker C del Tanque 118	80
Figura 4.11	Condición de Operación de las Trampas de Vapor del Sistema	88
Figura 4.12	Balance de Energía del Sistema	95
Figura 4.13	Balance de Masa del Sistema	97
Figura 4.14	Balance de Energía y Masa - Caldera UB 414	100
Figura 4.15	Balance de Energía y Masa - Caldera UB 415	101
Figura 4.16	Balance de Energía y Masa Tanque 118	102

Figura 4.17	Balance de Energía y Masa Tanque 112	103
Figura 4.18	Balance de Energía y Masa Tanque 113	104
Figura 4.19	Balance de Energía y Masa Tanque 114	105
Figura 4.20	Balance de Energía y Masa Tanque 150	106
Figura 4.21	Balance de Energía y Masa Tanques 151, 152, 153 Y 154	107
Figura 4.22	Balance de Energía y Masa Tanques 5 Y 8	108
Figura 4.23	Balance de Energía y Masa Tanque Alimentación de Agua a las Calderas	109
Figura 4.24	Caldera Acuatubular UB 414	117
Figura 4.25	Caldera Igneotubular UB 415	118
Figura 4.26	Aislamientos Térmicos en Mal Estado Tuberías Cuarto Calderas – Dique TK 150 – Planta de Emulsiones	120
Figura 4.27	Aislamientos Térmicos en Mal Estado Tuberías de Búnker del TK 118	121
Figura 4.28	Aislamientos Térmicos en Mal Estado Tuberías afueras del Dique del TK 118	122
Figura 4.29	Válvulas del Cabezal de Descarga de Vapor y Sobrecalentador de Caldera UB 414 sin Aislamiento Térmico	123
Figura 4.30	Refuerzos Estructurales y Tapas de Registros de Tanques sin Aislamiento Térmico	124
Figura 4.31	Trampa Termodinámica en Mal Estado Afueras Dique TK 150 - Falla en Posición Abierta	126
Figura 4.32	Trampas Termodinámicas en Mal Estado Planta de Emulsiones - Falla en Posición Cerrada	127

## LISTA DE ABREVIATURAS

%VI	Porcentaje de vapor instantáneo
$\dot{Q}$	Flujo de energía
$\dot{V}$	Caudal
□	Colón
$\Delta h$	Cambio de entalpía específica
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
$\mu S$	Micro Siemens
A	Área
A / L	Área / Longitud
Aeq	Área equivalente
Ap	Área paredes
At	Área techo
At	Área total
BTU	Unidad térmica británica (British Thermal Unit)
Cal	Caloría
conden	Condensación
D	Diámetro
D.S.E.	Dirección Sectorial de Energía
dc	Densidad del búnker
df	Densidad de condensado de fugas
Dnom	Diámetro nominal
dp	Densidad de agua de purgas
e	Espesor aislamiento
E	Eficiencia de combustión de caldera
Ec	Ecuación
Em	Eficiencia de combustión mejorada de caldera

enfria	Enfriamiento
f	Coeficiente de conductividad película de aire
ft	Pie
G.E.I.	Gases Efecto Invernadero
gal	Galón
h	Hora
h	Altura
h	Entalpía específica
H	Horas de operación al año
hal	Entalpía específica agua alimentación
hc	Entalpía específica condensados
hf	Entalpía específica del líquido
hfg	Calor latente o cambio de entalpía gas - líquido
hg	Entalpía específica del gas
HHV	Poder calorífico superior del búnker
hr	Entalpía específica agua de reposición
ICAITI	Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial
INTECO	Instituto Nacional de Normas Técnicas
J	Julio
k	Conductividad térmica a temperatura media
kg	Kilogramo
L	Longitud
L	Litro
lb	Libra
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mc	Flujo de masa de búnker
mc	Flujo de masa de condensados
mf	Flujo de masa de condensado debido a fugas
MINAET	Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones

mm	Milímetro
mp	Flujo de masa purgas
mr	Flujo de masa agua de reposición
mt	Flujo de masa de agua total
mtram	Flujo de masa de vapor perdido por trampas
mv	Flujo de masa de vapor
OCE	Oportunidad de Conservación de Energía
P	Presión absoluta
P vapor	Presión vapor
Pa	Pascal
Patm	Presión atmosférica
ppm	Partes por millón
Prom.	Promedio
PRONACE	Programa Nacional de Conservación de Energía
psig	Libra por pulgada cuadrada manométrica
PSR	Periodo Simple de Recuperación
pulg	Pulgada
Qahorrado	Flujo de energía ahorrado
Qap	Flujo de energía aprovechable
Qd	Flujo de energía demandado
Qe	Flujo de energía de entrada
Qef	Flujo de energía perdida debido a eficiencia de combustión de la caldera
Qrc	Flujo de energía perdido debido a radiación en la caldera
Qena	Flujo de energía necesaria para calentar agua de alimentación
Qf	Flujo de energía perdido debido a fugas
Qpur	Flujo de energía perdido debido a purgas
Qtot	Flujo de energía total
Qtram	Flujo de energía perdida debido a trampas
r1	Radio externo

RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
rs	Radio superficial
t	Tiempo de operación
T agua alim.	Temperatura agua alimentación calderas
T Búnker	Temperatura búnker
T Chim.	Temperatura gases chimenea
T cond.	Temperatura condensado
T vapor	Temperatura vapor
T1	Temperatura superficie caliente
Ta	Temperatura ambiente
Tc	Temperatura promedio atomización búnker
Tf	Temperatura de condensado debido a fugas
To	Temperatura inicial
Tp	Temperatura agua de purgas
tp	Tiempo de purga
U	Coefficiente global de transferencia de calor
V	Volumen
Vc	Caudal de búnker
Vf	Caudal de condensado debido a fugas
Vp	Caudal de purgas
VPN	Valor Presente Neto
W	Watts
$\eta$	Eficiencia global intercambiador de calor

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Introducción al tema.**

A raíz de la crisis petrolera de los años 70, se evidenció la dependencia energética de muchas empresas alrededor del mundo, cuya supervivencia se vio en grave riesgo al aumentar abruptamente el costo de los energéticos.

Esta crisis motivó que las empresas desde su administración, incentivaran la racionalización del consumo energético. Los estudios técnico–económicos mostraron que podía reducirse el consumo de energía y se aplicaron medidas en este sentido en empresas grandes y medianas del sector de mayor dependencia energética principalmente.

La optimización energética se fue alcanzando mediante una serie de esfuerzos conjuntos como la realización de auditorías energéticas, introducción de equipos y procedimientos más eficientes y esquemas de financiación que permitieron rebajar la dependencia energética de las empresas.

### **1.2 Justificación del tema.**

Durante las últimas décadas, las crisis energéticas han golpeado cada vez más la economía de las naciones, lo que ha generado la necesidad de hacer un uso racional de la energía en cualquiera de sus manifestaciones conocidas.

Desde 1994, nuestro país cuenta con legislación tendiente al uso racional de la energía, a saber la Ley N° 7447 (Regulación del Uso Racional de la Energía), la cual fue reglamentada en 1996. Su propósito fundamental es consolidar la participación del Estado en la promoción y ejecución del programa de uso racional de la energía, estableciendo mecanismos para lograr su uso eficiente, y

sustituyéndolos cuando convenga al país, lo anterior, considerando la protección del ambiente.

Dichos mecanismos, están basados fundamentalmente en tres postulados:

- La obligación de ejecutar proyectos de uso racional de la energía a las empresas de alto consumo.
- El control sobre los equipos y las instalaciones que incidan en la demanda energética.
- El sistema de plaqueo de equipos o artículos que informe a los usuarios sobre su consumo energético.

Es por esto que RECOPE como empresa estatal, y como una de las empresas de alto consumo energético del país, se encuentra en la obligación legal de tener en operación un programa permanente de conservación de energía en todos sus procesos, para lo cual tiene el deber de realizar auditorías energéticas con el objetivo de determinar proyectos tendientes a un uso racional de la energía.

Por otra parte, al ser un monopolio estatal sobre la importación, refinación y distribución de combustibles derivados del petróleo, responsable del abastecimiento del 58% de la energía total consumida en el país (Balance Energético de Costa Rica, D.S.E., 2006), tiene la obligación de servir de modelo, propiciando así una “cultura de ahorro” en el resto de la industria, comercio y consumidores en general, de tal forma, que logre disminuir la creciente dependencia de combustibles fósiles en el país, y coadyuve a reducir la contaminación ambiental en el planeta.

Consecuentemente, existe para RECOPE una preocupación y responsabilidad adicional relacionada con el consumo de energéticos en general, y sobre todo, con el consumo de combustibles fósiles, que es el impacto ambiental.

Esta responsabilidad y obligación legal se encuentra plasmada en el Reglamento de la Ley 7447, al exigir a las instituciones públicas la elaboración de estrategias

tendientes a reducir el aporte de gases de efecto invernadero (G.E.I.), lo anterior en acato a las disposiciones del Decreto Ejecutivo N° 23537 del 24 de agosto de 1994.

Por lo anterior, RECOPE, consciente de la problemática del cambio climático a nivel mundial, y en cumplimiento de las directrices del Gobierno de la República generadas a raíz del lanzamiento oficial en Julio del 2007 de la iniciativa “Paz con la Naturaleza”, mediante el Acta de Consejo de Gobierno N° 56 del 1° de agosto de 2007, ha retomado acciones tendientes a disminuir el impacto de la contaminación ambiental a nivel global, para lo cual desarrolló durante el año 2007 el llamado Plan de Cambio Climático 2008, aprobado por la Junta Directiva en sesión ordinaria # 4211-167 del miércoles 21 de noviembre de 2007, y remitido al MINAET mediante oficio P-1915-2007 del día 29 de noviembre del 2007, en el cual se proponen una serie de acciones tendientes a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, muchas de las cuales van de la mano con las acciones tendientes al uso racional de la energía en la empresa.

Algunas de las metas establecidas en el Plan de Cambio Climático 2008 propuesto por RECOPE son las siguientes:

- “Promover programas de eficiencia energética.”
- “Contar con un inventario de la curva de consumo de energía eléctrica y de combustibles por mes a partir del 2008, por cada proceso de la empresa (refinación, logística y apoyo).”
- “Se cuenta con un inventario de los G.E.I. y otros gases nocivos para la salud, según los procesos de la Empresa.”
- “Se cuenta con una campaña en operación sobre el uso racional de los combustibles.”
- “Se desarrolla un programa de uso eficiente de energía (eléctrica y de combustibles) en la empresa (oficinas, planteles y estaciones de bombeo).”

A raíz de lo anterior, y a que se detecta un rezago o estancamiento en las gestiones relacionadas en cuanto al uso racional de la energía en la empresa, la administración de RECOPE gira instrucciones para que a través de la Dirección de Planificación, se determinen las acciones necesarias para poner al día sus obligaciones legales con el MINAET, para lo cual se han establecido las siguientes acciones en el corto plazo:

- Restablecer el comité de conservación de energía (abril 2009).
- Actualizar el Programa de Conservación de Energía del 2001 para el MINAET (mayo 2009).
- Preparar informe trimestral de consumo de energía y combustibles para el MINAET (incluye informe de rendimiento de vehículos), (mayo 2009).
- Preparar propuesta del nuevo Programa de Conservación de Energía (junio 2009).
- Implementar Directriz sobre uso eficiente de energía y otros recursos de la empresa. (Circular P-241-2003 del 19 de febrero del 2003, en la cual se emite por parte de la Presidencia de RECOPE, una serie de instrucciones específicas a las Gerencias de Área y otras dependencias para la identificación, planeación, desarrollo, ejecución, seguimiento y control de las medidas de conservación de energía en RECOPE.)

Para la elaboración de la propuesta del nuevo Programa de Conservación de Energía de RECOPE 2009, se deben considerar y actualizar los objetivos del Programa de Conservación de Energía de RECOPE del 2001, los cuales se transcriben a continuación:

#### Objetivo General

- “Promover en la Empresa la adquisición adecuada y el uso eficiente de la energía en maquinaria, equipos y vehículos, ubicados tanto en el área administrativa de los diferentes planteles y edificios, como en el proceso de refinación y en las estaciones de bombeo y distribución de combustibles.”

### Objetivos específicos

- “Mantener informado al personal de la Empresa de los proyectos y acciones que se realizan como parte del Programa del uso eficiente de la energía en el ámbito nacional y empresarial.”
- “Identificar oportunidades de uso eficiente de energía en los planteles y edificios de la Empresa.”
- “Ejecutar acciones que permitan la conservación de la energía en la operación de equipos y en los procesos de la Empresa.”
- “Incentivar al personal para que tanto dentro de la Empresa como en sus actividades privadas desarrolle y ponga en práctica nuevos hábitos en pro del uso eficiente de la energía.”
- “Incorporar medidas de conservación de energía en todos los procesos de diseño de la Empresa.”
- “Incentivar la sustitución paulatina de equipos obsoletos desde el punto de vista energético.”

Asimismo, se debe considerar los objetivos del Plan Estratégico de RECOPE 2009-2013.

### Objetivo N° 2

- “Fortalecer la empresa para que sea competitiva. Mejorar la gestión, eficiencia y productividad de sus procesos, alineando lo operativo con lo estratégico, para que sus índices de desempeño sean reconocidos como los más altos de la región.”

### Indicadores del objetivo

- “Índice de intensidad energética por proceso (Benchmarking con refinerías de la región).”

### Meta 2.7

- “Alcanzar precios competitivos en función de la eficiencia de la empresa. Mejoramiento en la determinación de los factores que afectan el precio del producto final.”

#### Actividad 2.7.2

- “Evaluación del ciclo de producción y comercialización para determinar los factores más importantes que inciden en los costos de los combustibles.”

Todos estos esfuerzos están asociados al Programa Nacional de Conservación de Energía (PRONACE 2001-2006), el cual establece responsabilidades específicas para RECOPE, dentro de las cuales se mencionan las siguientes:

- “Auditorías energéticas.”
- “Uso eficiente de la energía en el proceso de distribución de combustibles.”
- “Mantenimiento de edificios e instalaciones.”
- “Identificar oportunidades para hacer un uso eficiente de la energía, tanto en procesos productivos de la Empresa, como en los edificios administrativos ocupados por el personal de la Institución.”
- “Identificar e implementar, en cada uno de los procesos de distribución, las oportunidades que permitan hacer un uso más eficiente de la energía, tanto en las instalaciones de planteles y oleoductos, como en el proceso de trasiego y carga de camiones cisterna.”

De esta forma, todas estas iniciativas están ligadas al objetivo N° 5 del Plan Nacional de Energía 2008-2021:

- “Impulsar un consumo energético eficiente en todos los sectores de los bienes y servicios energéticos con calidad y continuidad; para lo cual se promoverá una política de precios congruente con la oferta y demanda de energía, el uso de equipos con tecnologías más eficientes, así como una mayor cultura de conservación y uso racional de la energía.”

#### Líneas estratégicas de la Política Energética 2006 – 2010:

- “Impulsar con mayor fuerza los programas de ahorro y uso eficiente de la energía.”
- “Desarrollar una cultura de uso racional de energía en todos los sectores y el empleo de tecnologías eficientes y ambientalmente amigables.”
- “Fomento de una cultura regional de consumo racional y eficiente de energía, haciendo énfasis en la reducción de las fuentes energéticas importadas y en la de las emisiones de gases de efecto invernadero.”
- “Desarrollo de planes y programas de conservación y uso racional de energía que coadyuven al mejoramiento de la eficiencia energética de los equipos y sistemas que utilizan los diversos sectores del país.”

Como parte de los esfuerzos más importantes realizados en la Gerencia de Distribución y Ventas en este sentido, a finales del 2004 se llevó a cabo una auditoría energética en todos los planteles, incluyendo la Terminal de Almacenamiento y Distribución El Alto de Ochomogo, la cual arrojó algunas oportunidades de conservación de energía, y de ahorros en la facturación eléctrica, que han venido implementándose durante los últimos años, sin embargo, dicho estudio se enfocó principalmente al uso de la energía eléctrica, quedando pendiente un diagnóstico energético detallado del sistema de vapor.

Según estimaciones preliminares, el consumo de búnker C en el sistema de vapor representa un 84% del consumo anual de la energía del plantel, y un 96% de su costo.

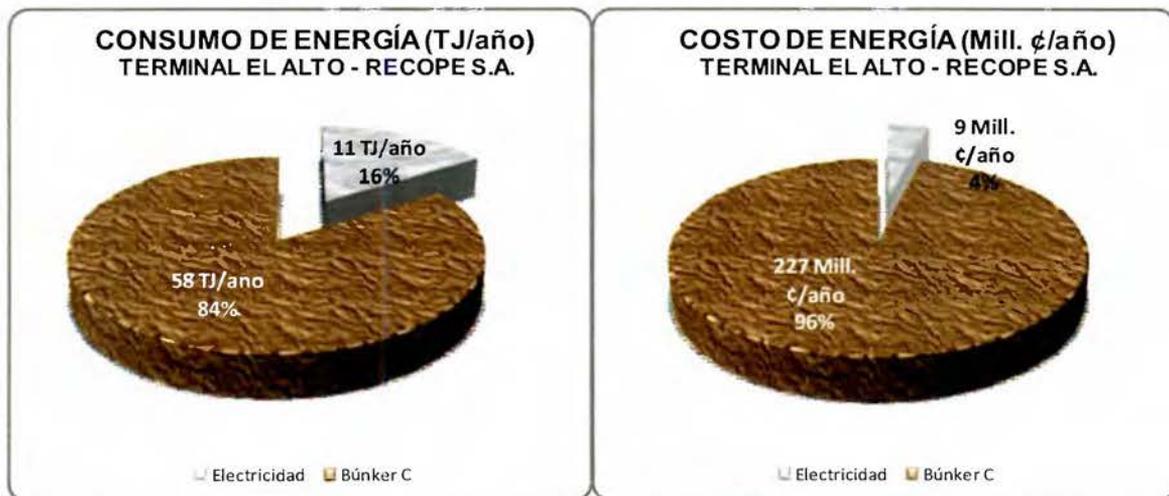
La siguiente tabla muestra el consumo de energía total del plantel El Alto en Tera Julios (TJ), haciendo la distinción entre consumo eléctrico y consumo de búnker C.

**TABLA N° 1.1**  
**CONSUMO Y COSTO TOTAL DE LA ENERGÍA**  
**TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EL ALTO, RECOPE S.A.**

TIPO DE ENERGÍA	CONSUMO PROMEDIO			COSTO PROMEDIO	
	kW-h/año	TJ/año	%	¢/año	%
Electricidad <sup>1</sup>	3 052 143	11	16%	9 185 155,00	4%
Búnker C <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /año	TJ/año	%	¢/año	%
	1 487	58	84%	227 360 889,28	96%
<b>TOTAL</b>		<b>69</b>	<b>100%</b>	<b>236 546 044,28</b>	<b>100%</b>

Fuente: El autor

Asimismo, en la figura 1.1 se puede observar gráficamente la información sobre el consumo y costo de la energía en dicho plantel.



**FIGURA 1.1**  
**CONSUMO Y COSTO TOTAL DE LA ENERGÍA**  
**TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EL ALTO, RECOPE S.A.**

Fuente: El Autor

Por lo anteriormente expuesto, se propuso el presente proyecto, el cual se considera de vital importancia para RECOPE, ya que el sistema de vapor de la Terminal El Alto constituye el principal foco de consumo energético de esta terminal, y por lo tanto, representa un gran potencial de conservación de energía y de reducción de los efectos negativos del uso de combustibles fósiles al medio ambiente.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar un diagnóstico sobre el uso de la energía térmica en la Terminal de Almacenamiento y Distribución El Alto de Ochomogo, identificar y cuantificar las oportunidades de ahorro energético en el sistema.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Realizar una descripción detallada del proceso donde se genera y consume el vapor y determinar el estado general de las instalaciones.
2. Realizar un inventario de las fuentes de generación de vapor (calderas) y de los principales focos de consumo.
3. Cuantificar las pérdidas de calor en las calderas, tanques de almacenamiento y red de distribución de vapor (tuberías y accesorios).
4. Realizar el balance energético y de masa del sistema con la finalidad de identificar los puntos de mayor consumo energético.
5. Determinar la eficiencia global del sistema cuando se utiliza la caldera de tubos de agua y la caldera de tubos de fuego.
6. Definir los índices energéticos físicos iniciales del proceso de producción de emulsiones asfálticas.
7. Determinar las principales oportunidades de conservación de energía en el sistema.

## 1.4 Definiciones

### **Asfalto:**

Material termoplástico, de composición química compleja, obtenido como residuo del proceso de refinación del petróleo crudo. Es un material muy importante en la industria de la construcción debido a sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, además de su bajo costo.

Dentro de sus aplicaciones se encuentran las carpetas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes, etc. Su amplio uso en la construcción de carreteras se debe en gran parte a su bajo costo, y a sus propiedades de hidrofobicidad y resistencia a la intemperie.

Puede ser descrito como una mezcla compleja de hidrocarburos, cuya composición química se reporta en términos de dos fracciones fundamentales, la fracción pesada o asfaltenos con pesos moleculares entre 4000 y 7000, y la fracción ligera o maltenos, con pesos moleculares de 700 a 4000.

La fracción malténica puede subdividirse en tres fracciones principales, parafinas, con pesos moleculares de 600 a 1000, resinas de 1000 a 2000 y los aceites aromáticos de 2000 a 4000.

El asfalto es un material anisotrópico, discontinuo y heterogéneo, considerado como un material coloidal, constituido por micelas con tamaños cercanos a la micra o fase asfáltica, las cuales se encuentran suspendidas en una fase aceitosa de alta viscosidad o fase malténica.

La micro estructura del asfalto está definida por la cantidad de micelas, la distribución de tamaños de las partículas que forman la fase discreta, y las interacciones físico – químicas entre ellas.

El asfalto es un material muy susceptible a los cambios de temperatura, y se envejece con la exposición prolongada a la intemperie, también se ve afectado por la oxidación y la degradación por exposición a la luz.

Sus propiedades mecánicas son pobres, es frágil y quebradizo a bajas temperaturas y fluye a una temperatura ligeramente mayor a la temperatura ambiente, además, tiene una baja recuperación elástica.

**Emulsión:**

Es una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, que no son miscibles entre si, y se encuentran unidos por un emulsificante, emulgente o emulsionante. Están formadas por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, donde una es llamada fase continua o dispersante y la otra fase discreta o dispersa.

Por lo general, el tamaño de la fase discreta de una emulsión tiene una dimensión lineal entre 1 nm y 1  $\mu\text{m}$ .

**Emulsificante:**

Un emulsificante es un compuesto orgánico de peso molecular relativamente grande, que oscila entre 100 y 300, que contiene una parte hidrofóbica, que es soluble en el medio orgánico (asfalto) y una parte hidrofílica soluble en un medio acuoso. Por lo general se encuentran compuestos por un radical alkilo R, el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, los cuales se encuentran saponificados y al tener contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante, y dando así origen al nombre de la emulsión como emulsión aniónica o catiónica.

**Emulsiones asfálticas:**

Las emulsiones asfálticas están compuestas por dos líquidos no miscibles que son el agua y el asfalto, adicionalmente contienen un emulgente, el cual se deposita entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión.

**Emulsión asfáltica catiónica:**

Es un tipo de emulsión asfáltica en el que el emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos que la conforman, o sea, que adquieren una carga positiva.

**Molino coloidal:**

Es un equipo rotativo utilizado para fabricar emulsiones, que consta de un cuerpo o carcasa dentro de la cual se encuentra un rotor y un estator. La parte móvil o rotor, se haya montada sobre el eje del motor y la parte fija (estator), y se desliza dentro del cuerpo del molino. El espacio entre el rotor y el estator debe ser lo más ajustado posible para obtener la mejor calidad de la emulsión.

### **1.5 Delimitaciones**

La auditoría energética detallada que se llevó a cabo en las instalaciones de RECOPE S.A., abarcó únicamente el sistema de generación y distribución de vapor (energía térmica), utilizado para el almacenamiento de los productos de alta viscosidad que se manejan en la planta de emulsiones asfálticas de la Terminal de Almacenamiento y Distribución, El Alto de Ochomogo.

Dicho diagnóstico, no abarcó otro tipo de instalaciones, ni consideró ningún otro tipo de energía presente en los procesos que se realizan en esta terminal, como lo es la energía eléctrica.

El contenido de este diagnóstico se pretende utilizar como insumo para el establecimiento de acciones concretas tendientes al uso racional de la energía, específicamente al consumo de búnker C, asimismo, pretende coadyuvar a reducir la emisión de gases de efecto invernadero (G.E.I.) en las instalaciones del plantel El Alto de Ochomogo, todo lo anterior, como parte integral del Programa Permanente de Conservación de Energía y el Plan de Cambio Climático Institucionales.

### **1.6 Limitaciones**

Para la realización de este trabajo, se presentaron una gran cantidad de inconvenientes, principalmente de orden técnico, que podrían afectar la calidad de los resultados obtenidos en el estudio, dentro de los cuales se enuncian los siguientes:

- Antigüedad de las instalaciones. La planta de Emulsiones Asfálticas del Plantel El Alto, fue construida en el año 1984, por lo que la mayoría de los equipos e instalaciones son antiguos y han sufrido múltiples reparaciones y modificaciones.

- Falta de planos generales de la planta actualizados. Existe muy poca información documental sobre las instalaciones, sobre todo, en cuanto a la distribución de tuberías. Los cambios realizados a través de los años, no han sido debidamente registrados.
- Gran diversidad en los materiales aislantes de tuberías y tanques de almacenamiento, tanto en el tipo de material propiamente dicho, como en los espesores utilizados en el sistema.
- Complejidad en la distribución de las tuberías de la planta.
- Falta de equipos de medición de consumo de búnker, agua fresca, retorno de condensados en las calderas.
- Falta de equipos de medición confiables para el control de inventarios en los tanques de almacenamiento y en el proceso de elaboración de las emulsiones asfálticas. Las mediciones de volumen se llevan a cabo de forma manual mediante cintas, midiendo tanto espacios libres como nivel de líquido en los tanques, y aplicando tablas de calibración con los respectivos factores de corrección por temperatura.
- Dificultades operativas debido a la falta de planificación sobre el uso de las dos calderas del sistema.
- Dispersión de la información relacionada con el proceso, registros de datos de operación de las calderas, recibo de materias primas, producción y ventas.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En la actualidad, debido a los altos costos de la energía, el hombre se ha visto en la necesidad de implementar medidas tendientes a optimizar el uso de los recursos energéticos, siendo los sistemas de vapor uno de los principales focos de atención, debido al alto consumo de energía que representan, y al alto grado de utilización del vapor en la mayor parte de los procesos industriales.

Como parte de estos esfuerzos, las industrias se han abocado a implementar sistemas de gestión o administración de los recursos energéticos los cuales constan de las siguientes etapas:

- Compromiso de la Gerencia y Administración de la Empresa.
- Conformación de un Comité de Conservación de Energía.
- Realización de la Auditoría Energética.
- Elaboración de un Plan de Ejecución.
- Seguimiento al Programa

En este trabajo, se hará énfasis en el desarrollo de la tercera etapa, la Auditoría Energética.

### **2.1 Definición de Auditoría Energética**

“Es un análisis progresivo que revela dónde y cómo se usa y factura la energía en establecimiento consumidor de energía, además debe recomendar las acciones a tomar para mejorar la eficiencia de su consumo.” (Reglamento para la Regulación del Uso Racional de la Energía, 1996)

La auditoría energética es un instrumento que persigue varios fines simultáneamente, como son: determinar el ajuste de las unidades productivas a las prescripciones legales, aumentar la eficiencia del consumo energético en ellas, y contribuir a la modernización del aparato productivo con miras a un corto y mediano plazo.

## **2.2 Objetivo de una auditoría energética**

La finalidad de una auditoría energética es recomendar acciones para utilizar racionalmente la energía. Es una herramienta que permite obtener el conocimiento necesario sobre una planta, o proceso, que permita expresar en forma cuantitativa su operación, con el objetivo de determinar las acciones necesarias para reducir los costos mediante una utilización óptima de la energía.

Las auditorías energéticas constituyen el instrumento idóneo para llevar a cabo un estudio integral en dichos sistemas, de tal forma que permiten conocer a cabalidad cómo se está utilizando la energía en un establecimiento industrial, identificar los principales focos de consumo, y determinar las potenciales oportunidades de conservación en el sistema, lo que redundará en un beneficio económico para la empresa.

Un beneficio adicional que se obtiene al realizar acciones tendientes al uso racional de la energía en una industria es la protección del ambiente, ya que existe una relación sencilla relacionada con la utilización de la energía que es la siguiente:

$$\text{Energía del Combustible} = \text{Energía Aprovechada} + \text{Contaminación} \quad [\text{Ec 2.1}]$$

Por lo tanto, entre mayor sea aprovechada la energía, menor será la contaminación producida al quemar un combustible.

### **2.3 Tipos de Auditorías Energéticas**

En nuestra región se manejan básicamente dos tipos de auditorías clasificadas según el grado de profundidad con que se lleva a cabo el diagnóstico energético, las cuales fueron definidas hace algunos años por el ICAITI (Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial). Se diferencian básicamente en el grado de profundidad con que se realiza el estudio energético.

#### **2.4 Auditoría Nivel I: Auditoría Energética Preliminar**

Su objetivo es promover la conservación de energía en la empresa, consiste en una visita rápida a la planta de no más de un día de duración, por lo general. En dicha visita se hace un recorrido general y se determina de manera preliminar las oportunidades de conservación de energía. Culmina con un reporte cuya estructura básica consiste de una introducción, descripción general de la planta, datos del consumo de energía, oportunidades de conservación de energía identificadas, tanto de implementación inmediata como las potenciales, y por último un apartado de recomendaciones generales. En este momento, se determina también la necesidad de proseguir con un estudio más detallado o auditoría nivel II en el establecimiento.

De acuerdo con los requerimientos de la norma INTE 19-4-01-94, en este tipo de auditoría se deben establecer balances energéticos de conjunto y por sección del establecimiento para un período de referencia dado.

#### **2.5 Auditoría Nivel II: Auditoría Energética Detallada**

Su objetivo es establecer un programa de conservación de energía en toda su dimensión. Se lleva a cabo mediante visitas de mayor duración a la planta, donde en primera instancia se hace un estudio o análisis detallado de los procesos, se

realizan mediciones de parámetros energéticos y/o de producción, para finalmente identificar y cuantificar las oportunidades de conservación de energía (OCE's) en la empresa. Este estudio culmina con un reporte el cual debe contener al menos los siguientes apartados: introducción, evaluación, resumen ejecutivo, plan de ejecución, descripción detallada de la planta y sus procesos, balances de energía y masa del proceso, descripción y evaluación de las OCE's, y por último un apartado de recomendaciones generales, recomendaciones específicas, y los apéndices.

De acuerdo con los requerimientos de la norma INTE 19-4-01-94, en este tipo de auditoría se selecciona, en todo o en parte, las secciones de producción analizadas en el nivel I, uno o varios equipos u operaciones energéticas elementales, que formen parte del grupo de equipos de mayor consumo energético de la planta, con la finalidad establecer un balance característico.

## **2.6 Desarrollo de una auditoría energética de nivel II orientada hacia un programa de conservación y uso racional de la energía.**

La ejecución de una auditoría energética de nivel II debe ser realizada observando los siguientes pasos:

### **2.6.1 Planificación del proyecto**

En estricto apego a la teoría administrativa, todo proyecto debe iniciar con la fase de planificación, la cual debe abarcar aspectos relacionados con establecimiento de las prioridades para la revisión de la planta, preparación de un cronograma detallado de las etapas del proyecto, preparación de listas de revisión, cuestionarios y cualquier otra herramienta para la recolección y procesamiento de la información.

### **2.6.2 Análisis detallado y familiarización con los procesos productivos de la empresa, y de cualquier información relacionada**

El conocimiento pleno de la planta y de los procesos que se realizan en ella, es de vital importancia para lograr una introducción pronta del grupo de trabajo en el área de estudio, la historia de operación, diseño, personal de operación, etc. Para lo anterior, se deben estudiar los datos básicos, manuales de diseño, manuales de operación, bitácoras de operación diaria, datos de producción diaria, datos de eficiencia de operación de la caldera, información sobre expansión y modificaciones del proyecto, etc.

Para lo anterior, es muy importante realizar entrevistas con el personal de proceso y de mantenimiento de la planta, de los cuales es posible obtener valiosa información que no se encontrará escrita en ninguno de los procedimientos y registros de la empresa.

### **2.6.3 Elaboración de diagramas de producción para una adecuada identificación de los datos requeridos**

Luego de una familiarización con la planta y todos sus procesos, se debe elaborar un diagrama de flujo simplificado, de tal forma que muestre toda la energía que se consume o produce en los equipos. Asimismo, se deben realizar una revisión de todos los registros disponibles sobre el flujo de materias primas, combustibles, fluidos térmicos, etc., con la finalidad de determinar todos los datos necesarios para elaborar los balances de masa y energía de la empresa. Posteriormente, se debe preparar una lista de los puntos de medición analizados, tales como medidores de flujo (proceso, vapor, aire, combustible, agua, etc.), medidores eléctricos, indicadores de presión y temperatura, puntos de muestreo de gases en las chimeneas, etc.

Este diagrama preliminar de flujo de producción y la lista de identificación de datos sirven de base para establecer una lista de datos más amplia, y para la preparación del balance final de energía y producción de la planta.

A continuación se muestra la información más importante que se debe detallar en los diagramas de flujo:

- Se debe procurar un plano con la distribución de la planta.
- Los diagramas de flujo deben incluir lo siguiente:
  - Recepción de materiales y áreas de almacenamiento.
  - Entradas primarias de energía, ubicación de medidores, y áreas de almacenamiento.
  - Áreas de producción principales con el detalle de la energía y materiales utilizados.
  - Departamento de bodega y despacho de los productos terminados.
  - Sistemas recicladores de recursos.
  - Sistemas de disposición de desechos.
- Indicar en el diagrama de flujo las principales áreas de consumo energético.
- Identificar y evaluar los principales sistemas de consumo energético mediante el análisis de los sistemas existentes:
  - Sistemas de procesos de secado, calderas, hornos, etc.
  - Sistemas de agua, distribución de vapor, retorno de condensados, etc.
  - Sistemas de distribución y consumo eléctrico.
  - Sistemas de iluminación.
  - Sistemas de distribución de aire comprimido y fluidos térmicos.
  - Sistemas de refrigeración.
  - Sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado.

#### **2.6.4 Recolección de datos de producción y consumo energético**

En este punto se recolecta toda la información requerida para establecer el comportamiento de la empresa desde el punto de vista energético. Se trata entonces de establecer un historial de la planta.

Generalmente, los instrumentos necesarios en esta etapa son: medidores de flujo, medidores eléctricos, indicadores de presión y temperatura, puntos de muestreo en las chimeneas de las calderas, cronómetros, recipientes volumétricos, etc.

Es importante recalcar, que no se pueden cuantificar oportunidades de conservación de energía si no se tiene cuantificado el consumo actual de un proceso. Tampoco es posible determinar oportunidades de conservación de energía si no se tienen identificados los principales focos de consumo y las fuentes de generación.

#### **2.6.5 Medición de parámetros de producción y de energía del sistema**

Esta es una de las etapas más importantes de una auditoría energética, y puede dividirse en dos: un recorrido de la planta para obtener datos adicionales, comprobarlos y verificarlos; y hacer las mediciones.

Para el recorrido de la planta, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Seleccionar al personal idóneo que pueda brindar información valiosa sobre los procesos, costos, facturación, etc.
- Utilizar los diagramas de procesos elaborados previamente con el objetivo de tener a mano todos los detalles de los mismos.
- Identificar y verificar el funcionamiento de los instrumentos relacionados con la energía, tales como: medidores de energía eléctrica, de búnker, gas licuado de petróleo, agua, aire, etc. También, aquellos relacionados con

los procesos, tales como: medidores de flujo de vapor, presión, temperatura, etc.

- Identificar los procedimientos de informes de energía, tales como tablas, registros, análisis realizados, etc.
- Identificar los procedimientos de producción y de informes, tales como diagramas de producción, registros de funcionamiento, condiciones de operación, etc.
- Utilizar formatos prediseñados para el levantamiento de inventarios de equipos de la planta a considerar en el estudio.

Las mediciones usuales en este tipo de auditorías son las siguientes:

- Mediciones de la energía eléctrica en las acometidas principales de la planta, las cuales se toman por lo general con un registro gráfico en periodos de 24 horas, dependiendo de la variación de la demanda día con día. Estas mediciones sirven para identificar las horas de demanda máxima y el consumo por acometida.
- Mediciones de factor de potencia en las acometidas principales, lo cual puede indicar en qué áreas se presentan problemas de bajo factor de potencia, y de cómo redistribuir cargas para mejorarlo.
- Mediciones de consumo de los mayores consumidores de energía eléctrica. Normalmente se toman mediciones instantáneas y se multiplica el valor por las horas de operación durante el día, para establecer así su consumo total. Si la carga es muy variable, se mide el consumo durante un periodo determinado y se obtiene un valor promedio. Estas mediciones también sirven para identificar cuales procesos o equipos productivos contribuyen mayoritariamente a la demanda pico.
- Mediciones de consumo en motores e iluminación. En el caso de estos equipos se puede determinar el consumo de acuerdo con la información que brindan los fabricantes en los datos de placa, considerando el rendimiento nominal de los mismos.

- Mediciones de producción de vapor y los mayores consumidores de vapor. Por lo general se basa la producción de vapor en el consumo de agua fresca de la caldera más el retorno del condensado menos el flujo de agua eliminado en la purga continua. Es posible estimar la tasa de purga por el contenido de sólidos disueltos en el agua fresca y el agua de la caldera. Se puede determinar el consumo de los procesos por medio de la medición de la cantidad de condensado que retorna del proceso. Otra forma de hacerlo es calcular el calor necesario para el proceso más las pérdidas al ambiente.
- Mediciones en otros equipos consumidores de combustible como hornos y otros tipos de equipos con quemadores. En este punto es necesario cuantificar el consumo de combustible por horno, marmita, etc.

Esta información puede ser recolectada en formatos prediseñados para tal fin, lo cual es de gran ayuda para el auditor.

Tomar las mediciones necesarias para confirmar las OCE's:

El nivel de profundidad que se le dé al recorrido de la planta determinará el grado de medición que se requiere en esta etapa. En equipo eléctrico, por lo general bastan las mediciones realizadas para determinar el perfil de energía, para lograr hacer la estimación del ahorro posible debido a la OCE.

En el caso de los consumidores de combustibles como lo son las calderas, para establecer la eficiencia del equipo se pueden analizar los gases de escape para determinar la eficiencia de combustión. La eficiencia total de las calderas que queman aceite combustible andan en el orden de 2% a 3% menos de la eficiencia de combustión, debido principalmente a las pérdidas por convección por los lados.

Esta eficiencia total puede ser corroborada determinando la razón entre el contenido de calor del combustible y el contenido de calor del vapor generado por el combustible.

Para el caso de los hornos y otros equipos con quemadores, se hace un balance del calor del combustible y del aire que entra al proceso, así como de los gases de combustión y del producto que sale, además de considerar las pérdidas por aberturas, compuertas, paredes, superficies sin aislamiento, etc.

Es indispensable que el auditor analice detalladamente y comprenda plenamente el proceso antes de recomendar una OCE o cambios en el mismo. Para lo anterior, es importante considerar la información adicional que se pueda obtener, o que esté disponible o accesible mediante la revisión de bitácoras, revisión de paneles de control e instrumentación, instrumentación local y mediciones en el área, tales como termografías. Asimismo, es importante considerar la información de diseño y los datos de operación pasados, para hacer una correlación tanto en operación normal como bajo falla.

### **2.6.6 Elaboración de balances de masa y energía**

Una vez recolectada la información sobre el proceso, las condiciones obtenidas para el proceso y operación con los datos adicionales del diseño deben ser trasladados a los datos de energía y producción. Estos datos deben ser editados en el diagrama de flujo de la planta, los cuales deben ser modificados o actualizados en lo que corresponda.

El resultado es un diagrama de flujo detallado, en el cual se muestra el balance de energía y producción con una normalización dada para las condiciones de operación. Frecuentemente los datos de energía y masa son presentados en Kw h, kCal/h, BTU/h y kg/h o lb/h respectivamente, como aproximación para las plantas individuales. Las fuentes y tipos de datos indicados en el balance deben ser identificados, como datos de diseño, datos de bitácora, mediciones de planta y cálculos o estimaciones.

Adicionalmente a los diagramas de flujo se deben preparar: un resumen del balance global de la planta, tablas con información de todo el equipo productor y consumidor de energía, tablas separadas para calefacción, intercambiadores de calor por vapor, intercambiadores de agua fría, cargas eléctricas conectadas en operación, etc.

#### **2.6.7 Tabulación de fuentes y sumideros de energía que permitan identificar los potenciales de ahorro**

Se deben realizar tabulaciones con las fuentes y sumideros de energía para cada sección del sistema, que deberán incluir, listado de fuentes y sumideros de energía, energía disponible, flujo útil, temperatura, presión y voltaje.

Esta tabulación está directamente asociada con el diagrama de flujo de la planta y constituirá la base para generar las recomendaciones de conservación de energía.

La identificación de las fuentes y consumidores permite que el auditor enfoque su atención en aquellas áreas donde se presentan los mayores consumos de energía, lo que implica áreas con mayor potencial de pérdidas y por tanto de conservación.

En esta etapa se debe considerar el costo de la energía para poder justificar económicamente cualquier proyecto tendiente al uso racional de la misma.

#### **2.6.8 Identificación de alternativas para conservación de la energía, estimación preliminar de ahorro y costos de ejecución**

En la preparación de alternativas para conservación de energía, se deben considerar las siguientes áreas:

- Energía utilizada en la operación de la planta, para poder determinar su eficiencia.
- Alternativas de conservación.
- Costos de capital.
- Índices de operación teórica óptima, basados en el consumo potencial de energía al máximo aprovechamiento en las operaciones de la planta.

Evaluación de energía usada y la operación de la planta:

El equipo de mayor consumo energético debe ser estudiado para determinar si está operando eficientemente, o si puede ser mejorada su operación ya sea a través de modificaciones o de su reemplazo. Los detalles de las ineficiencias de operación o de diseño deben ser identificados en esta fase.

Desarrollo de soluciones para conservación de energía:

Mediante el uso de las tablas de fuentes y sumideros de energía, y actualizando estas listas basados en el mejoramiento de eficiencias por renovaciones, modificaciones y cambios en el proceso, se desarrollan las alternativas para la conservación de la energía, lo anterior, considerando los costos energéticos actuales, las proyecciones futuras de costos y cumplimiento de requisitos.

De lo anterior resultan las siguientes soluciones:

- Acciones inmediatas que remedian lo más pronto posible las alteraciones que existen en los equipos y las maneras de incrementar o cambiar la instrumentación.
- Mejoras a mediano o largo plazo que requieren desembolsos de capital importantes.

Con lo anterior, se llega a los siguientes pasos:

- Tabulación de niveles energéticos para la recuperación de energía.
- Valoración de la energía que potencialmente podría ser recuperada.
- Evaluación de las propiedades para las potenciales fuentes recuperables.
- Evaluación de alternativas para la energía recuperable.
- Requisitos del equipo.
- Cronograma de ejecución de requisitos.

Los niveles de energía disponible para su recuperación, su cuantificación, y la prioridad de cada una, son basados en la información desarrollada disponible para el diagrama de flujo del proceso y lista de fuentes y sumideros de energía. Por lo tanto, se puede desarrollar una lista de usos alternativos de esa energía disponible, usando dichas prioridades. Como una primera etapa en el desarrollo de las alternativas, el grupo de ingenieros llega a una revisión de análisis, para identificar la gran variedad de alternativas posibles tales como:

- Recuperación del calor de desecho para generar vapor adicional, para precalentar aire, agua, combustible, o el flujo de alimentación del proceso.
- Generación de potencia adicional por medio del vapor disponible y las fuentes de calor de bajo nivel de energía.
- Sustitución de fuentes de bajo nivel de energía por otras de alto nivel, tal como vapor de baja presión por vapor de alta presión.
- Modificaciones a los procesos para conservar las utilidades.

Cada una de las alternativas debe ser evaluada con base a los potenciales ahorros en los costos de operación, asimismo, se deberá establecer una lista del equipo principal necesario, como intercambiadores de calor, bombas, compresores, sistemas de control, etc., con las especificaciones suficientes que permitan una estimación de los costos.

Por último se hace un cronograma de ejecución para cada alternativa potencial establecida.

Estimación de costos de capital:

Se debe estimar los costos de capital de cada una de las alternativas, con la finalidad de establecer su rentabilidad.

Establecimiento de un índice clásico de energía:

Utilizando los balances de energía y masa previamente discutidos, se establece un índice de energía para cada planta industrial, o proceso de una planta bajo condiciones de operación normal. El tipo de índice energético seleccionado, permite al personal de la planta comprobar la eficiencia de acuerdo al consumo de energía. Este índice constituye un parámetro de la mejor condición de operación. Se determina para una operación normal en las condiciones actuales, y también se proyecta por las unidades procesadoras, después de incorporar las acciones factibles para la conservación de energía.

### **2.6.9 Evaluación y selección de las oportunidades de conservación de energía a ejecutar**

Existen varios métodos para evaluar financieramente y seleccionar las oportunidades de conservación de energía en una planta. El más común es el periodo simple de recuperación (PSR). El PSR es el costo de la OCE dividido entre el ahorro anual que se proyecta al implementarla, lo que da como resultado el tiempo de recuperación de la inversión. Hay otros factores económicos que se consideran al evaluar económicamente los proyectos de conservación de energía, tales como el valor presente neto (VPN), o factores de dinero y vida útil del equipo.

Adicionalmente, se usan otros métodos como el análisis del valor presente y el costo del ciclo de vida del proyecto.

Cuando existen limitaciones presupuestarias para la inversión, otra alternativa utilizada comúnmente, es implementar las OCE's de bajo costo, utilizando los ahorros generados, para financiar los proyectos o acciones de conservación de energía que representan mayor costo.

Por lo tanto, la implementación de las OCE's se debe hacer según los siguientes criterios de prioridad:

- Acciones que generen mayores ahorros potenciales de energía en costos anuales de operación.
- Acciones que impliquen el menor costo estimado de capital.
- Acciones que arrojen índices energéticos más provechosos.
- Aspectos cualitativos, o de oportunidad que representen por ejemplo, facilidad de ejecución, operación y seguridad.

Como resultado, se debe preparar una lista de recomendaciones específicas para la realización a corto, mediano y largo plazo.

#### **2.6.10 Revisión del proyecto con la administración de la empresa**

Luego de completar los pasos anteriores, el grupo de trabajo, o comité de conservación de energía, en conjunto con la administración, gerencia o dirección de la planta, deben revisar los siguientes aspectos:

- Condiciones, facilidades y operación de la planta en la actualidad.
- Proyecciones para el uso de la energía en la planta.
- Soluciones a los problemas existentes.
- Información de ahorros anuales esperados y costos de capital.

- Recomendaciones para la implementación del programa de ahorro energético.

### **2.6.11 Elaboración de un plan de ejecución**

Esta es una de las etapas que se puede tornar más complicada y difícil, pero también la que puede generar mayor satisfacción. La ejecución de un proyecto o acción de conservación de energía debe considerar los siguientes pasos:

- Elaborar un presupuesto preliminar estimado.
- Elaborar el diseño preliminar del proyecto, el cual representa aproximadamente un costo del 5% del total de la inversión.
- Elaborar el diseño final del proyecto, el cual representa aproximadamente un costo del 15% del total de la inversión.
- Determinar el costo final estimado del proyecto.
- Obtener la aprobación del presupuesto final del proyecto.
- Definir si el proyecto se ejecutará con recursos propios o externos (contratados).
- Implementar, construir o ejecutar el proyecto de conservación de energía.
- Poner en marcha el proyecto de conservación de energía.

Para OCE's sencillas, los pasos anteriores se reducen prácticamente a obtener un presupuesto preliminar y proceder con la implantación del proyecto.

### **2.6.12 Brindar el debido seguimiento al proceso**

El seguimiento del programa de ahorro energético consiste básicamente en los siguientes aspectos:

Verificación de los ahorros:

- Se pueden comprobar los ahorros por medio de la facturación energética o por medio de mediciones directas en el proceso. Siempre es importante verificar los ahorros para promover el programa de conservación de energía, para comprobar los ahorros estimados en los cálculos, y verificar que el sistema instalado esté funcionando correctamente. Este último punto es muy importante, porque un sistema que no esté funcionando correctamente y no brinde los ahorros esperados, o peor aún, que aumente los costos de operación, puede generar un efecto inverso a los objetivos, y dar al traste con la credibilidad del programa.

Continuar con el seguimiento de las oportunidades de conservación de energía, y seguir identificando más proyectos:

- Debido a cambios en el costo de la energía, en producción y en equipos, es necesario revisar siempre el equipo y los procesos existentes, tratando de identificar nuevas oportunidades de conservación de energía. En la etapa de seguimiento, se recomienda una revisión mensual o trimestral de las tarifas eléctricas, costos de los energéticos, del consumo global y del consumo por área o equipo mayor, así como la verificación de los ahorros de los proyectos implementados.

## **2.7 Metodología para el análisis energético de un establecimiento de consumo según norma INTE 19-4-01-94.**

Análisis por nivel.

### **2.7.1 Auditoría Nivel 1.**

La auditoría de nivel 1 incluye dos tipos de balances de energía:

Un balance energético del conjunto del establecimiento en un periodo de referencia dado, el cual se presentará en forma de un cuadro que indique los consumos de las diferentes formas de energía que entran en el establecimiento. El signo menos corresponde a una producción de energía en la sección considerada. Se debe indicar las cantidades de producto que salen de estas secciones.

Se debe trazar una caja negra indicando los flujos energéticos y flujos de masa, los cuales podrían ser estimados si no es posible su medición. Lo anterior facilitará el establecimiento de los índices energéticos de la planta.

Un balance energético por sección para un periodo de referencia dado, en el cual se presentarán en forma de caja negra las entradas y salidas de energía y materia de la sección considerada. En el caso de que dichos flujos sean dirigidos a otra sección de la planta, deberá indicarse en los diagramas. Además se deberá indicar las condiciones en que entran y salen los diferentes flujos a la sección, tales como presión, temperatura, etc.,. Por otra parte, se deberá determinar el modo de funcionamiento de la sección, indicando si es continuo o no continuo, así como la duración total de funcionamiento en un periodo de referencia, y se deberá indicar la forma y ubicación de los medios de registro que permitieron obtener los valores indicados en el diagrama.

También es necesario indicar dentro de las cajas, los equipos de mayor consumo de energía así como el modo de funcionamiento.

### **2.7.2 Auditoría Nivel 2.**

En este nivel se trata de afinar la medida de los consumos de energía, de las descargas térmicas y de establecer un balance característico de los aparatos que pertenecen a los centros de consumo inventariados en el nivel 1, eliminando eventualmente aquellos cuyo consumo no sea significativo.

En el balance de las secciones del nivel 1, será necesario realizar un balance característico de nivel 2, a una cantidad suficiente de operaciones energéticas elementales, de manera que se delimite una parte significativa de los consumos de la sección considerada.

Tal es el caso de aquellos aparatos de una sección que sean responsables de una parte preponderante del consumo de la misma.

Una operación energética elemental se caracteriza mediante la siguiente información:

- Descripción del producto tratado: características físicas del producto a la entrada y salida (naturaleza, temperatura, humedad, etc.)
- Descripción del equipo: tipo, potencia, capacidad, presión, temperatura, edad, régimen de utilización, etc.
- Descripción de la energía: forma utilizada (combustible directo, fluido térmico, electricidad, etc.), recuperaciones (condensados, vapores de baja presión), efluentes líquidos o gaseosos.

Si se cuenta con una definición clara de los tres factores anteriores, la operación energética es entonces suficientemente precisa para poder comparar si su consumo específico está relativamente poco alejado de un valor convencional.

Para poder determinar un balance característico para este tipo de operaciones energéticas elementales, se requiere conocer las características de los flujos de energía y masa que entran y salen del equipo considerado, lo cual se puede obtener por medio de mediciones directas o por otros métodos. De esta forma, sin que la medida de todos estos parámetros deba ser sistemáticamente efectuada en todos los casos, puede ser necesario conocer la composición de los diferentes flujos líquidos, gaseosos o sólidos y sus rendimientos, temperatura, humedad, calor específico de los diferentes constituyentes, etc.

### **2.7.3 Síntesis de los resultados obtenidos**

Los análisis realizados en los diferentes niveles de auditoría deben evidenciar la distribución de las pérdidas y permitir considerar las posibilidades de recuperación, haciendo resaltar las interacciones eventuales entre las diferentes secciones o equipos. El auditor deberá proveer un esquema de conjunto en el cual todas las cajas negras de diferentes niveles analizados estarían ligadas por flechas que simularían las posibilidades de acoplamiento y sugiriendo el potencial disponible de uso eficiente o de sustituciones de energía, sobre todo gracias a recuperadores de calor, o la instalación de cascadas térmicas.

Los siguientes puntos deben ser destacados:

- Los balances energéticos de nivel I se basan esencialmente en los medios de registro que dispone la empresa, y en los datos que ésta puede comunicar al auditor. También, una de las funciones del auditor es el recomendar la instalación de equipo de medición clave para el proceso, o bien, el analizar y verificar la coherencia de los datos, revisar ciertos equipos de medida y proponer mejoras al sistema de contabilidad energética de la empresa.
- El establecimiento de los balances de nivel II, requieren de un trabajo profundo, implica un buen conocimiento del procedimiento utilizado, y la puesta en marcha de otros medios durante la auditoría. Por tal motivo, la selección de las operaciones energéticas elementales más importantes, que son el objeto de este balance, deben ser acordadas entre el empresario y el auditor, luego de que éste haya determinado el método a emplear y haya estimado el precio de su trabajo.

Para lo anterior, conviene tomar en cuenta la importancia del consumo de energía de las diferentes operaciones energéticas elementales y la factibilidad técnica y financiera de la serie de medidas que podrían ser requeridas.

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo de investigación.**

El presente proyecto consistió en una investigación de campo en la cual se utilizaron técnicas y métodos tratados en los cursos de maestría y otros investigados a título personal, así como técnicas de alta tecnología como lo son la termografía infrarroja, análisis de gases de combustión y el ultrasonido, con la finalidad de recabar la información necesaria para determinar el balance de energía del sistema de vapor del plantel El Alto de Ochozoma de RECOPE, e identificar las oportunidades de conservación en el mismo.

### **3.2 Participantes y su selección.**

Para la ejecución del presente trabajo, fue necesaria la participación activa del personal de la planta de emulsiones, entre estos, el ingeniero a cargo, los operadores encargados de la producción, y los operadores de las calderas. El conocimiento y la experiencia de estos funcionarios, fue fundamental para comprender la operación global del sistema y del proceso productivo. Además, participó personal de la unidad de mecánica industrial del departamento de mantenimiento, cuyo aporte principal fue en las mediciones y recolección de información en el campo.

### **3.3 Instrumentos.**

Para la recolección de los datos del proceso necesarios para la caracterización de las operaciones energéticas elementales, se utilizaron los instrumentos y equipos de medición disponibles en el sistema, tales como manómetros tipo bourdón, termómetros tipo bourdón, plato de orificio calibrado, transmisores electrónicos de

presión y temperatura, además de otros equipos portátiles tales como cinta métrica, recipiente volumétrico calibrado, cronómetro, pirómetro o termómetro infrarrojo, cámara termográfica y medidor de eficiencia de combustión de base seca.

En la tabla 3.1 se muestran las características básicas de los principales instrumentos y equipos de mediciones portátiles utilizados.

**TABLA 3.1**  
**EQUIPOS DE MEDICIÓN PORTÁTILES**

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Pirómetro	Extech Instruments	42515
Cronómetro	Casio	403Q04
Cámara Termográfica	Flir	T400
Recipiente Volumétrico Calibrado	Desconocido	Desconocido
Medidor de Eficiencia de Combustión de Base Seca	Bacharach	450

Fuente: El autor

### **3.4 Procedimientos**

El procedimiento general utilizado para llevar a cabo la auditoría energética detallada del sistema de vapor del Plantel El Alto, se basó en la información brindada en el marco teórico del Capítulo 2, y consistió básicamente en los siguientes pasos:

#### **3.4.1 Análisis detallado y familiarización con los procesos productivos.**

Como paso fundamental para la elaboración del presente proyecto se realizaron múltiples recorridos a la planta con el ingeniero a cargo, y los operadores de la planta y de las calderas con la finalidad de conocer a fondo el proceso productivo.

Se realizaron múltiples entrevistas con el ingeniero a cargo, y los operadores de la planta para indagar los detalles del proceso, y para recabar la información necesaria para el estudio.

Se realizaron múltiples visitas al campo con la finalidad de llevar a cabo el inventario de equipos de generación y consumo de energía.

#### **3.4.2 Elaboración de diagramas simplificados de los procesos productivos.**

Una vez realizados los recorridos a la planta e identificados los equipos y demás componentes del sistema, se diagramó de manera simplificada todo el proceso, desde el recibo de las materias primas hasta el almacenamiento del producto terminado.

### **3.4.3 Recopilación de datos de producción y consumo energético de la planta.**

Para la recopilación de los datos de producción se solicitaron y procesaron los registros en papel y electrónicos que se mantienen en las oficinas administrativas de la planta de emulsiones.

### **3.4.4 Medición de parámetros de producción y de energía del sistema.**

Para el presente proyecto, no fue necesario realizar mediciones de energía, ya que solamente se consideró la energía térmica del vapor, por lo tanto, se procesaron los registros en papel y electrónicos de consumo de búnker y producción de vapor de las calderas que se mantienen en las oficinas administrativas.

### **3.4.5 Elaboración de balances de masa y energía.**

Una vez procesada la información sobre los flujos de masa y energía del sistema, se hicieron los cálculos necesarios para determinar la forma en que se distribuye y utiliza esa energía. Asimismo, se elaboró un diagrama con los flujos de masa y energía para cada uno de los componentes del sistema.

### **3.4.6 Tabulación de fuentes y sumideros de energía.**

Luego de establecer el balance de energía del sistema, se procedió a tabular la información, identificando los puntos de generación y de consumo de energía del sistema.

### **3.4.7 Identificación de alternativas para conservación de energía y estimación preliminar de ahorros.**

Luego de identificar claramente como se distribuye la energía en el sistema, se procedió a valorar y cuantificar las oportunidades de conservación en cada uno de los puntos de consumo.

### **3.5 Análisis de la información recolectada.**

Para el análisis de la información recolectada del sistema se utilizaron hojas de cálculo en Excel y análisis estadísticos básicos, con la finalidad de obtener valores promedio que tipifiquen la operación general del sistema.

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS**

En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos de las entrevistas al personal operativo, visitas a planta, mediciones y cálculos realizados para el desarrollo de la auditoría.

### **4.1 Descripción general del proceso de producción de emulsión asfáltica.**

La figura 4.1 muestra el diagrama de flujo simplificado del sistema de vapor y la planta de emulsiones asfálticas de la Terminal de Almacenamiento y Distribución El Alto. Se muestra desde el proceso de recibo de las materias primas hasta la elaboración del producto terminado y su venta al consumidor final.

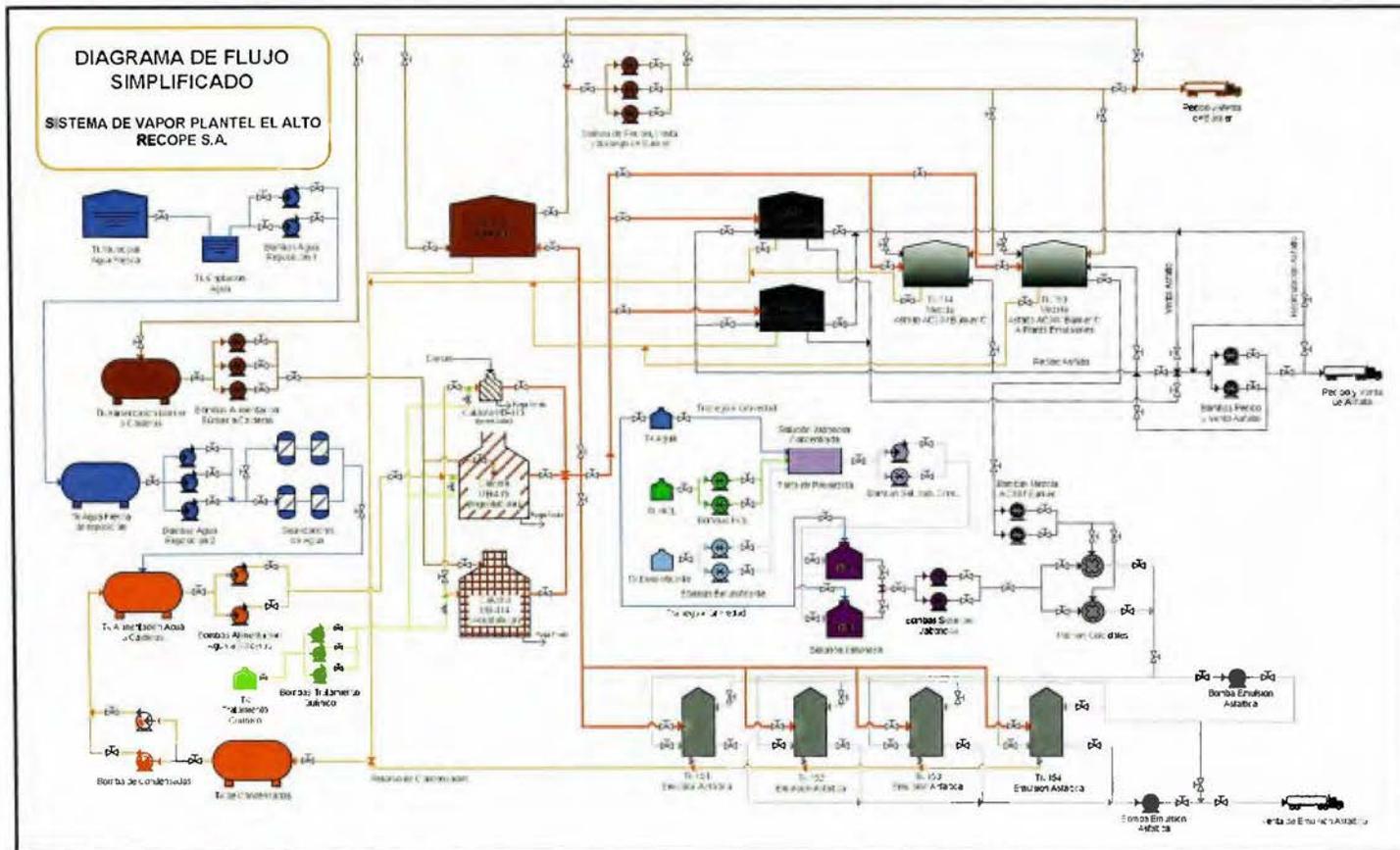


FIGURA 4.1

### DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE VAPOR Y PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Fuente: El autor

A continuación se hace una descripción general de todo el proceso.

El proceso de elaboración de la emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido, comienza con el recibo de las materias primas: asfalto, búnker, ácido clorhídrico, emulsificante y agua.

El asfalto es transferido desde la refinería en Limón por medio de camiones cisterna a una temperatura promedio de 140 °C, y se almacena en los tanques 112, 113 y 114 a una temperatura promedio de 150 °C.

De igual forma, es transferido el búnker, el cual se recibe a una temperatura promedio de 60 °C, y se almacena en el tanque 118 a una temperatura promedio de 70 °C.

El agua es suministrada de la red municipal del plantel y se almacena en el tanque 3 a temperatura ambiente, la cual alcanza en promedio los 19 °C para la ciudad de Cartago, según datos del Instituto Meteorológico Nacional.

El ácido clorhídrico y el emulsificante, se reciben a temperatura ambiente, en recipientes de 208 litros y se almacenan en los tanques respectivos a la misma temperatura.

El búnker almacenado en el tanque 118, es utilizado como combustible en las dos calderas principales del sistema UB 414 y UB 415, previamente depositado en el tanque de alimentación respectivo, donde se mantiene a una temperatura promedio de 100 °C.

También es utilizado como materia prima en la elaboración de la emulsión asfáltica, para lo cual es mezclado con asfalto en el tanque 150 en un porcentaje del 16% por volumen, almacenándose a una temperatura promedio de 135 °C.

Este mismo búnker es vendido a granel a los consumidores industriales del país, este proceso es llevado a cabo mediante un conjunto de tres bombas de desplazamiento positivo dispuestas para estos fines.

El agua de alimentación de las calderas proviene de dos fuentes, el tanque de recolección de condensados, la cual se encuentra a una temperatura promedio de 96 °C, y el tanque de agua fresca de reposición, la cual se encuentra a una temperatura promedio de 19 °C, y se hace pasar a través de una batería de suavizadores, con la finalidad de eliminar los minerales que contiene, con el fin de evitar la formación de incrustaciones en el interior de las calderas.

La temperatura final de la mezcla de agua fresca – condensados, alcanza una temperatura promedio de 78 °C.

Las calderas del sistema de vapor del plantel El Alto, trabajan alternadamente, sin ningún criterio de utilización definido, solamente depende de la disponibilidad de las mismas, y de la preferencia de los operadores, quienes se inclinan por el uso de la caldera UB 414, que es del tipo acuatubular y posee un recalentador que permite obtener vapor sobrecalentado con una temperatura promedio de 195 °C.

La caldera UB 415 es del tipo igneotubular, y entrega vapor saturado a una temperatura promedio de 175 °C.

El vapor generado se distribuye por la red de tuberías hasta los puntos de consumo en los tanques de almacenamiento, donde cede su energía al proceso, con la única función de calentar los diferentes productos, reducir su viscosidad, y mantenerlos a las temperaturas respectivas. Asimismo, se utiliza en el trazado de las tuberías y bombas de bunker, asfalto, y emulsión.

Una vez que se cuenta con todos los componentes del sistema a la temperatura requerida a través del vapor generado en las calderas, y hecha la mezcla del asfalto y bunker en el tanque 150, se puede dar inicio a la producción de la emulsión asfáltica.

El proceso inicia realizando una mezcla del equivalente a 130 kg de emulsificante, y 140 kg de ácido clorhídrico en estado líquido, a través de las bombas

respectivas, y agregando agua fresca, la cual se vierte a la pileta de pre mezcla por gravedad, formando así la solución jabonosa concentrada.

Esta solución jabonosa concentrada, se trasiega por medio de las bombas respectivas hacia los tanques 5 y 8, donde se vuelve a agregar agua fresca por gravedad hasta obtener un volumen de aproximadamente  $21.3 \text{ m}^3$  de solución jabonosa, a la vez se agrega calor a través de los serpentines de vapor hasta alcanzar una temperatura mínima de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Una vez que se obtienen estas condiciones, se inyectan los  $21.3 \text{ m}^3$  de solución jabonosa a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , y aproximadamente  $43.7 \text{ m}^3$  de mezcla asfalto – búnker en su proporción de 84% -16% del volumen a una temperatura de  $135 \text{ }^\circ\text{C}$  hacia el molino coloidal, donde las partículas de ambas sustancias son divididas en tamaños del orden de entre una micra y un nanómetro, formando una dispersión fina relativamente estable de un líquido en otro, no miscibles entre sí, llamada emulsión asfáltica, la cual se encuentra a una temperatura promedio de  $84 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Finalmente, la emulsión asfáltica es bombeada hacia los tanques 151, 152, 153 y 154 donde se almacena y deja enfriar hasta una temperatura no menor a los  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , quedando lista para su comercialización.

En la tabla 4.1 se muestran los componentes de la solución jabonosa y de la emulsión asfáltica y sus respectivas proporciones.

**TABLA 4.1**  
**COMPONENTES DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

PRODUCTO	CANTIDAD		
	kg	m <sup>3</sup>	% (V/V)
Emulsificante	130,0	0,13	0,61%
Ácido Clorhídrico	140,0	0,14	0,66%
Agua		21,03	98,73%
<b>Solución Jabonosa</b>		<b>21,30</b>	<b>100,00%</b>
Solución Jabonosa		21,30	32,77%
Asfalto		36,71	56,48%
Búnker		6,99	10,75%
<b>Emulsión</b>		<b>65,00</b>	<b>100%</b>

Fuente: El autor

La Figura 4.2 muestra un diagrama simplificado de la elaboración de la emulsión asfáltica.



**FIGURA 4.2**

**DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA PRODUCCIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA**

Fuente: Documento de Internet <http://www.imt.mx/>, EMULSIONES ASFÁLTICAS, ISSN 0188-7114, (Rogelio Rodríguez Talavera/Víctor Manuel Castaño Meneses/Miguel Martínez Madrid)

## 4.2 Descripción general del sistema de vapor.

El sistema de generación de vapor de la Terminal de Almacenamiento y Distribución El Alto, propiedad de RECOPE, consiste en dos calderas instaladas en paralelo con un cabezal de descarga común, que desfoga en un sistema de tuberías de acero al carbono de diferentes diámetros, en su mayoría aislados térmicamente, a través de las cuales se distribuye el vapor hacia los puntos de consumo en los tanques de almacenamiento.

La tabla 4.2 muestra el inventario de los equipos de generación y consumo de energía con sus principales características.

**TABLA 4.2**  
**INVENTARIO DE EQUIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA**

MARCA	MODELO	TIPO	CÓDIGO RECOPE	CAPACIDAD VAPOR	PRESIÓN MÁXIMA
				kg/h	kPa
Todd Shipyards York Shipley	SPG TYPE SAV PAC GAS BURNER	Acuatubular	UB-414	4 535	1034
	SPHW-250-6 WET BACK	Ingeotubular	UB-415	4 535	1034

En partes posteriores de este informe se detalla el inventario de los principales equipos consumidores de energía, que lo constituyen los tanques de almacenamiento, y los sistemas de tuberías.

El vapor es utilizado básicamente para el calentamiento y mantenimiento de la temperatura del búnker C y del asfalto AC 30, que son transferidos a través de camiones cisterna desde la refinería en Limón, para ser usados como materia prima en la planta de emulsiones asfálticas, para consumo interno en las mismas calderas, en el caso del búnker, y para la comercialización a granel.

Además, se utiliza para calentar la solución jabonosa utilizada para la producción de emulsión asfáltica, así como para mantener la temperatura de almacenamiento de la emulsión en un valor adecuado para el consumidor final.

Cabe destacar, que el suministro de vapor para el calentamiento de los productos almacenados en los tanques se realiza de forma manual, no existen válvulas de control de temperatura que permitan la apertura y cierre del suministro de vapor, en un rango de temperatura deseado.

Una vez transferida la energía transportada en el vapor, el agua que se forma al condensarse es expulsada a través de las trampas del sistema, ya sea hacia un sistema de tuberías de recolección de condensados, o hacia la atmósfera, en donde fluye a través de los sistemas de recolección de aguas pluviales.

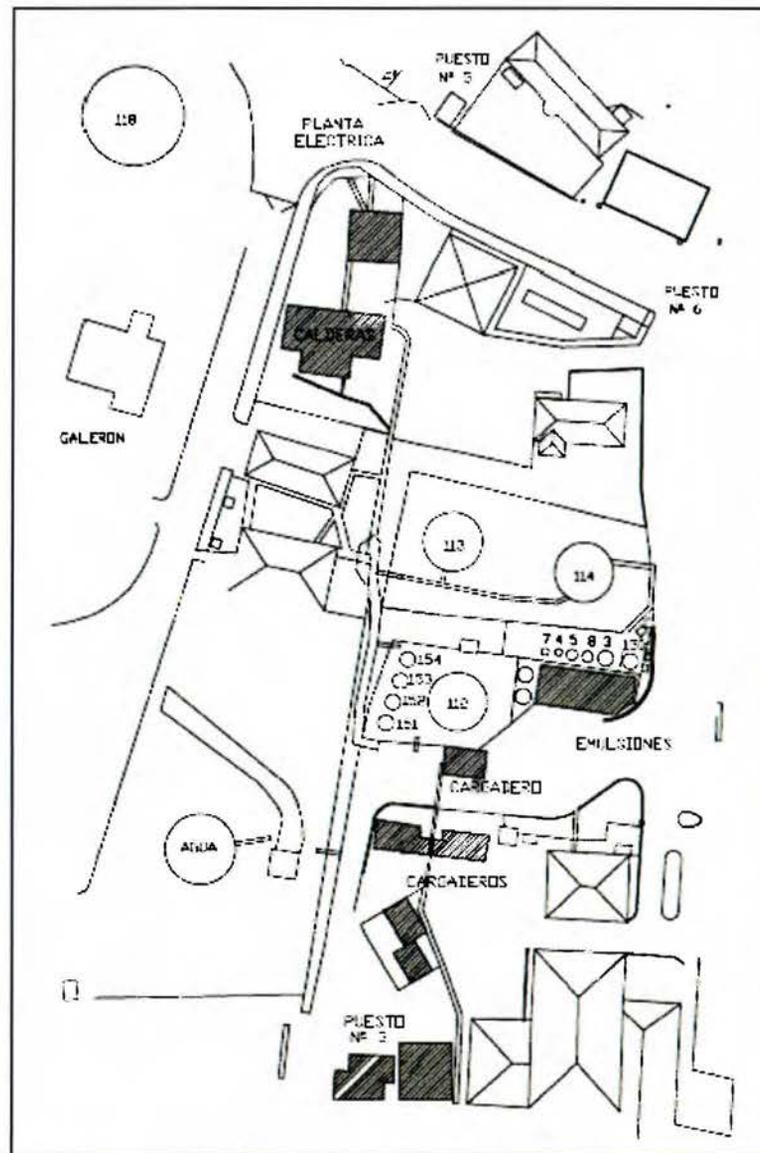
El condensado que retorna por gravedad, es captado en un tanque atmosférico, y luego transferido por bombeo al tanque de alimentación de agua de las calderas, donde se combina con agua fresca y es utilizado nuevamente para la producción de vapor.

Gran parte de las tuberías de retorno de condensado se encuentran aisladas térmicamente, lo mismo que el tanque de recolección.

Otros de los componentes principales del sistema, lo constituyen los tanques de almacenamiento de los diferentes productos, búnker, asfalto, emulsión, agua para proceso, emulsificante, ácido clorhídrico y solución jabonosa, muchos de los cuales cuentan con una serie de intercambiadores de calor internos, mediante los cuales se transfiere la energía disponible en el vapor para mantenerlos a las temperaturas requeridas.

El resto de los componentes lo constituyen los sistemas de tuberías, con sus trazas de vapor, los equipos de bombeo, para las diferentes operaciones de recibo, trasiego y venta, y la planta de emulsiones, donde se cuenta con dos molinos coloidales para la producción de emulsión.

En la figura 4.3 se muestra el plano general de las instalaciones con la distribución en planta de los equipos.



**FIGURA 4.3**

**DISTRIBUCIÓN GENERAL SISTEMA DE VAPOR Y PLANTA DE EMULSIONES  
PLANTEL EL ALTO - RECOPE**

Fuente: Departamento de Servicios Técnicos – RECOPE S.A.

### 4.3 Información recolectada del proceso.

A continuación se muestran los resúmenes de la información recolectada y sobre el proceso, tanto de los registros existentes, como de las mediciones efectuadas en el campo.

#### 4.3.1 Datos de operación de las calderas.

La tabla 4.3 muestra los valores promedio de los parámetros de operación registrados en intervalos de 2 horas para las calderas UB 414 y UB 415. Se promediaron los datos de 10 días de operación, distribuidos aleatoriamente durante un año, con la finalidad de abarcar información sobre las condiciones de operación a lo largo del año. Lo anterior, debido a que la demanda de emulsión asfáltica presenta variaciones importantes mes a mes, y por ende, la demanda de vapor.

**TABLA 4.3**  
**VALORES PROMEDIO PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LAS CALDERAS**

CALDERA UB 414 (TUBOS DE AGUA)									
T Chim.	T vapor	T cond.	T agua alim.	P vapor			Flujo vapor		T Búnker
°C	°C	°C	°C	bar	psi	kPa	lb/h	kg/h	°C
296,48	195,43	96,00	76,97	8,78	127,32	878,08	5 073,09	2 303,86	95,25

CALDERA UB 415 (TUBOS DE FUEGO)									
T Chim.	T vapor	T cond.	T agua alim.	P vapor			Flujo vapor		T Búnker
°C	°C	°C	°C	bar	psi	kPa	lb/h	kg/h	°C
249,67	175,49	96,00	80,13	8,61	124,91	861,42	4 743,69	2 154,27	105,98

Fuente: El autor

### 4.3.2 Consumo de combustible (búnker C) de las calderas.

La tabla 4.4 muestra el consumo mensual de combustible (búnker C), de cada una de las calderas UB 414 y UB 415 para el periodo comprendido entre Enero del 2007 y Julio del 2009, asimismo, se muestra el consumo anual promedio de cada una.

**TABLA 4.4**  
**CONSUMO DE BÚNKER C CALDERAS UB 414 Y UB 415**

AÑO	CONSUMO DE BÚNKER C - CALDERA UB 414 (m <sup>3</sup> )												Consumo Anual (m <sup>3</sup> )	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	116,20	110,33	69,24								29,45	133,19	458,41	91,68
2008	110,07	109,19	133,91	129,18	135,74	133,05	131,18	153,18	126,83	109,43	170,69	83,83	1 526,28	127,19
2009	155,95	169,37					132,11						457,43	152,48
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>122,11</b>

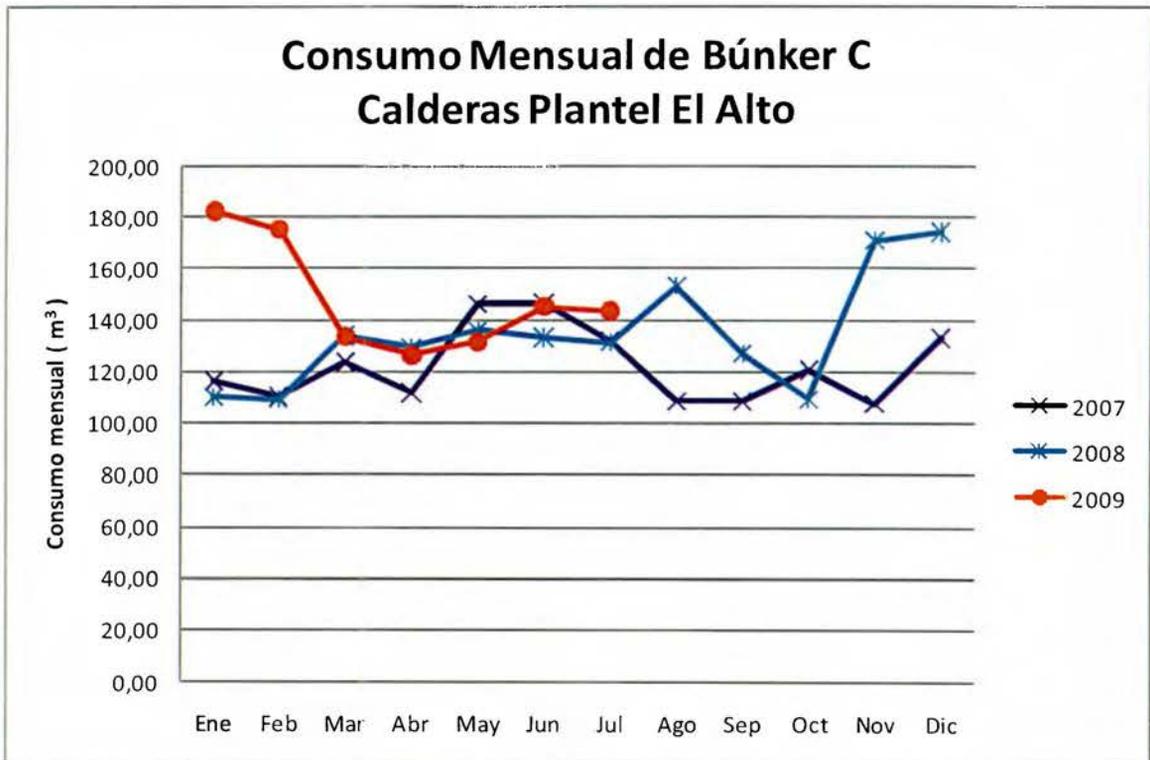
m<sup>3</sup>/año  
CONSUMO ANUAL PROMEDIO = 1 465,27

AÑO	CONSUMO DE BÚNKER C - CALDERAS UB 415 (m <sup>3</sup> )												Consumo Anual (m <sup>3</sup> )	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007			54,34	111,81	146,03	146,23	131,68	108,65	108,53	120,72	78,08		1 006,07	111,79
2008												90,30	90,30	90,30
2009	26,50	5,92	133,28	126,32	131,29	145,06	11,25						579,62	82,80
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>98,59</b>

m<sup>3</sup>/año  
CONSUMO ANUAL PROMEDIO = 1 183,05

Fuente: El autor

La figura 4.4 muestra el consumo mensual de búnker C para las dos calderas principales UB 414 y UB 415 del sistema de vapor del plantel El Alto para el periodo comprendido entre Enero del 2007 y Julio del 2009. Se pueden apreciar los picos y valles en el consumo a lo largo del tiempo.



**FIGURA 4.4**  
**CONSUMO MENSUAL DE BÚNKER C**  
**CALDERAS UB 414 Y UB 415**

Fuente: El autor

### 4.3.3 Flujos volumétricos anuales de productos en el sistema.

La tabla 4.5 muestra los flujos volumétricos anuales promedio de los diferentes productos y materias primas que se almacenan, procesan y comercializan en la planta de emulsiones del plantel El Alto. Se promediaron los flujos mensuales de cada producto para un periodo comprendido entre Enero del 2007 y Julio del 2009.

En el anexo A se muestran las tablas con el detalle de los flujos para cada producto.

**TABLA 4.5**  
**FLUJOS VOLUMÉTRICOS ANUALES PROMEDIO**  
**PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS PLANTA DE EMULSIONES**

PRODUCTO	ORIGEN	DESTINO	FLUJO VOLUMÉTRICO PROMEDIO m <sup>3</sup> /año	FLUJO MÁSIKO PROMEDIO ton/año
Búnker C	Refinería	TK 118	7 252,70	6 925,60
	TK 118	UB 414	1 465,27	1 399,19
	TK 118	UB 415	1 183,05	1 129,69
	TK 118	TK 150	884,37	844,48
Asfalto AC30	Refinería	TK 112	4 443,59	4 323,61
	Refinería	TK 113	7 385,46	7 186,05
	Refinería	TK 114	1 872,11	1 821,56
	TK 112,113,114	TK 150	5 715,51	5 561,19
Emulsión Asfáltica	TK 150	TK 151	2 302,86	2 246,00
	TK 150	TK 152	2 302,86	2 246,00
	TK 150	TK 153	2 302,86	2 246,00
	TK 150	TK 154	2 302,86	2 246,00

Fuente: El Autor

#### 4.3.4 Índices energéticos para la producción de emulsión asfáltica.

La tabla 4.6 muestra los índices energéticos para la producción de emulsión asfáltica de rompimiento rápido para el periodo comprendido entre Enero del 2007 y Julio del 2009, asimismo, se muestra el índice energético promedio para el periodo.

**TABLA 4.6**

#### ÍNDICES ENERGÉTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

AÑO	ÍNDICES ENERGÉTICOS PRODUCCIÓN DE EMULSIONES (m <sup>3</sup> Búnker Quemado / m <sup>3</sup> Emulsión Producida)												Índice Prom.
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2007	0,17	0,12	0,11	0,15	0,21	0,16	0,18	0,13	0,14	0,24	0,19	0,12	0,16
2008	0,19	0,14	0,17	0,15	0,21	0,23	0,20	0,30	0,24	0,25	0,27	0,13	0,21
2009	0,22	0,19	0,13	0,17	0,15	0,22	0,18						0,18
<b>PROMEDIO GENERAL</b>													<b>0,18</b>

m<sup>3</sup> Búnker Quemado / m<sup>3</sup> Emulsión Producida

ÍNDICE PROMEDIO

0,18

AÑO	ÍNDICES ENERGÉTICOS PRODUCCIÓN DE EMULSIONES (GJ Búnker Quemado / m <sup>3</sup> Emulsión Producida)												Índice Prom.
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2007	6,45	4,59	4,34	5,66	8,34	6,36	7,06	4,96	5,36	9,22	7,30	4,51	6,18
2008	7,46	5,58	6,81	5,80	8,32	8,91	7,81	11,51	9,51	9,61	10,35	5,13	8,07
2009	8,68	7,33	4,96	6,80	6,01	8,47	6,94						7,03
<b>PROMEDIO GENERAL</b>													<b>7,10</b>

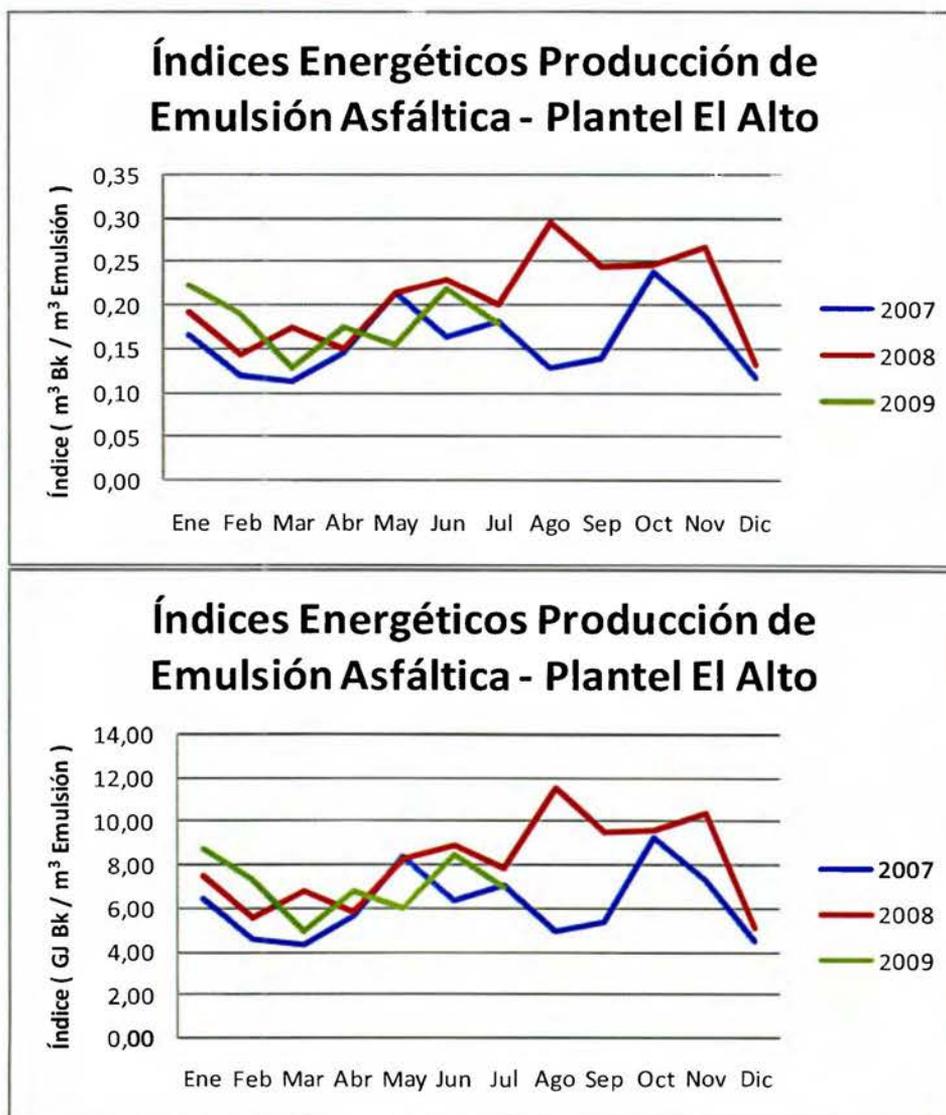
GJ Búnker Quemado / m<sup>3</sup> Emulsión Producida

ÍNDICE PROMEDIO

7,10

Fuente: El autor

La figura 4.5 muestra en forma gráfica el comportamiento del índice energético de producción de emulsiones para el periodo comprendido entre Enero del 2007 y Julio del 2009. Se pueden apreciar los picos y valles de dicho indicador.



**FIGURA 4.5**

**ÍNDICES ENERGÉTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA**

Fuente: El autor

#### 4.4 Mediciones de campo.

A continuación se muestran los resultados de las mediciones hechas en el campo, necesarias para determinar los balances de masa y energía del sistema.

##### 4.4.1 Medición de la eficiencia de combustión en base seca de las calderas.

La tabla 4.7 muestra los resultados de las mediciones de los gases de la combustión de las calderas UB 414 y UB 415. Dentro de los parámetros medidos se encuentra la eficiencia de combustión de base seca, parámetro indispensable para determinar la eficiencia global del sistema.

**TABLA 4.7**  
**MEDICIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN**

Parámetro		CALDERA UB 414 TUBOS DE AGUA			CALDERA UB 415 TUBOS DE FUEGO		
		Medición		Promedio	Medición		Promedio
		1	2		1	2	
O <sub>2</sub>	%	5,50	5,00	5,25	4,20	4,70	4,45
CO	ppm	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	2,00
EFF	%	79,40	81,50	<b>80,45</b>	85,70	85,60	<b>85,65</b>
CO <sub>2</sub>	%	12,10	12,50	12,30	13,20	12,80	13,00
T <sub>chim</sub>	°C	357,00	320,00	338,50	235,00	233,00	234,00
T <sub>amb</sub>	°C	25,20	25,20	25,20	23,80	24,80	24,30
EA	%	34,00	30,00	32,00	23,00	27,00	25,00
NO	ppm	77,00	78,00	77,50	106,00	106,00	106,00
NO <sub>2</sub>	ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO <sub>x</sub>	ppm	77,00	78,00	77,50	106,00	106,00	106,00
SO <sub>2</sub>	ppm	738,00	759,00	748,50	714,00	726,00	720,00
CO( 5)	ppm	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	2,00
NO( 5)	ppm	80,00	79,00	79,50	101,00	104,00	102,50
NO <sub>2</sub> ( 5)	ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO <sub>x</sub> ( 5)	ppm	80,00	79,00	79,50	101,00	104,00	102,50
SO <sub>2</sub> ( 5)	ppm	763,00	760,00	761,50	678,00	712,00	695,00

Fuente: El autor

#### 4.4.2 Medición del retorno de condensado del sistema.

La tabla 4.8 muestra los resultados de las mediciones realizadas para estimar la cantidad de retorno de condensado del sistema. Para el ramal del tanque 118 se realizaron 10 mediciones del tiempo necesario para llenar un recipiente volumétrico calibrado de 20 L y se calculó el promedio.

**TABLA 4.8**  
**MEDICIÓN DEL VOLUMEN Y CÁLCULO DEL RETORNO DE CONDENSADO**  
**RAMAL TANQUE 118**

Medición Nº	Volumen		Tiempo		Caudal	
	L	m <sup>3</sup>	min	h	L/min	m <sup>3</sup> /h
1	20	0,020	3,08	0,051	6,486	0,389
2	20	0,020	4,28	0,071	4,669	0,280
3	20	0,020	4,62	0,077	4,332	0,260
4	20	0,020	2,68	0,045	7,453	0,447
5	20	0,020	4,42	0,074	4,528	0,272
6	20	0,020	3,33	0,056	6,000	0,360
7	20	0,020	3,67	0,061	5,455	0,327
8	20	0,020	3,15	0,053	6,349	0,381
9	20	0,020	3,43	0,057	5,825	0,350
10	20	0,020	3,47	0,058	5,769	0,346
<b>PROMEDIO</b>	<b>20,00</b>	<b>0,020</b>	<b>3,61</b>	<b>0,060</b>	<b>5,687</b>	<b>0,341</b>

Fuente: El autor

Para el ramal de la planta de emulsiones se midió la diferencia de nivel en el tanque de recolección de condensados para un tiempo de 4,83 horas, los datos se muestran en la tabla 4.9.

**TABLA 4.9**  
**MEDICIÓN DEL VOLUMEN Y CÁLCULO DEL RETORNO DE CONDENSADO**  
**RAMAL PLANTA DE EMULSIONES**

Medición Nº	Hora	Nivel Tanque m	Tiempo h	Volumen m <sup>3</sup>	Caudal m <sup>3</sup> /h
1	12:00:00 p.m.	0,345	4,83	3,810	0,788
2	16:50:00 p.m.	1,14			

Fuente: El autor

Luego se calculó el volumen y el caudal mediante las siguientes ecuaciones. Los límites de las integrales planteadas para el cálculo del volumen de líquido en el tanque están referidos a la figura 4.6.

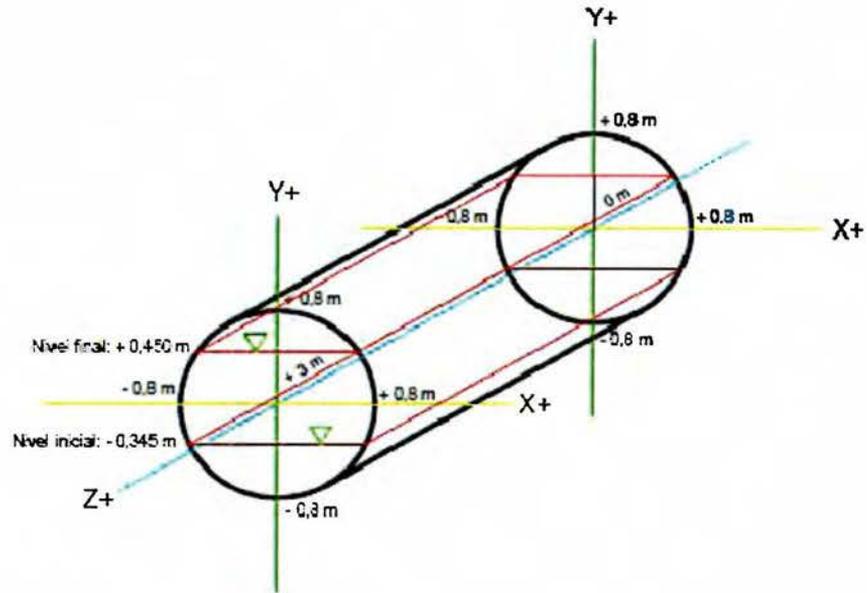
El tanque de recolección de condensados tiene una longitud total de 3,15 m, y un diámetro de 1,6 m sin aislamiento (ver tabla 4.14).

$$V = \int_{0 \text{ m}}^{3,15 \text{ m}} \int_{-0,345 \text{ m}}^{0,45 \text{ m}} \int_{-\sqrt{0,8^2 - x^2} \text{ m}}^{\sqrt{0,8^2 - x^2} \text{ m}} dy dx dz \quad [Ec. 4.1]$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad [Ec. 4.2]$$

Donde:

$$y = \sqrt{0,8^2 - x^2} \quad [Ec. 4.3]$$



**FIGURA 4.6**  
**ESQUEMA DEL TANQUE DE RECOLECCIÓN DE CONDENSADOS**  
**DIMENSIONES Y NIVELES DE LÍQUIDO**

Fuente: El autor

En la tabla 4.10 se muestra el caudal total de condensado que se recupera en el sistema de vapor del plantel El Alto.

**TABLA 4.10**  
**TOTAL RETORNO DE CONDENSADO PLANTEL EL ALTO**

Ramal	Caudal m <sup>3</sup> /h
Tanque 118	0,341
Planta Emulsiones	0,788
<b>TOTAL</b>	<b>1,129</b>

Fuente: El autor

#### **4.4.3 Medición de la purga continua de las calderas.**

La tabla 4.11 muestra los resultados de las mediciones realizadas para estimar la cantidad de purga continua de la caldera UB 414 se realizaron 3 mediciones del tiempo necesario para llenar un recipiente volumétrico calibrado de 20 L y se calculó el promedio, para la caldera UB 415 se realizaron 3 mediciones del tiempo necesario para llenar un recipiente graduado de 1 L y se calculó el promedio.

**TABLA 4.11**  
**MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL CAUDAL DE PURGA CONTINUA**

**PURGA CONTINUA CALDERA UB 414**

Medición Nº	Volumen		Tiempo		Caudal	
	L	m <sup>3</sup>	min	h	L/min	m <sup>3</sup> /h
1	20	0,020	16,40	0,273	1,220	0,073
2	20	0,020	16,78	0,280	1,192	0,072
3	20	0,020	15,80	0,263	1,266	0,076
<b>PROMEDIO</b>	<b>20,00</b>	<b>0,020</b>	<b>16,33</b>	<b>0,272</b>	<b>1,226</b>	<b>0,074</b>

**PURGA CONTINUA CALDERA UB 415**

Medición Nº	Volumen		Tiempo		Caudal	
	gal	m <sup>3</sup>	min	h	gal/min	m <sup>3</sup> /h
1	2	0,00757	1,49	0,025	1,341	0,304
2	2	0,00757	1,48	0,025	1,356	0,308
3	2	0,00757	1,50	0,025	1,331	0,302
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,00</b>	<b>0,00757</b>	<b>1,49</b>	<b>0,025</b>	<b>1,343</b>	<b>0,305</b>

Fuente: El autor

#### 4.4.4 Medición indirecta de las principales fugas de vapor.

La tabla 4.12 muestra los resultados de las mediciones realizadas para estimar las fugas de vapor principales en el sistema. Para las fugas N° 1 y N° 3, se midió la cantidad de condensado que se formó al entrar el vapor vivo en contacto con una superficie metálica a temperatura ambiente en un tiempo determinado, luego se calculó el caudal de condensado, para finalmente calcular el flujo de masa equivalente. Para la fuga N° 2, se realizaron tres mediciones y se calculó el promedio.

**TABLA 4.12**  
**MEDICIÓN INDIRECTA DE LAS PRINCIPALES FUGAS DE VAPOR**

**FUGA N° 1: VÁLVULA ENTRADA DE VAPOR - TANQUE 118**

Medición N°	Volumen Condensado		Tiempo		Caudal		Flujo Masa Vapor Equivalente
	mL	m <sup>3</sup>	min	h	L/min	m <sup>3</sup> /h	kg/h
1	150	0,000150	3,10	0,052	0,048387	0,002903	2,79

**FUGA N° 2: TUBERÍA TRAZADO DE VAPOR - LÍNEA SALIDA DE BÚNKER TANQUE 118**

Medición N°	Volumen Condensado		Tiempo		Caudal		Flujo Masa Vapor Equivalente
	mL	m <sup>3</sup>	min	h	L/min	m <sup>3</sup> /h	kg/h
1	950	0,000950	4,98	0,083	0,190635	0,011438	
2	1600	0,001600	9,08	0,151	0,176147	0,010569	
3	1500	0,001500	8,75	0,146	0,171429	0,010286	
<b>PROMEDIO</b>	<b>1 350,00</b>	<b>0,001350</b>	<b>7,61</b>	<b>0,127</b>	<b>0,179404</b>	<b>0,010764</b>	<b>10,35</b>

**FUGA N° 3: TRAMPA DE VAPOR - TANQUE 112**

Medición N°	Volumen Condensado		Tiempo		Caudal		Flujo Masa Vapor Equivalente
	mL	m <sup>3</sup>	min	h	L/min	m <sup>3</sup> /h	kg/h
1	200	0,000200	10,33	0,172	0,019355	0,001161	1,12

Fuente: El autor

En la tabla 4.13 se muestran los resultados de las estimaciones de pérdida de vapor directa en la fuga N° 4, la cual correspondía a una tubería de cobre de trazado de una tubería de búnker de 15,88 mm de diámetro nominal, la cual se encontraba totalmente partida, por lo que se consideró este como el diámetro de la fuga, para efectos de estimar a través de la presión del sistema, el flujo de vapor perdido.

**TABLA 4.13**  
**ESTIMACIÓN INDIRECTA DE LA FUGA DE VAPOR**  
**TUBERÍA DE TRAZADO DE LÍNEA PRINCIPAL DE BÚNKER**

**FUGA N° 4: TUBERÍA TRAZADO DE VAPOR - LÍNEA DE BÚNKER**

<b>UB 414</b>					
<b>Diámetro Tubería</b>		<b>Presión Vapor</b>		<b>Flujo de Vapor</b>	
<b>Pulg</b>	<b>mm</b>	<b>psig</b>	<b>kPa</b>	<b>lb/h</b>	<b>kg/h</b>
5/8	15,88	127,32	878,08	1 442,00	655,45

<b>UB 415</b>					
<b>Diámetro Tubería</b>		<b>Presión Vapor</b>		<b>Flujo de Vapor</b>	
<b>Pulg</b>	<b>mm</b>	<b>psig</b>	<b>kPa</b>	<b>lb/h</b>	<b>kg/h</b>
5/8	15,88	124,91	861,42	1 418,00	644,55

Fuente: El autor

#### **4.4.5 Medición de las dimensiones de los tanques de almacenamiento y sus aislamientos térmicos.**

La tabla 4.14 muestra los resultados de la medición de las dimensiones de los tanques de almacenamiento y sus diferentes espesores y tipos de aislamientos térmicos a efectos de realizar los cálculos de pérdidas de calor respectivos.

**TABLA 4.14**  
**DIMENSIONES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y SUS AISLAMIENTOS**

Tanque	Producto	Espesor aislamiento	Material aislante	Diámetro	Radio externo	Radio superficial	Altura	Área paredes	Área techo / tapas
		e		D	r <sub>i</sub>	r <sub>s</sub>	h	A <sub>p</sub>	A <sub>t</sub>
		mm		m	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
118	Búnker	50,80	Espuma Vidrio	22,220	11,110	11,161	12,534	878,95	391,33
112	Asfalto AC30	50,80	Espuma Vidrio	12,600	6,300	6,351	12,800	510,76	126,71
113	Asfalto AC30	38,10	Fibra Vidrio	13,065	6,533	6,571	12,200	503,67	135,63
114	Asfalto	50,80	Fibra Vidrio	13,065	6,533	6,583	12,200	504,64	136,16
150	Asfalto + Búnker	50,80	Espuma Vidrio	3,550	1,775	1,826	9,940	114,03	10,47
151	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,550	1,775	1,813	9,940	113,24	10,33
152	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,550	1,775	1,813	9,940	113,24	10,33
153	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,500	1,750	1,788	9,940	111,68	10,04
154	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,500	1,750	1,788	9,940	111,68	10,04
3	Agua p/ Solución	50,80	Espuma Vidrio	3,500	1,750	1,801	3,700	41,86	10,19
5	Solución Jabonosa	0,00	N/A	2,440	1,220	1,220	2,850	21,85	4,68
8	Solución Jabonosa	0,00	N/A	2,440	1,220	1,220	2,850	21,85	4,68
Condensados	Agua	38,10	Fibra Cerámica	1,600	0,800	0,838	3,150	16,59	2,21
Alimentación Agua Calderas	Agua	50,80	Fibra Cerámica	1,608	0,804	0,855	5,568	29,91	2,30

Fuente: El autor

**4.4.6 Medición de las dimensiones de las tuberías de trasiego de vapor, búnker y asfalto, y sus aislamientos térmicos a efectos de realizar los cálculos de pérdidas de calor respectivos.**

Las tablas 4.15, 4.16, y 4.17 muestran los resultados de la medición de las dimensiones de las tuberías de trasiego de vapor, búnker y asfalto que componen el sistema, así como sus diferentes espesores y tipos de aislamientos térmicos.

**TABLA 4.15**  
**DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE TRASIEGO DE VAPOR Y SUS AISLAMIENTOS**

Línea	Diámetro nominal	Radio externo	Espesor aislante	Material aislante	Radio superficial	Longitud	Área tubería/unidad de longitud	Área tubería	Área equivalente accesorios	Área total
	$D_{nom}$	$r_1$	$e$		$r_s$	$L$	$A / L$	$A$	$A_{eq}$	$A_t$
	mm	mm	mm		mm	m	$m^2 / m$	$m^2$	$m^2$	$m^2$
<b>V A P O R</b>	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	5,70	0,688	3,92	1,21	5,13
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	2,40	0,528	1,27	0,00	1,27
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	55,27	0,519	28,66	11,19	39,85
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	182,75	0,678	123,95	20,85	144,80
	100	57,15	50,80	Espuma Vidrio	107,95	3,05	0,678	2,07	0,00	2,07
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	9,15	0,359	3,28	0,50	3,79
	75	44,45	25,40	Fibra Vidrio	69,85	0,00	0,439	0,00	1,91	1,91
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	30,03	0,598	17,97	2,86	20,83
	75	44,45	0,00	Sin Aislante	44,45	19,00	0,279	5,30	0,22	5,53
	63	36,58	0,00	Sin Aislante	36,58	62,33	0,230	14,32	0,78	15,10
	50	30,16	25,40	Fibra Vidrio	55,56	25,79	0,349	9,00	6,48	15,49
	50	30,23	50,80	Silicato Calcio	81,03	48,14	0,509	24,51	4,56	29,07
	50	30,23	0,00	Sin Aislante	30,23	0,95	0,190	0,18	0,00	0,18
	38	24,13	50,80	Silicato Calcio	74,93	14,10	0,471	6,64	1,33	7,97
	25	16,70	25,40	Fibra Vidrio	42,10	19,99	0,265	5,29	0,00	5,29
	25	16,76	0,00	Sin Aislante	16,76	11,39	0,105	1,20	0,52	1,72
	19	13,46	50,80	Silicato Calcio	64,26	18,59	0,404	7,50	0,00	7,50
19	13,46	0,00	Sin Aislante	13,46	16,29	0,085	1,38	0,00	1,38	

Fuente: El autor

**TABLA 4.16**  
**DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE TRASIEGO DE BÚNKER C Y SUS AISLAMIENTOS**

Línea	Diámetro nominal	Radio externo	Espesor aislante	Material aislante	Radio superficial	Longitud	Área tubería/unidad de longitud	Área tubería	Área equivalente accesorios	Área total
	$D_{nom}$ mm	$r_1$ mm	$e$ mm		$r_s$ mm	$L$ m	$A / L$ $m^2 / m$	$A$ $m^2$	$A_{eg}$ $m^2$	$A_t$ $m^2$
<b>B Ú N K E R</b>	200	109,54	76,20	Espuma Vidrio	185,74	380,43	1,167	443,96	51,21	495,16
	200	109,54	0,00	Sin Aislante	109,54	1,96	0,688	1,35	1,30	2,65
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	18,50	0,847	15,67	16,50	32,17
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	33,19	0,847	28,13	0,00	28,13
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	96,73	0,528	51,09	2,16	53,25
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	172,00	0,678	116,66	3,83	120,49
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	0,00	0,359	0,00	2,16	2,16
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	0,00	0,598	0,00	19,68	19,68

Fuente: El autor

**TABLA 4.17**  
**DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE TRASIEGO DE ASFALTO Y SUS AISLAMIENTOS**

Línea	Diámetro nominal	Radio externo	Espesor aislante	Material aislante	Radio superficial	Longitud	Área tubería/unidad de longitud	Área tubería	Área equivalente accesorios	Área total
	$D_{nom}$ mm	$r_1$ mm	$e$ mm		$r_s$ mm	$L$ m	$A / L$ $m^2 / m$	$A$ $m^2$	$A_{eq}$ $m^2$	$A_t$ $m^2$
<b>A S F A L T O</b>	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	153,01	0,688	105,30	14,86	120,17
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	128,42	0,847	108,82	51,36	160,19
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	35,25	0,847	29,87	6,69	36,56
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	18,70	0,528	9,88	0,95	10,83
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	85,43	0,519	44,31	12,33	56,64
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	235,69	0,678	159,86	63,58	223,44
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	56,88	0,359	20,43	4,28	24,71
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	2,20	0,598	1,32	2,92	4,23
	75	44,45	0,00	Sin Aislante	44,45	0,50	0,279	0,14	0,34	0,48

Fuente: El autor

#### 4.5 Cálculo de la energía de entrada al sistema.

A continuación se muestra el cálculo de la energía química que entra al sistema en forma de búnker C, el cual es quemado en las calderas.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
CONSUMO BÚNKER ANUAL (VOLUMEN) = $V_c$	<b>m<sup>3</sup>/año</b> 1 465,27	<b>m<sup>3</sup>/año</b> 1 183,05
TEMPERATURA PROM. BÚNKER ATOMIZ. = $T_c$	<b>°C</b> 100,61	<b>°C</b> 100,61
DENSIDAD PROMEDIO BUNKER @ 100 °C = $d_c$	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 930,70	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 930,70
CONSUMO BÚNKER ANUAL (MASA) = $m_c = V_c * d_c$	<b>kg/año</b> 1 363 728,65	<b>kg/año</b> 1 101 066,28
PODER CALORÍFICO SUPERIOR BUNKER C = HHV	<b>MJ/kg</b> 41,80	<b>MJ/kg</b> 41,80
<b>ENERGÍA ENTRADA AL SISTEMA =</b> $Q_e = m_c * HHV$	<b>MJ/año</b> <b>57 003 857,59</b>	<b>MJ/año</b> <b>46 024 570,40</b>

#### 4.6 Cálculo de la energía aprovechable en el sistema.

A continuación se muestra el cálculo de la energía térmica contenida en el vapor producido en cada una de las calderas del sistema de vapor.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
	<b>kg/h</b>	<b>kg/h</b>
FLUJO DE MASA DE VAPOR = mv	2 303,86	2 154,27
	<b>h/año</b>	<b>h/año</b>
TIEMPO OPERACIÓN = t	8 760,00	8 760,00
	<b>* kJ/kg</b>	<b>** kJ/kg</b>
ENTALPA DEL VAPOR = * h @ P y T operación caldera ** hfg @ P operación caldera	2 059,06	2 021,00
	<b>MJ/año</b>	<b>MJ/año</b>
<b>ENERGÍA APROVECHABLE =</b> *Qap enfria+conden = mv * t * (h-hf) **Qap condensación = mv * t * (hg-hf)	<b>41 555 465,35</b>	<b>38 138 937,16</b>

#### 4.7 Cálculo de la pérdida de energía debido a la eficiencia de combustión de las calderas.

A continuación se muestra el cálculo de la energía perdida debido a la eficiencia de la combustión en las calderas del sistema.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
	<b>MJ/año</b>	<b>MJ/año</b>
ENERGÍA ENTRADA AL SISTEMA = $Q_e$	57 003 857,59	46 024 570,40
	<b>%</b>	<b>%</b>
EFICIENCIA CALDERA = $E$	80,45	85,65
	<b>MJ/año</b>	<b>MJ/año</b>
ENERGÍA PERDIDA POR EFICIENCIA CALDERA = $Q_{ef} = Q_e * (100-E)/100$	11 144 254,16	6 604 525,85

#### 4.8 Cálculo de la pérdida de energía debido a la purga continua de las calderas.

A continuación se muestra el cálculo de la energía perdida debido a la purga continua de las calderas.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
CAUDAL PURGAS = $V_p$	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,07355	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,30489
TEMPERATURA PURGAS = $T_p$	<b>°C</b> 96,00	<b>°C</b> 96,00
DENSIDAD AGUA PURGAS = $d_p @ T=T_{purga}$	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,13	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,13
FLUJO DE MASA PURGAS = $m_p = d_p * V_p$	<b>kg/h</b> 70,69	<b>kg/h</b> 293,04
TIEMPO PURGAS = $t_p$	<b>h/año</b> 8 760,00	<b>h/año</b> 8 760,00
PRESIÓN ABSOLUTA = $P$	<b>kPa</b> 979,38	<b>kPa</b> 962,72
PRESIÓN ATMOSFÉRICA = $P_{atm}$	<b>kPa</b> 101,3	<b>kPa</b> 101,3
ENTALPÍA LÍQUIDO @ $P_{atm}$ = $h_1 = h_f @ P_{atmosférica}$	<b>kJ/kg</b> 419,11	<b>kJ/kg</b> 419,11
ENTALPÍA LÍQUIDO @ $P_{cal}$ = $h_2 = h_f @ P_{cal}$	<b>kJ/kg</b> 759,00	<b>kJ/kg</b> 755,72
ENTALPÍA VAPOR @ $P_{cal}$ = $h_3 = h_g @ P_{cal}$	<b>kJ/kg</b> 2 777,39	<b>kJ/kg</b> 2 776,72
ENTALPÍA VAPOR @ $P_{atm}$ = $h_4 = h_g @ P_{atmosférica}$	<b>kJ/kg</b> 2 676,10	<b>kJ/kg</b> 2 676,10
% VAPOR INSTANTÁNEO = $\%VI=100*(h_2-h_1)/(h_4-h_1)$	<b>%</b> 15,06	<b>%</b> 14,91
<b>ENERGÍA PERDIDA POR PURGAS =</b> <b><math>Q_{pur} = m_p * t_p * (h_2-h_1) * (VI+1)</math></b>	<b>MJ/año</b> 242 170,50	<b>MJ/año</b> 992 965,20

#### 4.9 Cálculo de la pérdida de energía por radiación en las calderas.

A continuación se muestra el cálculo efectuado para determinar las pérdidas de energía por radiación en las calderas. Se estiman como la diferencia entre la energía de entrada al sistema, la energía perdida por la chimenea (eficiencia de combustión), la energía perdida por las purgas, y la energía disponible en el vapor producido por las calderas.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
	<b>MJ/año</b>	<b>MJ/año</b>
<b>ENERGÍA ENTRADA AL SISTEMA = Q<sub>e</sub></b>	57 003 857,59	46 024 570,40
<b>ENERGÍA PERDIDA POR PURGAS = Q<sub>pur</sub></b>	242 170,50	992 965,20
<b>ENERGÍA APROVECHABLE = Q<sub>ap</sub></b>	41 555 465,35	38 138 937,16
<b>ENERGÍA PERDIDA POR RADIACIÓN CALDERAS = Q<sub>rc</sub> = Q<sub>e</sub> - Q<sub>pur</sub> - Q<sub>ap</sub></b>	<b>15 206 221,73</b>	<b>6 892 668,03</b>

#### **4.10 Cálculo de la pérdida de energía debido a las principales fugas de vapor en el sistema.**

A continuación se muestran los cálculos de las pérdidas de energía debido a las principales fugas identificadas en el sistema.

##### **4.10.1 Fuga N°1: Fuga en válvula de entrada de vapor al tanque 118.**

En la figura N° 4.7 se muestra una imagen de la fuga N°1 presente en el vástago de la válvula de entrada de vapor al tanque 118.



**FIGURA 4.7**

**FUGA N° 1: FUGA EN VÁLVULA DE ENTRADA DE VAPOR AL TANQUE 118**

Fuente: El autor

A continuación se muestran los cálculos de la pérdida de energía debida a la fuga de vapor N° 1.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
CAUDAL FUGA = $V_f$	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,00290	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,00290
TEMPERATURA CONDENSADO FUGAS = $T_f$	<b>°C</b> 96	<b>°C</b> 96
DENSIDAD AGUA FUGAS = $d_f @ T=T_{purga}$	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,14	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,14
FLUJO DE MASA FUGA = $m_f = d_f * V_f$	<b>kg/h</b> 2,79	<b>kg/h</b> 2,79
TIEMPO FUGAS = $t_f$	<b>h/año</b> 8760	<b>h/año</b> 8760
FLUJO DE MASA ANUAL FUGAS = $m_f$	<b>kg/año</b> 24 443,90	<b>kg/año</b> 24 443,90
PRESIÓN ABSOLUTA = $P$	<b>kPa</b> 979,38	<b>kPa</b> 962,72
PRESIÓN ATMOSFÉRICA = $P_{atm}$	<b>kPa</b> 101,30	<b>kPa</b> 101,30
ENTALPA DEL VAPOR = * $\Delta h = h @ P_{cal}, T_{cal} - h_f @ P_{cal}$ ** $\Delta h = h_{fg} @ P_{cal}$	<b>* kJ/kg</b> 2 059,06	<b>** kJ/kg</b> 2 021,00
<b>ENERGÍA PERDIDA POR FUGAS =</b> $Q_f = m_f * t_f * \Delta h$	<b>MJ/año</b> 50 331,41	<b>MJ/año</b> 49 401,00

#### 4.10.2 Fuga N°2: Fuga en traza de vapor de la tubería de salida de búnker del tanque 118.

En la figura 4.8 se puede observar unas imágenes de la fuga N° 2, la cual consiste en una fuga de vapor por una unión en la tubería de trazo de 15.87 mm (5/8") de diámetro, en la tubería de descarga de búnker C del tanque 118.



**FIGURA 4.8**

**FUGA N° 2: FUGA EN TRAZA DE VAPOR DE TUBERÍA DE SALIDA DE BÚNKER C TANQUE 118**

Fuente: El autor

A continuación se muestran los cálculos de la pérdida de energía debida a la fuga de vapor N° 2.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
CAUDAL FUGA = $V_f$	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,01076	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,01076
TEMPERATURA CONDENSADO FUGAS = $T_f$	<b>°C</b> 96	<b>°C</b> 96
DENSIDAD AGUA FUGAS = $d_f @ T=T_{purga}$	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,14	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,14
FLUJO DE MASA FUGA = $m_f = d_f * V_f$	<b>kg/h</b> 10,35	<b>kg/h</b> 10,35
TIEMPO FUGAS = $t_f$	<b>h/año</b> 8760	<b>h/año</b> 8760
FLUJO DE MASA ANUAL FUGAS = $m_f$	<b>kg/año</b> 90 630,01	<b>kg/año</b> 90 630,01
PRESIÓN ABSOLUTA = $P$	<b>kPa</b> 979,38	<b>kPa</b> 962,72
PRESIÓN ATMOSFÉRICA = $P_{atm}$	<b>kPa</b> 101,30	<b>kPa</b> 101,30
ENTALPA DEL VAPOR = * $\Delta h = h @ P_{cal}, T_{cal} - h_f @ P_{cal}$ ** $\Delta h = h_{fg} @ P_{cal}$	<b>* kJ/kg</b> 2 059,06	<b>** kJ/kg</b> 2 021,00
<b>ENERGÍA PERDIDA POR FUGAS =</b> $Q_f = m_f * t_f * \Delta h$	<b>MJ/año</b> 186 612,48	<b>MJ/año</b> 183 162,84

#### **4.10.3 Fuga N°3: Fuga de vapor en trampa de vapor del tanque 112.**

En la figura 4.9 se puede observar una imagen de la fuga N° 3, la cual consiste en una fuga de vapor por el empaque del cuerpo de una trampa de vapor de balde invertido del tanque 112.



**FIGURA 4.9**

**FUGA N° 3: FUGA EN TRAMPA DE VAPOR DEL TANQUE 112**

Fuente: El autor

A continuación se muestran los cálculos de la pérdida de energía debida a la fuga de vapor N° 3.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
CAUDAL FUGA = $V_f$	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,00116	<b>m<sup>3</sup>/h</b> 0,00116
TEMPERATURA CONDENSADO FUGAS = $T_f$	<b>°C</b> 96	<b>°C</b> 96
DENSIDAD AGUA FUGAS = $d_f @ T=T_{purga}$	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,14	<b>kg/m<sup>3</sup></b> 961,14
FLUJO DE MASA FUGA = $m_f = d_f * V_f$	<b>kg/h</b> 1,12	<b>kg/h</b> 1,12
TIEMPO FUGAS = $t_f$	<b>h/año</b> 8760	<b>h/año</b> 8760
FLUJO DE MASA ANUAL FUGAS = $m_f$	<b>kg/año</b> 9 777,56	<b>kg/año</b> 9 777,56
PRESIÓN ABSOLUTA = $P$	<b>kPa</b> 979,38	<b>kPa</b> 962,72
PRESIÓN ATMOSFÉRICA = $P_{atm}$	<b>kPa</b> 101,30	<b>kPa</b> 101,30
ENTALPA DEL VAPOR = * $\Delta h = h @ P_{cal}, T_{cal} - h_f @ P_{cal}$ ** $\Delta h = h_{fg} @ P_{cal}$	<b>* kJ/kg</b> 2 059,06	<b>** kJ/kg</b> 2 021,00
<b>ENERGÍA PERDIDA POR FUGAS =</b> $Q_f = m_f * t_f * \Delta h$	<b>MJ/año</b> <b>20 132,56</b>	<b>MJ/año</b> <b>19 760,40</b>

#### 4.10.4 Fuga N°4: Fuga en traza de vapor de línea de salida de búnker del tanque 118.

En la figura N° 4.10 se muestran unas imágenes de la fuga en la traza de vapor de 15.87 mm (5/8") de diámetro de la línea de salida de búnker del tanque 118. Para efectos de estimar el flujo de vapor perdido se consideró como una tubería del diámetro nominal indicado totalmente abierta a la atmósfera, a la presión de operación del sistema, lo anterior debido a que la tubería de trazo se encontraba partida casi en la totalidad de su perímetro.



**FIGURA 4.10**

**FUGA N° 4: FUGA EN TRAZA DE VAPOR EN TUBERÍA DE SALIDA DE  
BÚNKER C DEL TANQUE 118**

Fuente: El autor

A continuación se muestran los cálculos de la pérdida de energía debida a la fuga de vapor N° 4.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
CAUDAL FUGA = Vf		
	<b>°C</b>	<b>°C</b>
TEMPERATURA CONDENSADO FUGAS = Tf	96	96
	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
DENSIDAD AGUA FUGAS = df @ T=Tpurga	961,14	961,14
	<b>kg/h</b>	<b>kg/h</b>
FLUJO DE MASA FUGA = mf = df * Vf	655,45	644,55
	<b>h/año</b>	<b>h/año</b>
TIEMPO FUGAS = tf	8760	8760
	<b>kg/año</b>	<b>kg/año</b>
FLUJO DE MASA ANUAL FUGAS = mf	5 741 781,82	5 646 218,18
	<b>kPa</b>	<b>kPa</b>
PRESIÓN ABSOLUTA = P	979,38	962,72
	<b>kPa</b>	<b>kPa</b>
PRESIÓN ATMOSFÉRICA = Patm	101,30	101,30
	<b>* kJ/kg</b>	<b>** kJ/kg</b>
ENTALPA DEL VAPOR = * Δh = h @ Pcal,Tcal - hf @ Pcal ** Δh = hfg @ Pcal	2 059,06	2 021,00
	<b>MJ/año</b>	<b>MJ/año</b>
<b>ENERGÍA PERDIDA POR FUGAS =</b> Qf = mf * tf * Δh	<b>11 822 663,73</b>	<b>11 410 981,42</b>

#### 4.11 Cálculo de las pérdidas de energía en tanques de almacenamiento.

La tabla 4.18 muestra los resultados de los cálculos efectuados para determinar las pérdidas de energía por conducción, radiación y convección en los tanques de almacenamiento de la planta de emulsiones en las condiciones de aislamiento actuales.

Para el cálculo de las pérdidas de calor en los tanques de almacenamiento con aislamiento térmico, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \frac{(T_1 - T_a) \times A \times H \times 36 \times 10^{-4}}{\left(\frac{e \times 10^{-3}}{k} + \frac{1}{f}\right)} \quad [Ec. 4.4]$$

Tomado y adaptado del libro: AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR, página 98.

Donde:

- $\dot{Q}$  es el flujo de calor ( MJ/año)
- $T_1$  es la temperatura de la superficie caliente (°C)
- $T_a$  es la temperatura ambiente (°C)
- $A$  es el área superficial (m<sup>2</sup>)
- $H$  es el tiempo de operación anual (h/año)
- $e$  es el espesor del aislamiento (mm)
- $k$  es la conductividad térmica a temperatura media  $(T_1+T_s)/2$  del aislante (W/m °C)

$f$  es el coeficiente de conductividad de la película de aire ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

Para el cálculo de las pérdidas de calor en los tanques de almacenamiento sin aislamiento térmico, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = U \times (T_1 - T_a) \times A \times H \times 36 \times 10^{-4} \quad [Ec. 4.5]$$

Tomado y adaptado del libro: AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR, página 99.

Donde:

$\dot{Q}$  es el flujo de calor ( MJ/año)

$T_1$  es la temperatura de la superficie caliente ( $^\circ C$ )

$T_a$  es la temperatura ambiente ( $^\circ C$ )

$A$  es el área superficial ( $m^2$ )

$H$  es el tiempo de operación anual (h/año)

$U$  es el coeficiente global de transferencia de calor ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

El detalle de los cálculos para cada tanque se puede observar en el anexo 2.

**TABLA 4.18**  
**PÉRDIDAS DE CALOR EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO**  
 **AISLAMIENTO ACTUAL**

Tanque	Producto	Espesor	Material	Calor
		aislamiento		aislante
		e		$Q_{tot}$
		mm		MJ / año
118	Búnker	50,80	Espuma Vidrio	1 738 602,52
112	Asfalto AC30	50,80	Espuma Vidrio	2 656 600,01
113	Asfalto AC30	38,10	Fibra Vidrio	2 687 418,65
114	Asfalto	50,80	Fibra Vidrio	1 845 725,92
150	Asfalto + Búnker	50,80	Espuma Vidrio	479 012,57
151	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	107 615,63
152	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	105 913,09
153	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	108 102,69
154	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	106 009,04
5	Solución Jabonosa	0,00	N/A	15 471,94
8	Solución Jabonosa	0,00	N/A	15 471,94
Alimentación Agua Calderas	Agua	50,80	Fibra Cerámica	68 849,91
<b>TOTAL</b>				<b>9 934 793,92</b>

Fuente: El autor

#### 4.12 Cálculo de las pérdidas de energía en las tuberías del sistema.

La tabla 4.19 muestra los resultados de los cálculos efectuados para determinar las pérdidas de energía por conducción, radiación y convección en las tuberías que conforman el sistema de vapor y la planta de emulsiones asfálticas del plantel El Alto para cada una de las calderas existentes.

Para el cálculo de las pérdidas de calor en tuberías con aislamiento térmico se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \frac{(T_1 - T_a) \times A \times H \times 36 \times 10^{-4}}{r_s \times 10^{-3} \times \frac{\ln\left(\frac{r_s}{r_1}\right)}{k} + \frac{1}{f}} \quad [Ec. 4.6]$$

Tomado y adaptado del libro: AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR, página 99.

Donde:

- $\dot{Q}$  es el flujo de calor ( MJ/año)
- $T_1$  es la temperatura de la superficie caliente (°C)
- $T_a$  es la temperatura ambiente (°C)
- $A$  es el área superficial (m<sup>2</sup>)
- $H$  es el tiempo de operación anual (h/año)
- $r_1$  es el radio exterior del tubo (mm)
- $e$  es el espesor del aislamiento (mm)

- $r_s$  es el radio exterior del tubo + el espesor de aislamiento (mm)
- $k$  es la conductividad térmica a temperatura media  $(T_1+T_s)/2$  del aislante (W/m °C)
- $f$  es el coeficiente de conductividad de la película de aire (W/m<sup>2</sup> °C)

Para el cálculo de las pérdidas de calor en tuberías sin aislamiento térmico se utilizó la ecuación Ec. 4.5 anterior. El detalle de los cálculos para cada tramo de tubería se puede observar en el anexo 3.

**TABLA 4.19**  
**PÉRDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS**  
**SISTEMA DE VAPOR Y PLANTA DE EMULSIONES (AISLAMIENTO ACTUAL)**

LÍNEA	PÉRDIDA DE CALOR	
	UB 414 (MJ/año)	UB 415 (MJ/año)
Vapor	5 290 472,40	4 659 011,73
Búnker C	1 760 002,28	1 760 002,28
Asfalto AC30	5 503 937,75	5 503 937,75
<b>Total</b>	<b>12 554 412,43</b>	<b>11 922 951,76</b>

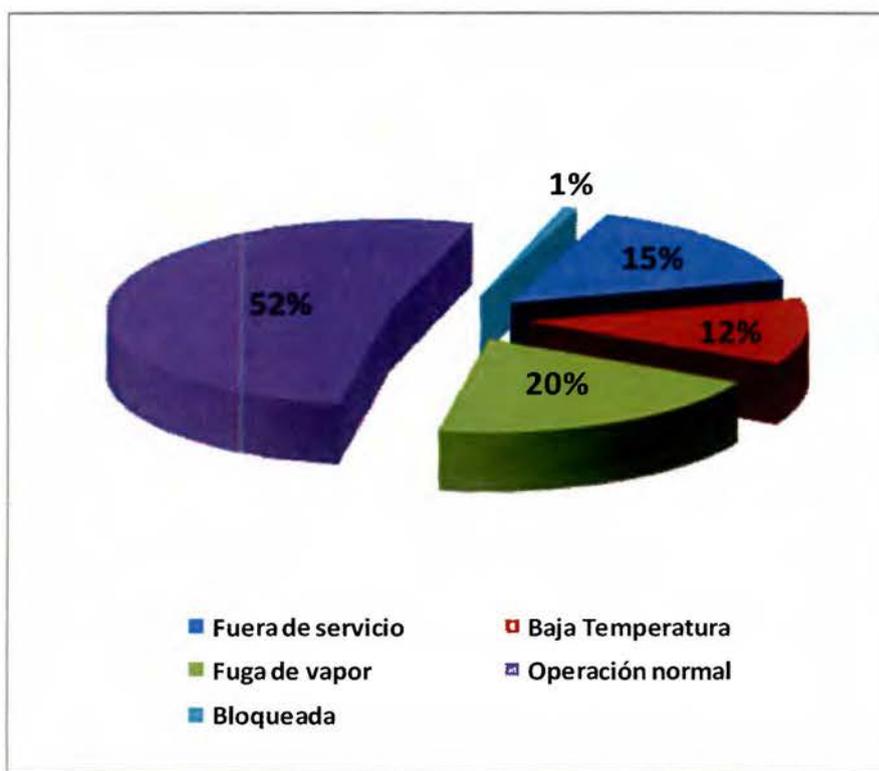
#### **4.13 Estimación de la pérdida de energía a través de las trampas de vapor del sistema.**

En vista de que el cálculo de las pérdidas de vapor, y consecuentemente de energía, a través de las trampas de vapor no es una labor sencilla por métodos analíticos, se contrató a la empresa TECNOSAGOT S.A. para realizar el diagnóstico del estado de todas las trampas del sistema utilizando el equipo TRAPMAN y el software TRAPMANAGER, desarrollados por la empresa japonesa TLV. Este instrumento analiza el funcionamiento de las trampas mediante técnicas de ultrasonido y medición de la temperatura superficial, determinando si estas se encuentran operando de manera correcta, o bien, si presentan condiciones anormales de operación. Cuando se determina una operación incorrecta de la trampa, se le asigna una clasificación del nivel de fuga, y se calcula la pérdida de vapor anual correspondiente.

De las 129 trampas de vapor inventariadas en el sistema, 20 se encontraban fuera de servicio, por lo que solo se inspeccionaron 109 unidades. De estas, se encontraron 67 unidades operando correctamente, 15 unidades con baja temperatura, 26 trampas fugando vapor y 1 trampa bloqueada.

En la figura 4.11 se muestra la distribución porcentual de la condición de operación de las trampas del sistema de vapor según el diagnóstico realizado por la empresa TECNOSAGOT S.A.

Los resultados detallados del diagnóstico se muestran en el anexo D. En el informe se puede observar información relevante como: la condición de operación (buena, fuga/nivel de fuga, baja temperatura y bloqueada), la pérdida de vapor anual (ton/año), la temperatura superficial, y una estimación de la pérdida económica anual para cada una de las trampas.



**FIGURA 4.11**

**CONDICIÓN DE OPERACIÓN DE LAS TRAMPAS DE VAPOR DEL SISTEMA**

Fuente: El autor

A continuación se muestra el cálculo de la energía perdida debido a la mala operación de las trampas de vapor del sistema.

La pérdida de vapor anual estimada mediante el diagnóstico realizado con el equipo TRAPMAN y el software TRAPMANAGER de TLV fue de: 888 000 kg/año.

	<b>UB 414</b>	<b>UB 415</b>
	<b>kg/año</b>	<b>kg/año</b>
PÉRDIDA DE VAPOR POR TRAMPAS mtram	888 000,00	888 000,00
	<b>* kJ/kg</b>	<b>** kJ/kg</b>
ENTALPA DEL VAPOR = * Δh = h @ Pcal,Tcal - hf @ Pcal ** Δh = hfg @ Pcal	2 059,06	2 021,00
	<b>MJ/año</b>	<b>MJ/año</b>
ENERGÍA PERDIDA POR TRAMPAS = Qtram = mtram * Δh	1 828 443,80	1 794 643,98

#### 4.14 Cálculo de la energía necesaria para el calentamiento de los diferentes productos que se almacenan y procesan en el sistema.

A continuación se muestran los resultados de los cálculos de la energía necesaria para el calentamiento de los diferentes productos que ingresan y salen del sistema, tanto para la producción de emulsión asfáltica como para la venta directa a los clientes.

El calor demandado en cada caso se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q_d = \frac{\dot{m} c_p (T - T_o)}{1000 \eta} \quad [Ec. 4.7]$$

Donde:

$Q_d$  : Calor demandado para calentamiento del producto que entra al sistema en MJ/año

$\dot{m}$  : Flujo de masa de producto en kg/año

$T$  : Temperatura final del producto en °C

$T_o$  : Temperatura inicial del producto en °C

$\eta$  : Eficiencia global del intercambiador de calor

Se estima una eficiencia global de transferencia de calor en los intercambiadores de un 80%, lo anterior, debido a que no se conoce la configuración, diseño, ni estado de los mismos, que permita hacer un cálculo detallado para cada uno de los tanques.

La tabla 4.20 muestra la energía demandada para el calentamiento que ingresa al sistema anualmente.

**TABLA 4.20**  
**CALOR DEMANDADO PARA EL CALENTAMIENTO DE LOS PRODUCTOS**  
**QUE INGRESAN AL SISTEMA**

PRODUCTO	CALOR DEMANDADO	
	MJ/año	MBTU/año
Recibo de búnker C TK 118	181 104,61	171,66
Consumo de búnker C planta emulsiones TK 150	150 115,46	142,29
Consumo de asfalto planta emulsiones TK 150	-206 928,63	-196,14
Consumo neto TK 150	-56 813,17	-53,85
Recibo de asfalto TK 112	107 252,59	101,66
Recibo de asfalto TK 113	178 259,06	168,97
Recibo de asfalto TK 114	45 186,11	42,83
Producción de emulsiones TK 151,152,153,154	-1 039 225,77	-985,05
Consumo solución jabonosa TK 5, 8	328 711,43	311,57
<b>TOTAL POSITIVOS</b>	<b>840 513,79</b>	<b>742,84</b>

Fuente: El Autor

#### 4.15 Cálculo de la energía necesaria para calentar el agua de alimentación de las calderas a la temperatura deseada.

A continuación se muestran los cálculos para determinar la energía necesaria para calentar el agua de alimentación de las calderas a la temperatura promedio actual, que corresponde a 76,97 °C y 80,13 °C, producto de una recuperación de condensados de 46% y 44%, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

	RECUPERACIÓN ACTUAL CONDENSADOS			
	UB 414		UB 415	
	kg/año	%	kg/año	%
FLUJO DE MASA PROMEDIO DE VAPOR = mv	20 181 781,56	97%	18 871 361,94	88%
FLUJO DE MASA DE PURGAS = mp	619 249,24	3%	2 567 007,28	12%
FLUJO DE MASA TOTAL = mt	20 801 030,80	100%	21 438 369,22	100%
FLUJO DE MASA RETORNO DE CONDENSADOS = mc	9 509 689,30	46%	9 509 689,30	44%
FLUJO DE MASA AGUA REPOSICIÓN = mr = mt - mc	11 291 341,50	54%	11 928 679,92	56%
ENTALPÍA AGUA ALIMENTACIÓN = * hal = hf @ 76.97 °C y Patm ** hal = hf @ 80.13 °C y Patm	* kJ/kg 322,22		** kJ/kg 335,48	
ENTALPÍA CONDENSADOS = hc = hf @ 96 °C y Patm	402,17		402,17	
ENTALPÍA AGUA REPOSICIÓN = hr = hf @ 19°C y Patm	79,85		79,85	
<b>ENERGÍA CALENTAMIENTO AGUA ALIM @ Tai = Qena = mt*hal-mc*hc-mr*hr</b>	<b>MJ/año</b> 1 976 499,02		<b>MJ/año</b> 2 415 083,86	

#### **4.16 Balance de energía del sistema.**

La tabla 4.21 y la figura 4.12 muestran el balance de energía del sistema para las dos condiciones de operación del sistema, con la caldera acuatubular UB 414 y con la caldera igneotubular UB 415.

Del total de la energía que ingresa al sistema en forma de combustible, se pierde el 19,55% y 14,35% en el proceso de combustión, y un 0,42% y 2,16% en la purga continua de las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Según los registros de operación de las calderas, se calculó la producción promedio de vapor para ambas calderas en un periodo dado, resultando que la energía disponible en el mismo alcanzó un valor del 72,90% y 82,87% de la energía de entrada al sistema, lo anterior, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Las pérdidas por radiación de las calderas se estimaron en un 7,13% y 0,63% de la energía de entrada al sistema, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

De la energía de entrada al sistema, el 17,43% y 21,59% se pierde por conducción, radiación y convección en los tanques de almacenamiento, mientras que en las tuberías que conforman el sistema se pierden un 22,02% y un 25,91%, lo anterior para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

La pérdida de energía debida a las fugas de vapor en las trampas del sistema representa un 3,21% y 3,9% de la energía de entrada, lo anterior, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Un 21,19% y un 25,34% de la energía que ingresa al sistema se pierde en las principales fugas identificadas, lo anterior operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Al no recuperar los condensados que se forman en las diferentes partes del sistema, se pierden un 3,47% y un 5,25% de la energía que ingresa al sistema, lo anterior, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

El calor demandado para el calentamiento de los productos que ingresan anualmente al plantel representa un 1,47% y 1,83% del total de energía que ingresa al sistema, lo anterior para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

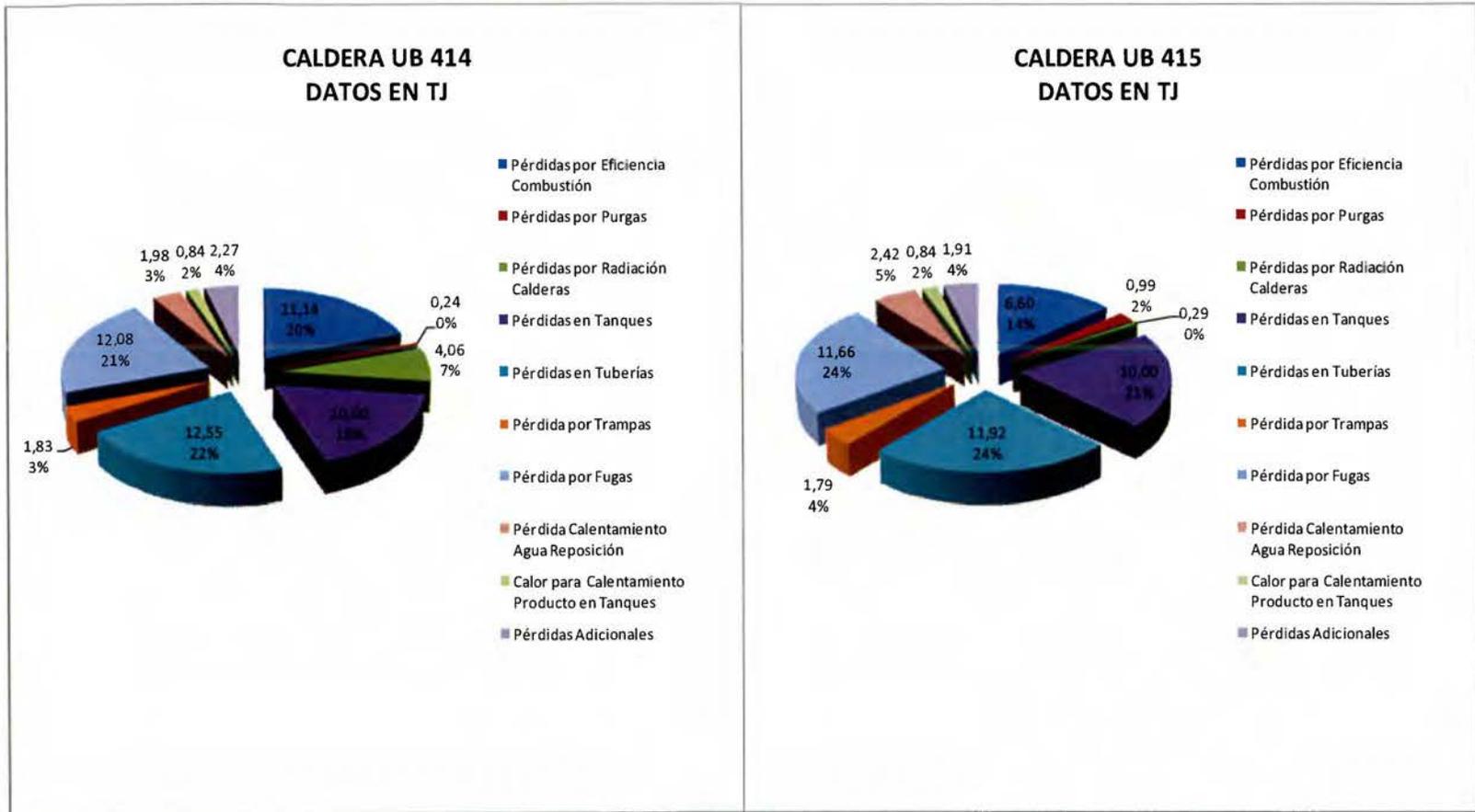
Finalmente, para cerrar el balance de energía, queda un remanente de un 4,11% y 4,31% de la energía de entrada, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Este remanente, denominado “pérdidas adicionales”, se atribuye principalmente a fugas en accesorios del sistema de tuberías y trampas de vapor que no fue posible cuantificar, además, a la imprecisión en los cálculos realizados a lo largo del proyecto.

**TABLA 4.21**  
**BALANCE DE ENERGÍA DEL SISTEMA**

	UB 414			UB 415		
	MJ/año	MBTU/año	%	MJ/año	MBTU/año	%
<b>Energía de entrada</b>	<b>57 003 857,59</b>	<b>54 032,09</b>	<b>100,00%</b>	<b>46 024 570,40</b>	<b>54 501,58</b>	<b>100,00%</b>
Pérdida por eficiencia de combustión calderas	11 144 254,16	10 562,69	19,55%	6 604 525,85	6 259,87	14,35%
<b>Energía disponible después de eficiencia combustión</b>	<b>45 859 603,43</b>	<b>43 469,40</b>	<b>80,45%</b>	<b>39 420 044,54</b>	<b>48 241,71</b>	<b>85,65%</b>
Pérdidas de calor por purgas	242 170,50	229,55	0,42%	992 965,20	941,20	2,16%
Pérdidas por radiación calderas	4 061 967,57	3 850,79	7,13%	288 142,18	11 149,86	0,63%
<b>Energía disponible en el vapor</b>	<b>41 555 465,35</b>	<b>39 389,07</b>	<b>72,90%</b>	<b>38 138 937,16</b>	<b>36 150,65</b>	<b>82,87%</b>
Pérdidas de calor en tanques	9 934 793,92	9 416,34	17,43%	9 934 793,92	9 416,34	21,59%
Pérdidas de calor en tuberías	12 554 412,43	11 899,66	22,02%	11 922 951,75	11 301,13	25,91%
Pérdida de calor por trampas	1 828 443,80	2 943,91	3,21%	1 794 643,98	2 889,49	3,90%
Pérdida de calor por fugas	12 079 740,18	11 449,99	21,19%	11 663 305,66	11 055,27	25,34%
Calor necesario para calentar el agua de reposición	1 976 499,02	1 873,36	3,47%	2 415 083,86	2 289,05	5,25%
<b>Energía disponible para calentamiento</b>	<b>3 181 576,01</b>	<b>1 805,82</b>	<b>5,58%</b>	<b>2 823 241,85</b>	<b>1 488,43</b>	<b>6,13%</b>
Calor demandado para calentamiento de tanques	840 513,79	742,84	1,47%	840 513,79	742,84	1,83%
Pérdidas adicionales	2 341 062,21	1 062,97	4,11%	1 982 728,05	745,58	4,31%

Fuente: El Autor

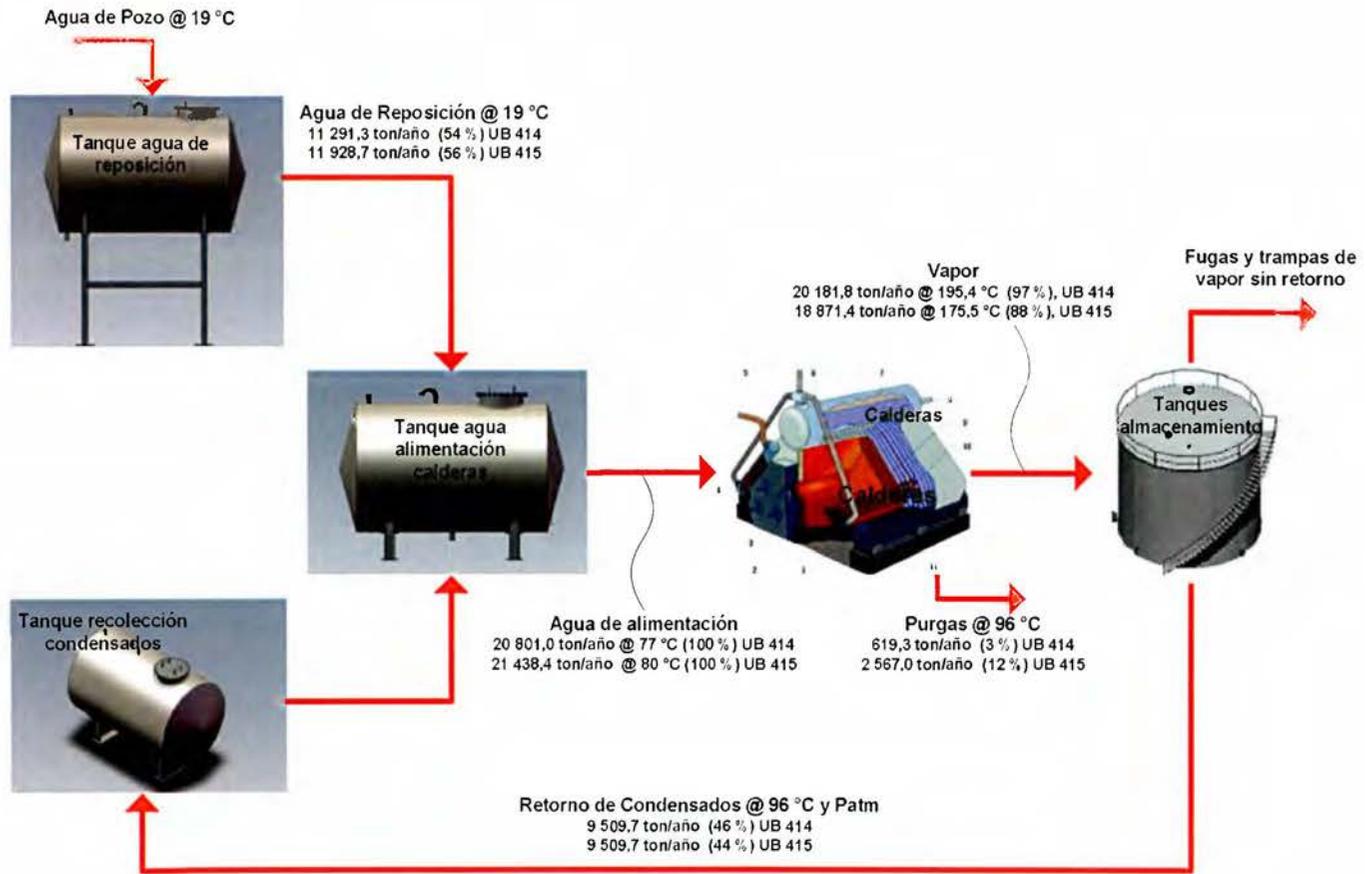


**FIGURA 4.12**  
**BALANCE DE ENERGÍA DEL SISTEMA**

Fuente: El autor

#### **4.17 Balance de masa del sistema.**

La figura 4.13 muestra el balance de masa del sistema, en el se puede observar que el porcentaje de recuperación de condensados del sistema ronda entre un 44% y un 46%, operando con la caldera UB 414 o la caldera UB 415, respectivamente.



**FIGURA 4.13**  
**BALANCE DE MASA DEL SISTEMA**

Fuente: El autor

#### **4.18 Balances de energía y masa de los componentes del sistema.**

La tabla 4.22 muestra los balances de energía y masa de los principales componentes del sistema de vapor del plantel El Alto.

Los porcentajes calculados representan la energía demandada con respecto a la energía de entrada al sistema para cada uno de los casos, y dicho porcentaje se aplicó de manera proporcional al flujo total de vapor producido, con la finalidad de estimar los flujos de vapor demandados por cada componente.

TABLA 4.22

## BALANCE DE ENERGÍA Y MASA DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

EQUIPO GENERADOR/CONSUMIDOR		UB 414			UB 415		
		MJ/año	%	Kg/año vapor	MJ/año	%	Kg/año vapor
Caldera	Energía entregada	41 555 465,35	72,90%	14 712 395,97	38 138 937,16	82,87%	15 638 031,62
	Calor perdido	15 448 392,23	27,10%	5 469 385,60	7 885 633,23	17,13%	3 233 330,32
	<b>Total</b>	<b>57 003 857,59</b>	<b>100,00%</b>	<b>20 181 781,56</b>	<b>46 024 570,40</b>	<b>100,00%</b>	<b>18 871 361,94</b>
Tanque 118	Calor demandado	181 104,61	0,32%	64 118,71	181 104,61	0,39%	74 257,96
	Calor perdido	1 738 602,52	3,05%	615 538,98	1 738 602,52	3,78%	712 875,69
	<b>Subtotal</b>	<b>1 919 707,12</b>	<b>3,37%</b>	<b>679 657,68</b>	<b>1 919 707,12</b>	<b>4,17%</b>	<b>787 133,65</b>
Tanque 112	Calor demandado	107 252,59	0,19%	37 971,96	107 252,59	0,23%	43 976,56
	Calor perdido	2 656 600,01	4,66%	940 549,00	2 656 600,01	5,77%	1 089 280,35
	<b>Subtotal</b>	<b>2 763 852,59</b>	<b>4,85%</b>	<b>978 520,96</b>	<b>2 763 852,59</b>	<b>6,01%</b>	<b>1 133 256,92</b>
Tanque 113	Calor demandado	178 259,06	0,31%	63 111,26	178 259,06	0,39%	73 091,20
	Calor perdido	2 687 418,65	4,71%	951 460,10	2 687 418,65	5,84%	1 101 916,86
	<b>Subtotal</b>	<b>2 865 677,71</b>	<b>5,03%</b>	<b>1 014 571,36</b>	<b>2 865 677,71</b>	<b>6,23%</b>	<b>1 175 008,06</b>
Tanque 114	Calor demandado	45 186,11	0,08%	15 997,80	45 186,11	0,10%	18 527,57
	Calor perdido	1 845 725,92	3,24%	653 465,20	1 845 725,92	4,01%	756 799,28
	<b>Subtotal</b>	<b>1 890 912,03</b>	<b>3,32%</b>	<b>669 463,00</b>	<b>1 890 912,03</b>	<b>4,11%</b>	<b>775 326,85</b>
Tanque 150	Calor demandado	-56 813,17	-0,10%	-20 114,27	-56 813,17	-0,12%	-23 294,99
	Calor perdido	479 012,57	0,84%	169 590,75	479 012,57	1,04%	196 408,56
	<b>Subtotal</b>	<b>422 199,41</b>	<b>0,74%</b>	<b>149 476,48</b>	<b>422 199,41</b>	<b>0,92%</b>	<b>173 113,57</b>
Tanque 151	Calor demandado	-259 806,44	-0,46%	-91 982,49	-259 806,44	-0,56%	-106 527,91
	Calor perdido	107 615,63	0,19%	38 100,50	107 615,63	0,23%	44 125,42
	<b>Subtotal</b>	<b>-152 190,81</b>	<b>-0,27%</b>	<b>-53 882,00</b>	<b>-152 190,81</b>	<b>-0,33%</b>	<b>-62 402,49</b>
Tanque 152	Calor demandado	-259 806,44	-0,46%	-91 982,49	-259 806,44	-0,56%	-106 527,91
	Calor perdido	105 913,09	0,19%	37 497,72	105 913,09	0,23%	43 427,33
	<b>Subtotal</b>	<b>-153 893,35</b>	<b>-0,27%</b>	<b>-54 484,77</b>	<b>-153 893,35</b>	<b>-0,33%</b>	<b>-63 100,58</b>
Tanque 153	Calor demandado	-259 806,44	-0,46%	-91 982,49	-259 806,44	-0,56%	-106 527,91
	Calor perdido	108 102,69	0,19%	38 272,94	108 102,69	0,23%	44 325,13
	<b>Subtotal</b>	<b>-151 703,75</b>	<b>-0,27%</b>	<b>-53 709,56</b>	<b>-151 703,75</b>	<b>-0,33%</b>	<b>-62 202,78</b>
Tanque 154	Calor demandado	-259 806,44	-0,46%	-91 982,49	-259 806,44	-0,56%	-106 527,91
	Calor perdido	106 009,04	0,19%	37 531,69	106 009,04	0,23%	43 466,67
	<b>Subtotal</b>	<b>-153 797,40</b>	<b>-0,27%</b>	<b>-54 450,80</b>	<b>-153 797,40</b>	<b>-0,33%</b>	<b>-63 061,24</b>
Tanque 5	Calor demandado	164 355,71	0,29%	58 188,89	164 355,71	0,36%	67 390,44
	Calor perdido	15 471,94	0,03%	5 477,72	15 471,94	0,03%	6 343,93
	<b>Subtotal</b>	<b>179 827,66</b>	<b>0,32%</b>	<b>63 666,61</b>	<b>179 827,66</b>	<b>0,39%</b>	<b>73 734,37</b>
Tanque 8	Calor demandado	164 355,71	0,29%	58 188,89	164 355,71	0,36%	67 390,44
	Calor perdido	15 471,94	0,03%	5 477,72	15 471,94	0,03%	6 343,93
	<b>Subtotal</b>	<b>179 827,66</b>	<b>0,32%</b>	<b>63 666,61</b>	<b>179 827,66</b>	<b>0,39%</b>	<b>73 734,37</b>
Tanque Alimentación Agua Calderas	Calor demandado	1 976 499,02	3,47%	699 764,42	1 976 499,02	4,29%	810 419,91
	Calor perdido	68 849,91	0,12%	24 375,79	68 849,91	0,15%	28 230,39
	<b>Subtotal</b>	<b>2 045 348,93</b>	<b>3,59%</b>	<b>724 140,21</b>	<b>2 045 348,93</b>	<b>4,44%</b>	<b>838 650,30</b>
Tanques en General	Calor demandado	2 817 012,81	4,94%	997 341,93	2 817 012,81	6,12%	1 155 054,09
	Calor perdido	9 934 793,92	17,43%	3 517 338,11	9 934 793,92	21,59%	4 073 543,55
	<b>Subtotal</b>	<b>12 751 806,73</b>	<b>22,37%</b>	<b>4 514 680,04</b>	<b>12 751 806,73</b>	<b>27,71%</b>	<b>5 228 597,64</b>
Tuberías de Vapor	Calor demandado	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%	0,00
	Calor perdido	5 290 472,40	9,28%	1 873 051,46	4 659 011,73	10,12%	1 910 325,20
	<b>Subtotal</b>	<b>5 290 472,40</b>	<b>9,28%</b>	<b>1 873 051,46</b>	<b>4 659 011,73</b>	<b>10,12%</b>	<b>1 910 325,20</b>
Tuberías de Búnker	Calor demandado	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%	0,00
	Calor perdido	1 760 002,28	3,09%	623 115,40	1 760 002,28	3,82%	721 650,19
	<b>Subtotal</b>	<b>1 760 002,28</b>	<b>3,09%</b>	<b>623 115,40</b>	<b>1 760 002,28</b>	<b>3,82%</b>	<b>721 650,19</b>
Tuberías de Asfalto	Calor demandado	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%	0,00
	Calor perdido	5 503 937,75	9,66%	1 948 627,23	5 503 937,75	11,96%	2 256 768,51
	<b>Subtotal</b>	<b>5 503 937,75</b>	<b>9,66%</b>	<b>1 948 627,23</b>	<b>5 503 937,75</b>	<b>11,96%</b>	<b>2 256 768,51</b>
Tuberías en General	Calor demandado	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%	0,00
	Calor perdido	12 554 412,43	22,02%	4 444 794,09	11 922 951,75	25,91%	4 888 743,90
	<b>Subtotal</b>	<b>12 554 412,43</b>	<b>22,02%</b>	<b>4 444 794,09</b>	<b>11 922 951,75</b>	<b>25,91%</b>	<b>4 888 743,90</b>

Fuente: El autor

La figura 4.14 muestra el balance de energía y masa para la caldera UB 414.

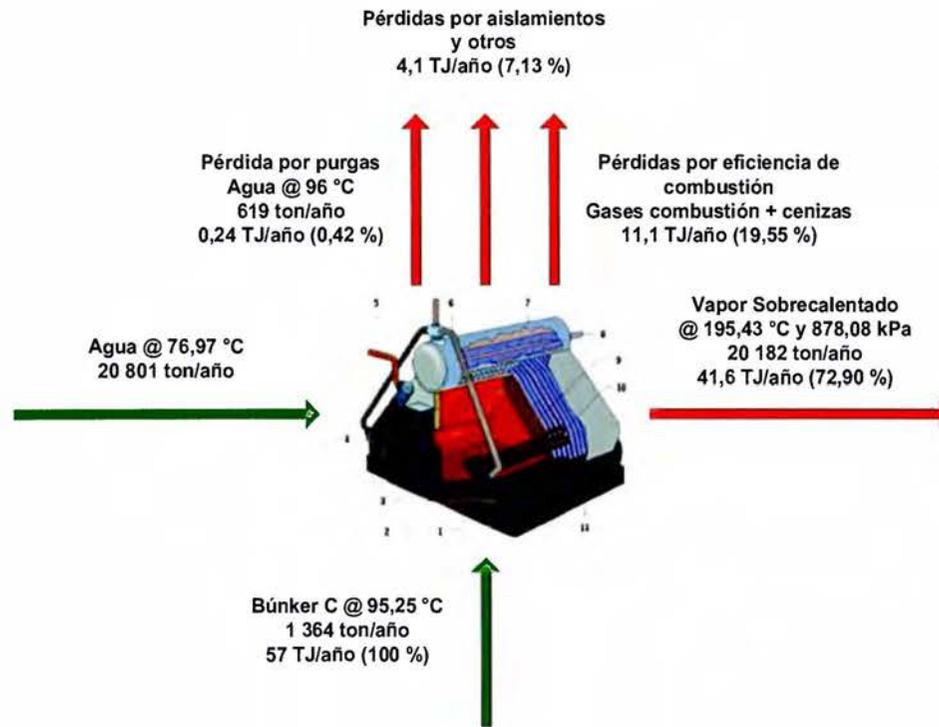


FIGURA 4.14

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA - CALDERA UB 414

Fuente: El autor

La figura 4.15 muestra el balance de energía y masa para la caldera UB 415.

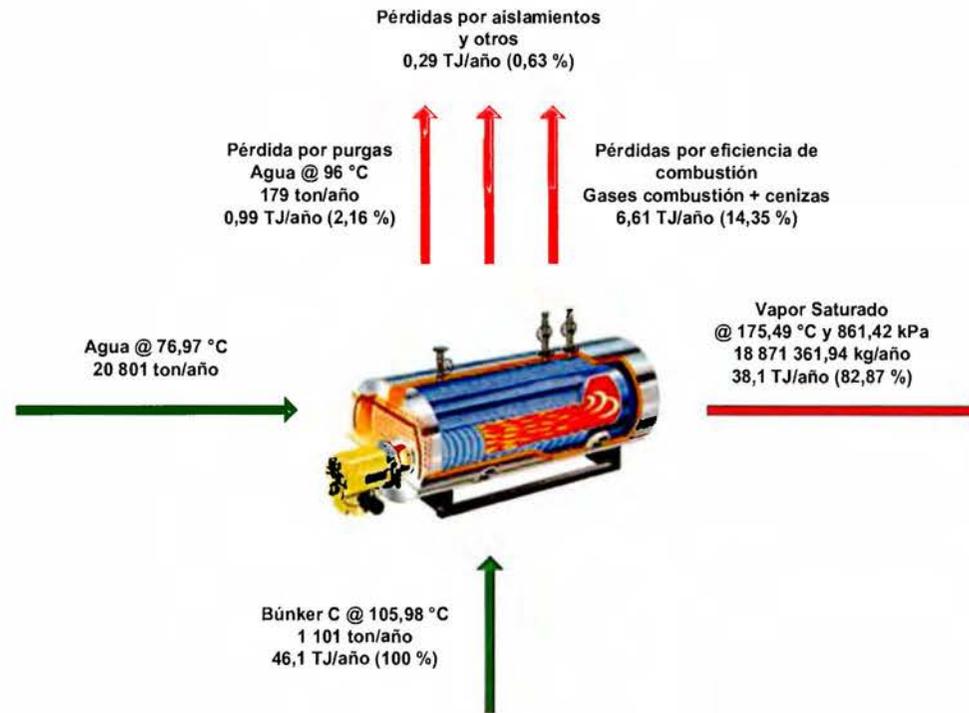


FIGURA 4.15

**BALANCE DE ENERGÍA Y MASA - CALDERA UB 415**

Fuente: El autor

La figura 4.16 muestra el balance de energía y masa para el tanque 118 de almacenamiento de búnker C.

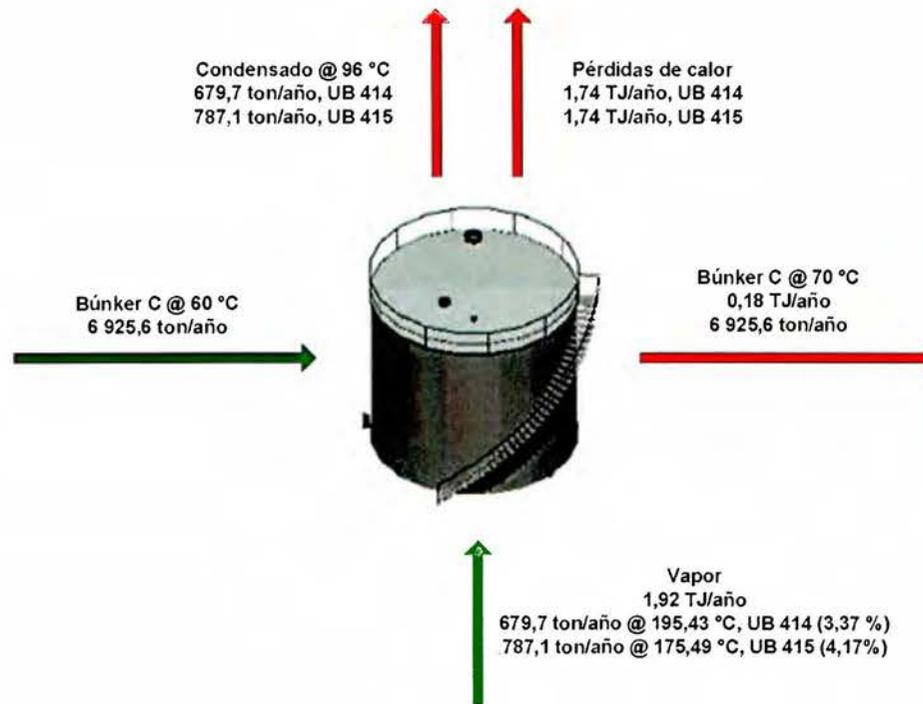


FIGURA 4.16

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUE 118

Fuente: El autor

La figura 4.17 muestra el balance de energía y masa para el tanque 112 de almacenamiento de asfalto.

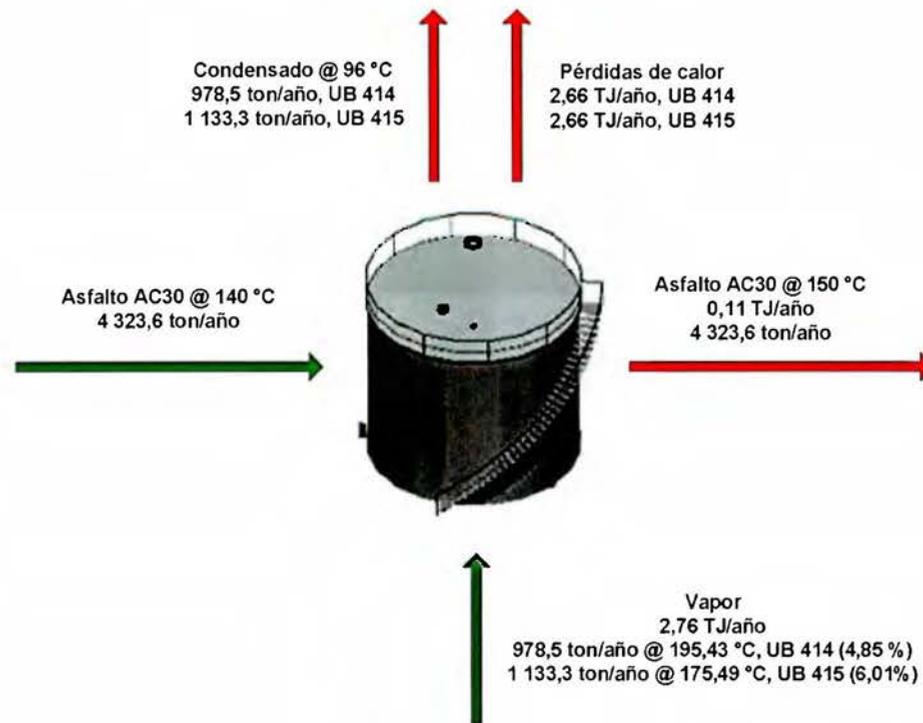


FIGURA 4.17

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUE 112

Fuente: El autor

La figura 4.18 muestra el balance de energía y masa para el tanque 113 de almacenamiento de asfalto.



FIGURA 4.18

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUE 113

Fuente: El autor

La figura 4.19 muestra el balance de energía y masa para el tanque 114 de almacenamiento de asfalto.

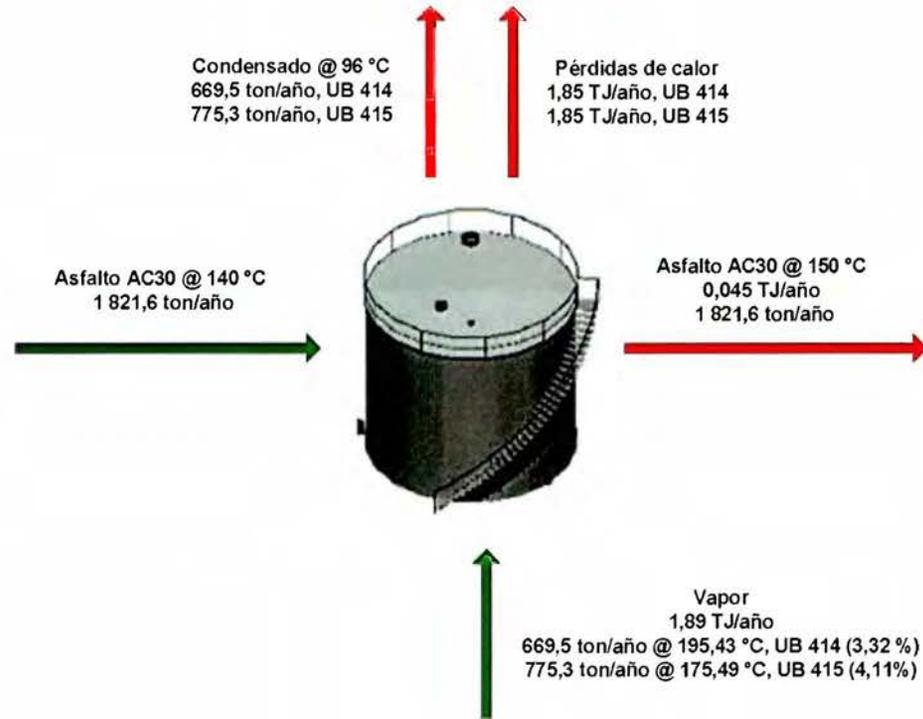


FIGURA 4.19

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUE 114

Fuente: El autor

La figura 4.20 muestra el balance de energía y masa para el tanque 150 de almacenamiento de asfalto y búnker.

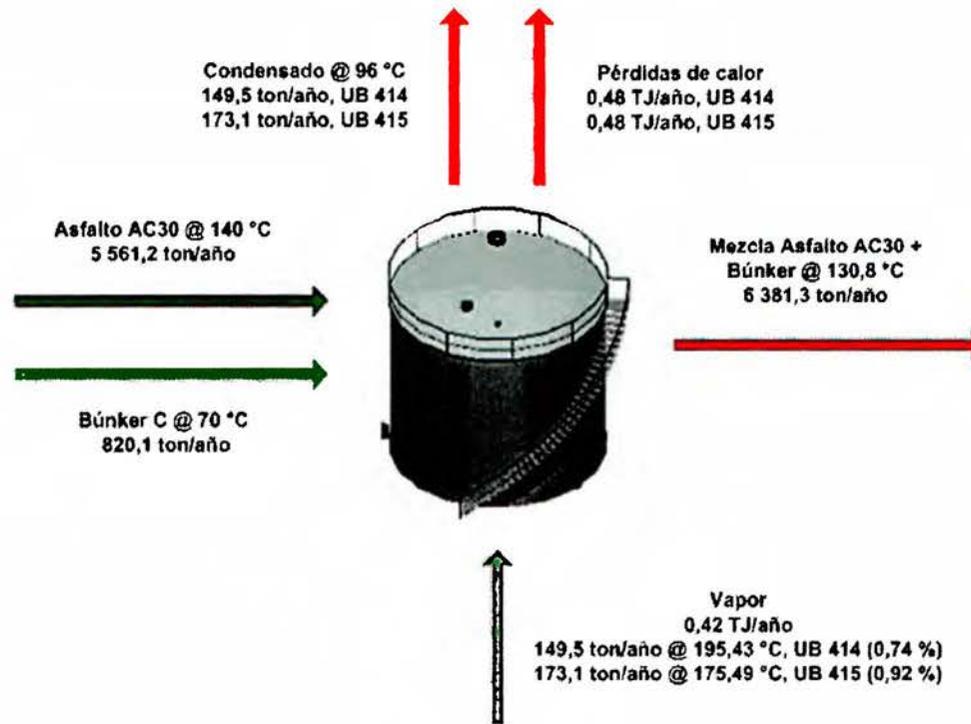


FIGURA 4.20

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUE 150

Fuente: El autor

La figura 4.21 muestra el balance de energía y masa para los tanques 151, 152, 153 y 154 de almacenamiento de emulsión asfáltica.

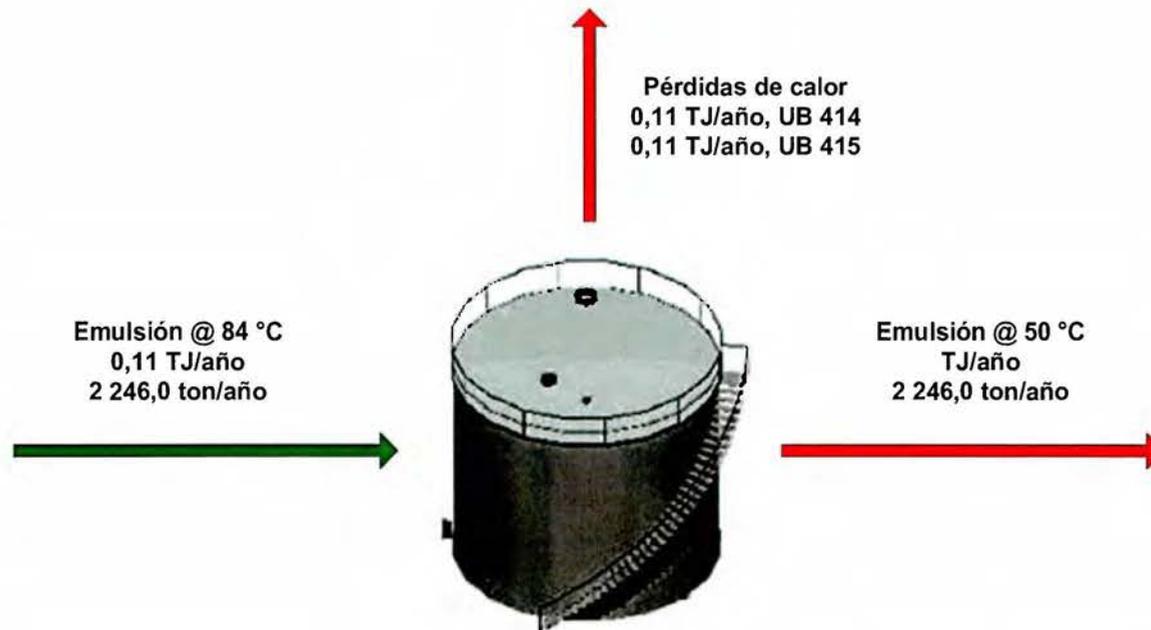


FIGURA 4.21

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUES 151, 152, 153 Y 154

Fuente: El autor

La figura 4.22 muestra el balance de energía y masa para el tanque 5 y 8 de almacenamiento de solución jabonosa.

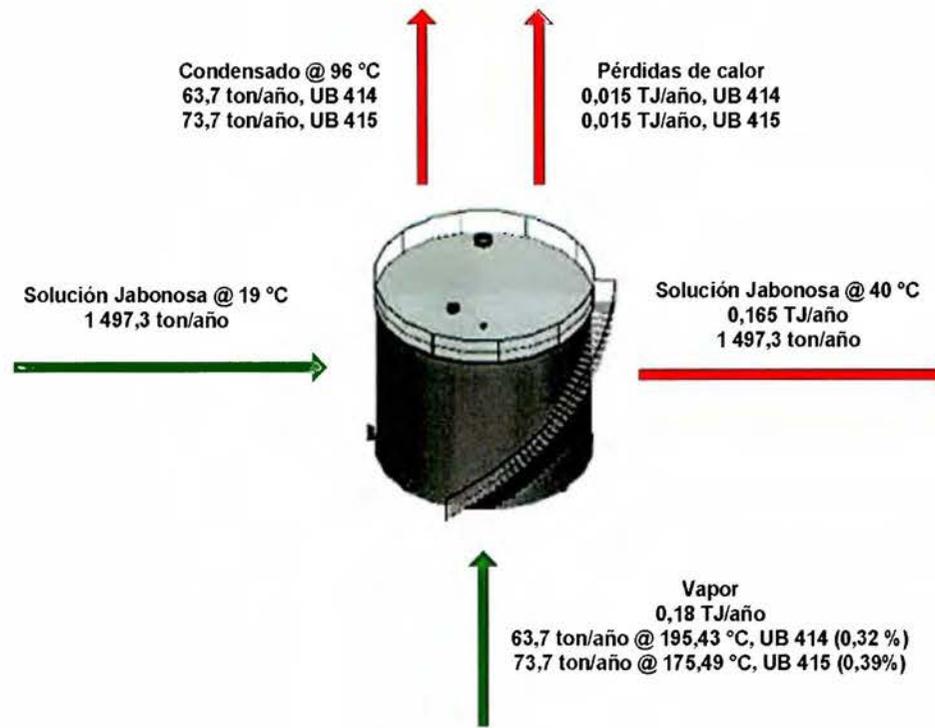


FIGURA 4.22

BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUES 5 Y 8

Fuente: El autor

La figura 4.23 muestra el balance de energía y masa para el tanque de alimentación de agua a las calderas.

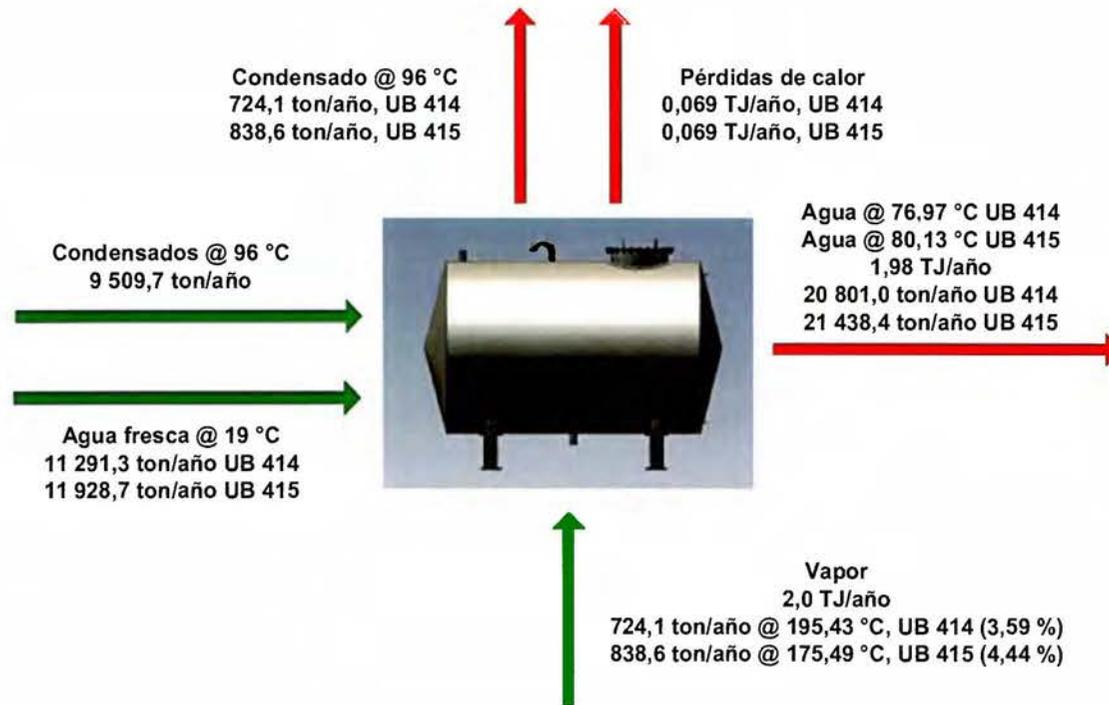


FIGURA 4.23

**BALANCE DE ENERGÍA Y MASA TANQUE ALIMENTACIÓN DE AGUA A LAS CALDERAS**

Fuente: El autor

#### 4.19 Cálculo del ahorro de energía debido a mejoras en el aislamiento térmico de los tanques de almacenamiento.

La tabla 4.23 muestra los resultados de los cálculos de pérdidas de energía por conducción, radiación y convección en los tanques de almacenamiento, al aislar térmicamente los tanques 5 y 8 con una capa de fibra de vidrio de 63,5 mm de espesor. Asimismo, muestra el ahorro de energía que se obtendría con la mejora propuesta.

Los cálculos se realizaron utilizando las ecuaciones Ec. 4.4 y Ec. 4.5 anteriores.

**TABLA 4.23**  
**AHORRO DE ENERGÍA DEBIDO A MEJORAS EN EL AISLAMIENTO TÉRMICO**  
**TANQUES 5 Y 8 (AISLAMIENTO RECOMENDADO)**

Tanque	Producto	Espesor	Material	Calor	Ahorro
		aislamiento		aislante	perdido total
		e		$Q_{tot}$	$Q_{ahorrado}$
		mm		MJ / año	MJ / año
5	Solución Jabonosa	63,50	Fibra Vidrio	738,42	14 733,52
8	Solución Jabonosa	63,50	Fibra Vidrio	738,42	14 733,52
<b>TOTAL</b>				<b>9 905 326,87</b>	<b>29 467,04</b>

Fuente: El autor

#### 4.20 Cálculo del ahorro de energía debido a mejoras en el aislamiento térmico de las tuberías del sistema de vapor y planta de emulsiones.

La tabla 4.24 muestra los resultados de los cálculos de pérdidas de energía por conducción, radiación y convección en las tuberías que conforman el sistema de vapor y la planta de emulsiones asfálticas del plantel El Alto para cada una de las calderas existentes, al aislar térmicamente los tramos de tuberías que actualmente se encuentran descubiertos, o que presentan un alto grado de deterioro en su aislamiento, con cañuela de silicato de calcio en los espesores recomendados según las temperaturas de operación respectivas.

Asimismo, muestra el ahorro de energía que se obtendría con la mejora propuesta.

El detalle de los cálculos para cada tramo de tubería se puede observar en el anexo 5.

Los cálculos se realizaron utilizando las ecuaciones Ec. 4.5 y Ec. 4.6 anteriores.

**TABLA 4.24**

#### **AHORRO DE ENERGÍA DEBIDO A MEJORAS EN EL AISLAMIENTO TÉRMICO DE LAS TUBERÍAS DEL SISTEMA DE VAPOR Y PLANTA DE EMULSIONES**

LÍNEA	PÉRDIDA DE CALOR CON AISLAMIENTO RECOMENDADO		AHORRO	
	UB 414 (MJ/año)	UB 415 (MJ/año)	UB 414 (MJ/año)	UB 415 (MJ/año)
Vapor	1 828 354,92	1 616 201,99	3 462 117,48	3 042 809,74
Búnker C	811 153,17	811 153,17	948 849,11	948 849,11
Asfalto AC30	2 866 120,61	2 866 120,61	2 637 817,14	2 637 817,14
<b>Total</b>	<b>5 505 628,70</b>	<b>5 293 475,77</b>	<b>7 048 783,73</b>	<b>6 629 475,99</b>

Fuente: El autor

#### 4.21 Cálculo del ahorro de energía debido al mejoramiento de la eficiencia de combustión de las calderas.

A continuación se muestran los cálculos del ahorro de energía obtenido al mejorar la eficiencia de las calderas mediante el ajuste de la relación aire combustible al llevarlo a un valor óptimo de 90%.

	AHORRO DE ENERGÍA			
	UB 414	UB 415	UB 414	UB 415
ENERGÍA ENTRADA AL SISTEMA = Qe	MJ/año 57 003 857,59	MJ/año 46 024 570,40		
EFICIENCIA MEJORADA CALDERA = Em	% 90,00	% 90,00		
ENERGÍA PERDIDA EFICIENCIA CALDERA = Qef = Qe * (100-Em)/100	MJ/año 5 700 385,76	MJ/año 4 602 457,04	MJ/año 5 443 868,40	MJ/año 2 002 068,81

## 4.22 Cálculo de la energía ahorrada al mejorar el retorno de condensado a las calderas y aumentar la temperatura de alimentación de agua.

A continuación se muestran los cálculos de la energía ahorrada al mejorar la recolección de condensados a un 85% del flujo de vapor producido y elevar la temperatura de alimentación de agua a las calderas a 90 °C.

	RECUPERACIÓN PROPUESTA CONDENSADOS			
	UB 414		UB 415	
	kg/año	%	kg/año	%
FLUJO DE MASA PROMEDIO DE VAPOR = mv	20 181 781,56	97%	18 871 361,94	92%
FLUJO DE MASA DE PURGAS = mp	627 257,37	3%	1 569 463,28	8%
FLUJO DE MASA TOTAL = mt	20 809 038,93	100%	20 440 825,22	100%
FLUJO DE MASA RETORNO DE CONDENSADOS = mc	17 687 683,09	85%	17 374 701,44	85%
FLUJO DE MASA AGUA REPOSICIÓN = mr = mt - mc	3 121 355,84	15%	3 066 123,78	15%
ENTALPÍA AGUA ALIMENTACIÓN = hal = hf @ 90 °C y Patm	<b>kJ/kg</b> 376,93		<b>kJ/kg</b> 376,93	
ENTALPÍA CONDENSADOS = hc = hf @ 96 °C y Patm	402,17		402,17	
ENTALPÍA AGUA REPOSICIÓN = hr = hf @ 19°C y Patm	79,85		79,85	
<b>ENERGÍA CALENTAMIENTO AGUA ALIM @ Tal = Qena = mt*hal-mc*hc-mr*hr</b>	<b>MJ/año</b> 480 761,23		<b>MJ/año</b> 472 254,21	
	<b>RECUPERACIÓN ACTUAL CONDENSADOS</b>			
<b>ENERGÍA CALENTAMIENTO AGUA ALIM @ Tal = Qena = mt*hal-mc*hc-mr*hr</b>	<b>MJ/año</b> 1 976 499,02		<b>MJ/año</b> 2 415 083,86	
	<b>AHORRO DE ENERGÍA</b>			
<b>ENERGÍA AHORRADA ( 85% REC. COND. Y Tal = 90°C) =</b>	<b>MJ/año</b> 1 495 737,79		<b>MJ/año</b> 1 942 829,65	

#### **4.23 Cálculo del ahorro de energía por la reparación o sustitución de trampas de vapor en mal estado.**

Mediante el diagnóstico contratado a la empresa TECNOSAGOT S.A., realizado con el equipo TRAPMAN de TLV, se estimó una pérdida de energía debida al mal funcionamiento de las trampas de vapor del sistema de 1 828 443,80 MJ/año operando con la caldera UB 414 y 1 794 643,98 MJ/año con la caldera UB 415, por lo tanto se considera que esas mismas cantidades de energía podrían ser ahorradas al reparar o sustituir las trampas de vapor que presentan un mal funcionamiento.

#### **4.24 Resumen de las principales oportunidades de conservación de energía (OCE's) y ahorro económico identificados en el sistema.**

En la tabla 4.25 se puede observar el resumen de las principales oportunidades de conservación de energía (OCE's) identificadas en el sistema, así como el potencial ahorro económico, considerando solamente el costo del búnker al precio pagado por RECOPE (no incluye el impuesto único a los combustibles) y un tipo tipo de cambio de 517,87 ¢/\$, ambos vigentes al día 30 de diciembre del 2010

Las oportunidades de conservación de energía numeradas del 1 al 2, requieren muy poca inversión y pueden generar ahorros de cerca del 30% de la energía de entrada al sistema, o sea, del consumo de búnker de las calderas.

Las siguientes OCE's, requieren de una inversión importante, cuya estimación está fuera del alcance de este proyecto, pero su implementación podría generar ahorros entre el 18% y 23% de la energía de entrada al sistema.

**TABLA 4.25**  
**PRINCIPALES OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA**  
**Y AHORRO ECONÓMICO IDENTIFICADOS EN EL SISTEMA**

OPORTUNIDAD DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA		POTENCIAL AHORRO DE ENERGÍA Y ECONÓMICO			
		UB 414			
		MJ/año	%	¢/año	\$/año
1	Mejorar la eficiencia de combustión de las calderas.	5 443 868,40	9,55%	39 027 306,53	75 361,20
2	Eliminar las principales fugas del sistema de vapor.	12 079 740,18	21,19%	86 600 132,13	167 223,69
3	Reparación o sustitución de trampas de vapor en mal estado.	1 828 443,80	3,21%	13 108 185,50	25 311,73
4	Aislar térmicamente los tanques 5 y 8 de la planta de emulsiones.	29 467,04	0,05%	211 250,37	407,92
5	Mejorar el aislamiento de las tuberías del sistema.	7 048 783,74	12,37%	50 533 007,68	97 578,56
6	Mejorar la recolección de condensados y aumentar la temperatura de alimentación de agua a las calderas.	1 495 737,79	2,62%	10 723 003,01	20 705,97
<b>TOTAL</b>		<b>27 926 040,95</b>	<b>48,99%</b>	<b>200 202 885,21</b>	<b>386 589,08</b>

OPORTUNIDAD DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA		POTENCIAL AHORRO DE ENERGÍA Y ECONÓMICO			
		UB 415			
		MJ/año	%	¢/año	\$/año
1	Mejorar la eficiencia de combustión de las calderas.	2 002 068,81	4,35%	14 352 909,99	27 715,28
2	Eliminar las principales fugas del sistema de vapor.	11 663 305,66	25,34%	83 614 696,69	161 458,85
3	Reparación o sustitución de trampas de vapor en mal estado.	1 794 643,98	3,90%	12 865 873,27	24 843,83
4	Aislar térmicamente los tanques 5 y 8 de la planta de emulsiones.	29 467,04	0,06%	211 250,37	407,92
5	Mejorar el aislamiento de las tuberías del sistema.	6 629 475,99	14,40%	47 526 973,94	91 773,95
6	Mejorar la recolección de condensados y aumentar la temperatura de alimentación de agua a las calderas.	1 942 829,65	4,22%	13 928 222,12	26 895,21
<b>TOTAL</b>		<b>24 061 791,13</b>	<b>52,28%</b>	<b>172 499 926,37</b>	<b>333 095,04</b>

Fuente: El Autor

#### **4.25 Descripción general del estado de conservación de las instalaciones.**

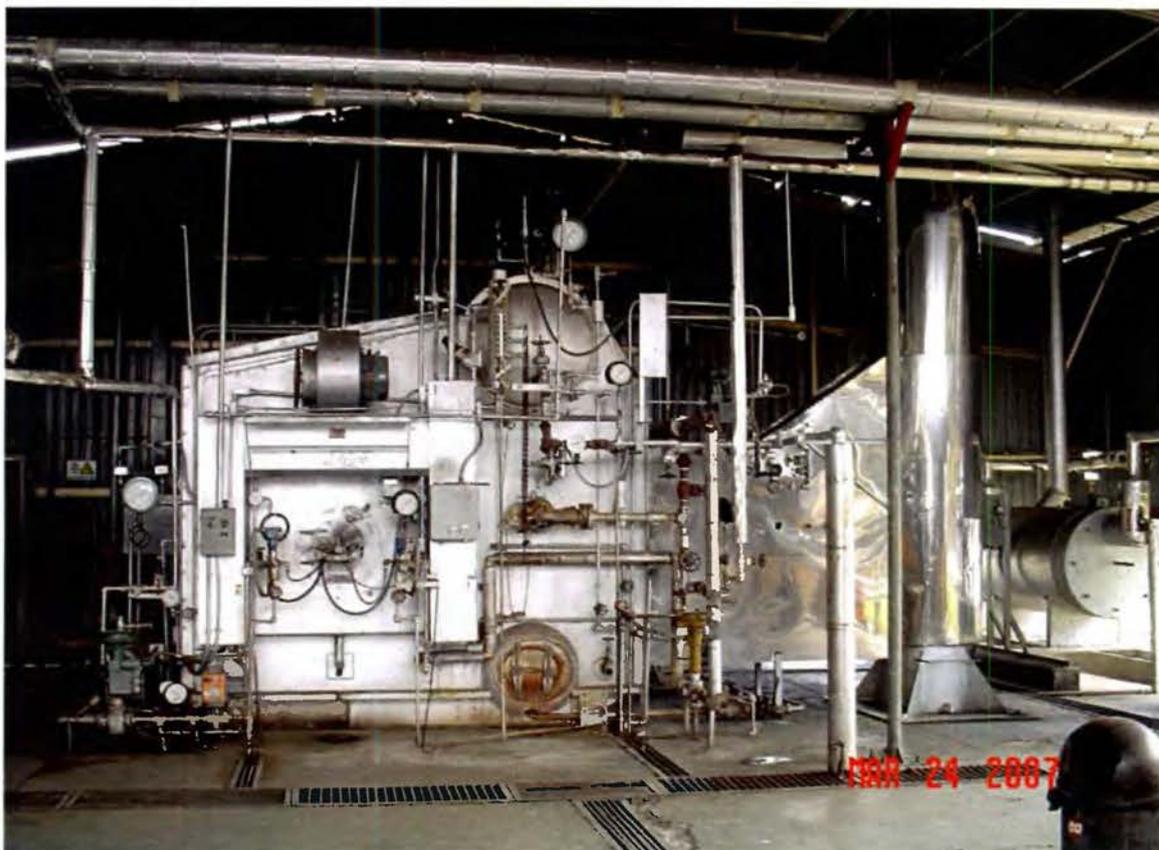
A continuación se hace una descripción general del estado de las instalaciones. Para mejor comprensión se presentan una serie de imágenes fotográficas así como termográficas tomadas en los recorridos a la planta, todo lo anterior, con la finalidad de identificar potenciales aspectos a mejorar, que coadyuven a un uso racional de la energía en el sistema.

##### **4.25.1 Estado general de las calderas**

La caldera UB 414 es acuatubular y fue construida en el año 1965, originalmente instalada en la Refinería en Limón, y luego, en el plantel El Alto en el año 1984. Ha sufrido múltiples reparaciones y modificaciones, como cambios de tubos, de aislamientos, reparaciones en el quemador, entre otros. La modulación del fuego se hace básicamente de forma manual. Los operadores de calderas realizan el ajuste de la combustión a criterio propio, tomando como parámetro el color de los gases de escape de la combustión, procurando que los mismos sean lo más transparentes posible. Esto provoca que esta caldera en particular, trabaje con un exceso de aire elevado con respecto al aire que teóricamente se requiere para la combustión, generando una gran pérdida de calor en el calentamiento de dichos gases, y la consecuente pérdida de eficiencia.

La purga continua de la caldera se lleva a cabo mediante una válvula manual, los operadores abren o cierran la válvula según su propio criterio, se envían las muestras del agua al laboratorio para su respectivo análisis tres veces al día, y se va ajustando hasta quedar en una posición tal que la conductividad del agua alcance valores entre 2000  $\mu\text{S}$  y 3000  $\mu\text{S}$ .

En la figura 4.24 se muestra una fotografía de la caldera UB 414.



**FIGURA 4.24**

**CALDERA ACUATUBULAR UB 414**

Fuente: El autor

La caldera UB 415 es igneotubular, tipo paquete, fue construida en el año 2000 y se instaló en el plantel El Alto ese mismo año, aunque cuenta con una antigüedad menor que la UB 415, también ha sufrido múltiples reparaciones y modificaciones, particularmente en los aislamientos térmicos y en el conjunto del quemador.

La modulación del fuego de esta caldera se lleva a cabo de forma automática por lo que hay menor posibilidad de intervención de los operadores en el ajuste de la caldera.

Al igual que el caso de la caldera UB 414, la purga continua de esta caldera se lleva a cabo mediante una válvula manual.

En la figura 4.25 se muestra una fotografía de la caldera UB 415.



**FIGURA 4.25**  
**CALDERA IGNEOTUBULAR UB 415**

Fuente: El autor

#### **4.25.2 Estado general de los aislamientos del sistema de tuberías**

Los aislamientos de las tuberías del sistema de vapor y la planta de emulsiones del plantel El Alto, en general se encuentran en un estado regular, existe una gran falta de uniformidad con respecto al tipo y espesor del aislante utilizado en una misma tubería. En tuberías de un mismo diámetro se encuentran diferentes tipos de aislantes, a saber: fibra cerámica, fibra de vidrio, espuma de vidrio y silicato de calcio principalmente, además, se encuentran diferentes espesores, lo que genera una pérdida de calor diferente en toda su longitud.

También existen muchos tramos de tuberías que cuentan con aislamiento térmico pero en muy mal estado, o bien, no cuentan con ningún tipo de aislamiento.

A continuación se presentan algunas imágenes fotográficas y termográficas donde se pueden apreciar los principales problemas de aislamiento encontrados.

La figura 4.26 muestra tramos de tuberías con el aislamiento deteriorado debido a malas prácticas del personal operativo al caminar sobre las mismas.

Las fotografías corresponden a tramos de tuberías en el cabezal de descarga de vapor del cuarto de calderas, afueras del dique del tanque 150, y la planta de emulsiones.



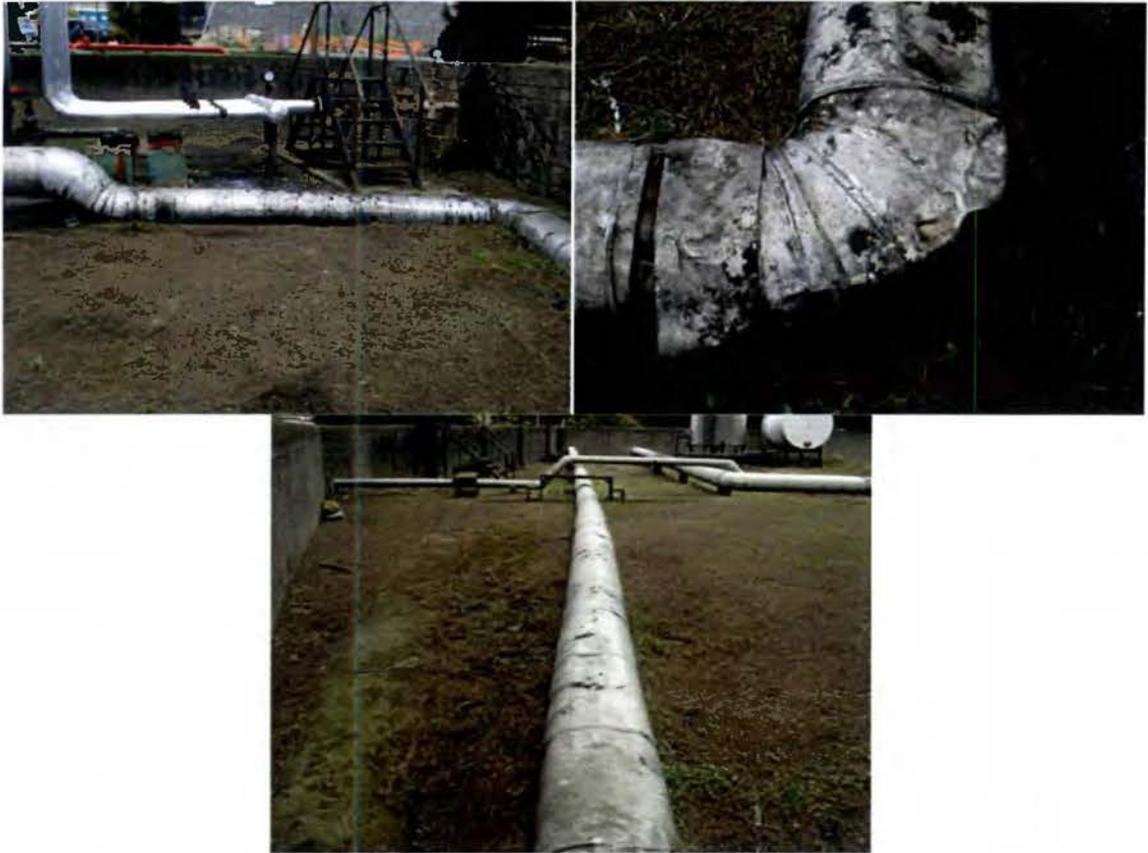
**FIGURA 4.26**

**AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN MAL ESTADO**

**TUBERÍAS CUARTO CALDERAS - DIQUE TK 150 - PLANTA DE EMULSIONES**

Fuente: El autor

La figura 4.27 muestra tramos de tuberías con el aislamiento deteriorado debido a malas prácticas del personal, además, se puede observar como hubo una inadecuada instalación, ya que la tubería está prácticamente apoyada sobre el suelo, por lo que está expuesta a la humedad y otros contaminantes, que provocan una disminución de su eficiencia.



**FIGURA 4.27**  
**AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN MAL ESTADO**  
**TUBERÍAS DE BÚNKER DEL TK 118**

Fuente: El autor

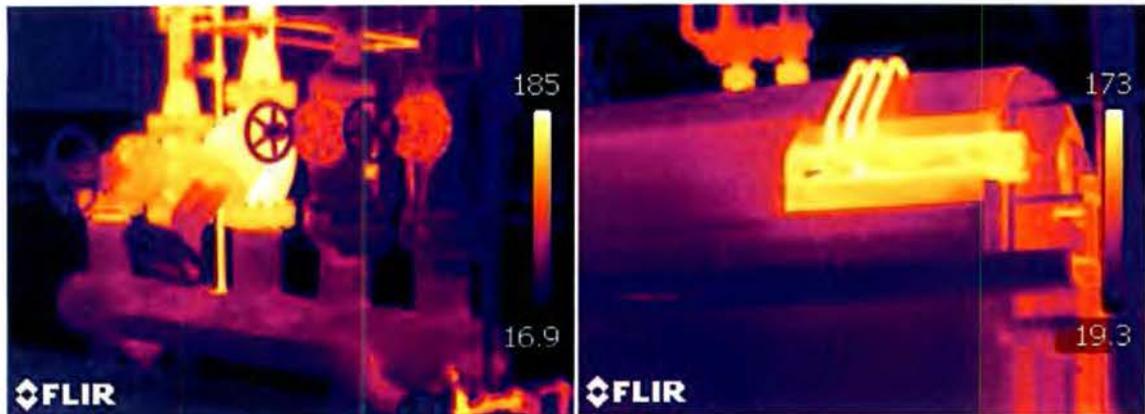
En la figura 4.28 se pueden observar algunos tramos de tuberías que no poseen aislamiento térmico y se encuentran totalmente expuestas al ambiente, lo que provoca grandes pérdidas de calor en el sistema.



**FIGURA 4.28**  
**AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN MAL ESTADO**  
**TUBERÍAS AFUERAS DEL DIQUE DEL TK 118**

Fuente: El autor

La figura 4.29 muestra como unas de las válvulas del cabezal de descarga de vapor de las calderas no poseen aislamiento térmico, asimismo, se muestra el sobrecalentador de la caldera UB 414 en esa misma condición.



**FIGURA 4.29**

**VÁLVULAS DEL CABEZAL DE DESCARGA DE VAPOR  
Y SOBRECALENTADOR DE CALDERA UB 415 SIN AISLAMIENTO TÉRMICO**

Fuente: El autor

La figura 4.30 muestra los refuerzos estructurales construidos en acero al carbono en la base de los tanques, los cuales no cuentan con un aislamiento térmico adecuado lo que genera altas temperaturas superficiales y las respectivas pérdidas de calor adicionales. Asimismo, se muestra la tapa de acero del registro de hombre, la cual tampoco posee aislamiento térmico.



**FIGURA 4.30**  
**REFUERZOS ESTRUCTURALES Y TAPAS DE REGISTROS DE TANQUE 153**  
**SIN AISLAMIENTO TÉRMICO**

Fuente: El autor

#### **4.25.3 Trampeo de vapor en el sistema**

En la planta existen 127 trampas de vapor, de las cuales un 83% son termodinámicas de disco, un 9% son de flotador libre, un 7% de balde invertido y un 1% se desconoce su tipo.

Del 83% de las trampas termodinámicas, todas se encuentran expuestas a la lluvia y a las inclemencias del tiempo, por lo que su operación se ve afectada debido a los cambios de temperatura a que se ven sometidas, produciendo aperturas innecesarias que provocan más pérdidas de vapor de lo normal, y además, un desgaste acelerado de las mismas.

En el anexo 6 se puede observar el inventario de trampas de la planta con sus principales características.

Durante los recorridos realizados a la planta, y haciendo uso de imágenes termográficas, se pudo observar el mal funcionamiento de algunas de las trampas del sistema, tanto en posición abierta, con las consecuentes fugas de vapor, como en posición cerrada, con la respectiva acumulación de condensado.

En la figura 4.31 se puede observar una trampa termodinámica de disco que falló abierta. Nótese la poca diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de la válvula, lo que evidencia un flujo de vapor vivo a través de la misma.



**FIGURA 4.31**

**TRAMPA TERMODINÁMICA EN MAL ESTADO AFUERAS DIQUE DEL TK 150  
FALLA EN POSICIÓN ABIERTA**

Fuente: El autor

En la figura 4.32 se pueden observar dos trampas de vapor termodinámicas de disco que fallaron en posición cerrada, o que se encuentran obstruidas. Nótese la baja temperatura de las trampas, lo que evidencia la acumulación de condensado en la línea.

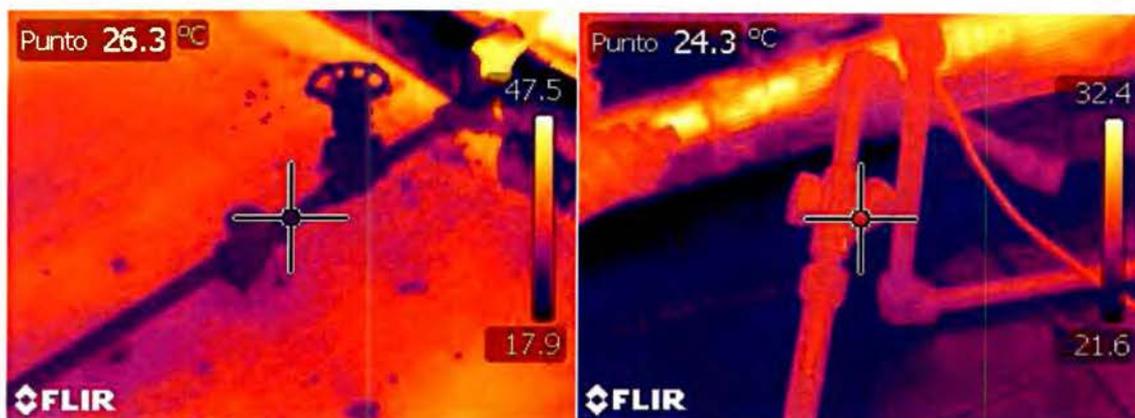


FIGURA 4.32

**TRAMPAS TERMODINÁMICAS EN MAL ESTADO PLANTA DE EMULSIONES  
FALLA EN POSICIÓN CERRADA**

Fuente: El autor

## **CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el siguiente capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos y mostrados en el capítulo 4 anterior, además se establecen las conclusiones a las cuales se llegó con la realización del proyecto, y se brindan las recomendaciones del caso.

### **5.1 Discusión**

Durante la etapa inicial del proyecto, se realizaron múltiples visitas a la planta, así como múltiples entrevistas al personal operativo, con la finalidad de conocer detalladamente el proceso de producción de la emulsión asfáltica, y de conocer descriptivamente los flujos de masa y energía en el sistema. Luego se procedió a realizar una descripción general del sistema de vapor y sus componentes, así como un inventario de los equipos generadores y consumidores de energía del sistema.

Durante las visitas a la planta se pudo observar que el estado de conservación de las instalaciones no es el mejor, y que existen algunos defectos de instalación, sobre todo en las trampas de vapor y sistemas de recolección de condensado, por ejemplo, existen muchas trampas de vapor instaladas con ángulos de inclinación no recomendables para su correcta operación y conservación, no cuentan con un sistema de filtración, tubería y válvula de bypass, visor de flujo, válvula de retención, ni válvula de bloqueo. Asimismo, se pudo observar la falta de piernas colectoras de condensado, y tuberías de descarga de las trampas que desfogan en tuberías de recolección de condensado que se encuentran en un nivel superior con respecto al suelo.

Gran parte de las tuberías de recolección de condensando se encuentran aisladas térmicamente, lo mismo que el tanque de recolector, este tanque está abierto a la atmósfera, y la temperatura promedio del condensado es de 96 °C, que

corresponde a la temperatura de saturación del vapor a la presión atmosférica en el sitio. Por lo anterior, se puede observar una constante salida de vapor por el respiradero del tanque, el cual se condensa al enfriarse con el aire exterior y se precipita en los alrededores.

Según los cálculos realizados, para la presión de operación del sistema el porcentaje de vapor instantáneo formado al salir el condensado en las trampas es de aproximadamente un 15%, por lo tanto, es de esperar que una gran parte de ese vapor instantáneo se escape a la atmósfera, y por lo tanto tiene que ser repuesto con agua fresca, lo anterior implica una pérdida no solo de energía sino del tratamiento químico que se le agrega a la caldera, lo que se traduce en pérdidas económicas para la empresa, adicionales al costo del agua propiamente dicho.

En este caso particular, es conveniente que las tuberías y el tanque de recolección de condensado no sean aisladas, para aumentar la transferencia de calor con el medio, y poder condensar la mayor parte del vapor instantáneo que se forma, y así recuperar la correspondiente masa de agua, asimismo, sería posible bajar un poco la temperatura para así evitar problemas de cavitación en las bombas que trasiegan el condensado al tanque de alimentación.

Por otra parte, se han realizado muchas modificaciones a los sistemas de tuberías a lo largo del tiempo, para satisfacer necesidades particulares, de tal forma que actualmente existen tramos de tuberías llenas de producto y trazadas con vapor, que no tienen ninguna utilidad, lo que evidentemente constituye un desperdicio de energía al mantenerse con la alimentación de vapor abierta. Además, el sistema carece de dispositivos para el control automático de temperaturas, los cuales en muchos de los casos estuvieron instalados originalmente, pero fueron retirados y sustituidos por dispositivos manuales.

Por lo anterior, la regulación de temperaturas se lleva a cabo de forma manual, a criterio de los operadores, lo que podría provocar un mayor consumo de energía,

al dejar que el producto de los tanques alcance temperaturas mayores a las necesarias.

Asimismo, esta situación podría generar un problema de seguridad, ya que existe la posibilidad de que por descuido del personal de la planta, la temperatura de los productos en los tanques se eleve a valores peligrosos que puedan provocar un rebalse del producto.

Por otra parte, las tuberías tienen muchas deficiencias en su aislamiento térmico, siendo que en tuberías de un mismo diámetro se tienen diferentes espesores de aislamientos, lo anterior, debido a que el personal de mantenimiento utiliza los materiales aislantes que se tengan disponibles en la bodega de materiales, sin mediar ningún criterio técnico ni guía profesional al respecto, que les indique cual es el tipo de aislante adecuado y el espesor óptimo para cada aplicación en particular, por lo que en algunos casos se tiene un espesor insuficiente, lo que contribuye a una mayor pérdida de calor, y en otros casos, un sobre espesor, lo que implica un alto gasto inicial, que no se compensaría económicamente con los ahorros obtenidos a lo largo de la vida útil del aislante.

En cuanto a las calderas, su estado de conservación en general es regular, existen algunas deficiencias en los aislamientos y en el mantenimiento del sistema de combustión, sin embargo, durante las mediciones realizadas se determinó que operan con eficiencias relativamente buenas del orden del 80% al 85%.

Cabe destacar, que el sistema está compuesto por dos calderas principales la UB 414 que es del tipo acuatubular, y la UB 415 del tipo igneotubular, la primera cuenta con un sobrecalentador, por lo tanto el vapor generado está a una temperatura más alta que la correspondiente temperatura de saturación, por lo que existe una preferencia por parte de los operadores en utilizar esta caldera, argumentando que el vapor es de mejor calidad. Este diferencial de temperatura con respecto al vapor generado por la caldera UB 415, hace que la energía que

transporta sea levemente mayor que la energía del vapor saturado, pero por otra parte, también genera mayores pérdidas de calor en las tuberías.

La modulación del fuego de la caldera UB 414 es semi automática y la de la caldera UB 415 es automática, sin embargo existe una práctica común por parte de los operadores, de manipular las válvulas de admisión de combustible y los dampers de las calderas, lo anterior con la intención de generar en las chimeneas la menor cantidad de humo negro posible.

Esta práctica promueve que la operación de las calderas se haga con un exceso de aire mayor al recomendado, lo cual disminuye la eficiencia de combustión y por ende de las calderas, debido a que esa masa de aire adicional absorbe calor en el proceso el cual es desechado por la chimenea.

El agua de alimentación se trata químicamente por parte de una compañía especializada en el tema, y el agua de reposición es tratada mediante suavizadores de agua que eliminan gran parte de los minerales que contiene.

La purga continua de las calderas se realiza de forma manual. No se cuenta con un sistema automatizado para evacuar los lodos y demás sólidos precipitados en el fondo de las calderas, que permita regular la cantidad de purga a los valores recomendados. Los operadores manipulan la válvula de fondo a criterio propio, procurando que el valor de conductividad del agua de las calderas sea de aproximadamente de 2 000  $\mu\text{S}$ , lo que podría provocar un exceso de purgas y la consecuente pérdida de calor y de eficiencia del sistema, o bien, una purga insuficiente que provoque la acumulación de estos materiales en el fondo de las calderas, con los consecuentes problemas de operación.

En cuanto a los parámetros de operación, se realizaron los cálculos respectivos con la información disponible en los registros diarios, con la finalidad de determinar valores promedio que tipifiquen la operación de las calderas.

Asimismo, se procedió a cuantificar los flujos de masa de cada uno de los productos del proceso, tales como búnker, asfalto y emulsión asfáltica, y se calcularon los índices energéticos para la producción de la emulsión asfáltica, resultando en un valor promedio de  $0,18 \text{ m}^3$  de búnker consumido por cada  $\text{m}^3$  de emulsión asfáltica producido, o en términos de la energía contenida en el búnker,  $7,10 \text{ GJ}$  de búnker consumido por cada  $\text{m}^3$  de emulsión producida.

Estos valores promedio se considerarán como parámetros iniciales para monitorear en el tiempo el comportamiento del consumo específico de energía para esta actividad, y tomar las medidas correctivas del caso, cuando los valores presenten desviaciones importantes del promedio.

Una vez conocido y descrito el proceso productivo, descritas las instalaciones que conforman el sistema de vapor y la planta de emulsiones, y conocidos los flujos de masa de los diferentes productos que intervienen en el proceso, se procedió a realizar las mediciones necesarias para determinar como se distribuye la energía y establecer los balances del sistema.

Con los registros de operación de las calderas se calculó el flujo de vapor promedio producido y se calculó la energía transportada, la cual alcanzó porcentajes de un  $72,90\%$  y  $82,87\%$  de la energía de entrada al sistema, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente, dichos valores corresponden a la eficiencia global de las calderas.

Con el resultado anterior no se puede concluir que el proceso sea más eficiente cuando se genera el vapor con la caldera UB 415 (igneotubular), ya que existen otros factores de pérdidas en el sistema que se ven afectados por la temperatura, y otras condiciones de operación.

Se realizaron mediciones de eficiencia de combustión en base seca de las calderas resultando que la eficiencia promedio fue de un  $80,45\%$  para la caldera UB 414 (acuotubular) y de un  $85,65\%$  para la UB 415 (igneotubular). De estos resultados se puede apreciar que la caldera UB 415 opera con una eficiencia de

combustión más alta, lo cual podría explicarse debido a que esta caldera cuenta con un sistema de modulación del fuego automático, lo que permite que la caldera se auto regule según la demanda de vapor del sistema, sin la intervención de los operadores.

Caso contrario ocurre con la caldera UB 414, en la cual los operadores regulan la posición de los dámpers y válvulas de admisión de combustible, lo que provoca que esta caldera trabaje con un mayor exceso de aire.

Lo anterior se pudo comprobar con las mediciones realizadas, en las cuales el exceso de aire promedio para la caldera UB 414 fue de un 32%, y el de la caldera UB 415 de un 25%, valores que se consideran muy elevados si se comparan con los porcentajes de exceso de aire recomendados para una combustión eficiente según la literatura, los cuales oscilan entre un 10% y un 15%, o en porcentaje de exceso de oxígeno, entre un 2% y un 3,5%., para calderas que operan con bunker (aceite combustible n° 6) y vapor atomizante.

(Tomado del libro: MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE CALDERAS DE VAPOR, página 84)

Esta situación ofrece una oportunidad de conservación de energía importante al mejorar la eficiencia de combustión mediante la optimización de la relación aire-combustible en el quemador de las calderas, lo que podría representar un ahorro de un 9,55% y un 4,35% de la energía de entrada al sistema, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Por otra parte, se calcularon las pérdidas de energía debida a la purga continua de las calderas resultando en un 0,42% y un 2,16% de la energía de entrada al sistema, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente. Cabe destacar que existe una diferencia importante en el flujo de masa de las purgas de cada caldera.

Por diferencia se calculó la pérdida de energía debida a la radiación de las superficies de las calderas resultando en un 7,13% y un 0,63% de la energía de

entrada al sistema, para la UB 414 y UB 415 respectivamente. En el caso de la caldera UB 414, se considera que el valor porcentual de la pérdida de energía por radiación es muy alto, ya que según la literatura, los valores normales oscilan entre un 0,1% y un 3%. (Tomado de: MANUAL DE AUDITORÍAS DE ENERGÍA ICAITI).

Las razones de esta diferencia no se han podido determinar con la realización de este estudio.

En el caso de la caldera UB 415 la pérdida porcentual de energía se encuentra dentro del rango esperado.

Posteriormente se calcularon las pérdidas de energía asociadas a cada uno de los tanques de almacenamiento y a los sistemas de tuberías, asimismo, se procedió a calcular la energía necesaria para llevar los productos que se reciben, procesan y almacenan en el plantel El Alto, desde la temperatura de recibo hasta la temperatura deseada o requerida.

Se determinó que en general, la energía necesaria para el calentamiento de los productos desde su temperatura de recibo hasta su temperatura de almacenamiento corresponden a un 1,47% y un 1,83% de la energía contenida en el búnker que se alimenta a las calderas, lo anterior operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Las pérdidas de calor en los tanques de almacenamiento corresponden a un 17,43% y un 21,59% de esta energía, operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

De las visitas realizadas a la planta se pudo observar que en general los aislamientos de los tanques se encuentran en buen estado, con excepción de algunos puntos específicos como lo son las tapas de los registros de hombre, y los refuerzos estructurales colocados perimetralmente en la base de los tanques, los cuales no cuentan con aislamiento térmico y constituyen puntos susceptibles de

mejora, sin embargo, son áreas muy pequeñas comparadas con la superficie total de los tanques, por lo que no se realizaron cálculos exhaustivos.

En términos generales, no se considera que exista una oportunidad de mejora importante en este sentido.

Los tanques 5 y 8 de solución jabonosa de la planta de emulsiones, no cuentan con aislamientos térmicos y almacenan solución a una temperatura promedio de 40 °C durante 2,5 horas al día.

Se evaluó la pérdida de calor asociada a estos tanques sin aislamiento y luego con un aislamiento de 63,5 mm de espesor de fibra de vidrio (espesor recomendado por TIMA ETI para la temperatura indicada), sin embargo, se calculó un ahorro de alrededor de un 0,05% de la energía de entrada al sistema, lo cual se considera insignificante, y por lo tanto se descarta como una posibilidad real de ahorro.

Las pérdidas de calor en las tuberías del sistema corresponden a un 22,02% y un 25,91%, operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

En el caso de los aislamientos de las tuberías de vapor, búnker y asfalto, por el gran deterioro que presentan en muchos de los tramos, y por la ausencia de aislamiento en otros, si existe una gran alternativa de mejora y por lo tanto de ahorro de energía, ya que estas redes representan grandes longitudes y grandes superficies, lo que agrega pérdidas de calor importantes al sistema. Las mejoras en el aislamiento de las tuberías representan un gasto importante, por lo que se debe realizar un análisis detallado para determinar el tipo y espesor óptimo del aislamiento a instalar.

El calor perdido por las principales fugas de vapor identificadas en el sistema corresponde a un 21,59% y un 25,34% de la energía de entrada al sistema, operando con la caldera UB 414 y UB 415 respectivamente, y obviamente representan un gran potencial de ahorro de energía en el sistema con muy poco

esfuerzo. Cabe destacar, que la cuantificación de este tipo de pérdidas es una labor poco precisa, debido a la dificultad de medir la magnitud de las fugas.

En este caso particular, se hicieron instalaciones provisionales de tuberías y recipientes para recolectar el condensado formado, y calcular así el flujo de vapor correspondiente. Asimismo, existen gran cantidad de fugas pequeñas en el sistema que fue imposible cuantificarlas, pero que al final, se puede afirmar representan una parte importante de las pérdidas del sistema.

Las pérdidas de vapor debido a las trampas en mal estado corresponden a un 3,21% y un 3,90% de la energía de entrada al sistema, lo anterior operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente. La reparación y/o sustitución de estas válvulas, representa un importante potencial de ahorro de energía con una inversión relativamente baja, con respecto al costo del vapor.

Es importante recalcar, que de la totalidad de trampas instaladas, el 83% son del tipo termodinámica de disco, y la gran mayoría se encuentran instaladas a la intemperie. Los cambios repentinos en la temperatura, como la exposición a la lluvia, provoca aperturas innecesarias de las trampas que a su vez generan una pérdida de vapor mayor de la normal, por lo que en estas condiciones, y estando en perfecto estado de funcionamiento, la pérdida de energía debida a la descarga de estas trampas aumenta.

La energía necesaria para recalentar el agua que se debe reponer a las calderas, producto de no recuperar la totalidad, o bien, un porcentaje alto del condensado formado en el sistema, alcanzó valores de un 3,47% y un 5,25% de la energía de entrada al sistema, lo anterior operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

Se realizaron cálculos para determinar el potencial ahorro de energía que se podría obtener al aumentar la recuperación de condensados de un 46% y un 44% a un 85% del total, y a la vez, aumentar la temperatura de alimentación de 76,97 °C y 80,13 °C en promedio, a unos 90 °C, determinando que el potencial ahorro de

energía sería de un 2,62% y un 4,22% de la energía de entrada al sistema, al operar con la caldera UB 414 y UB 415 respectivamente.

Este ahorro se logra debido a que se aumenta la cantidad de agua que entra al tanque de alimentación a alta temperatura, y se disminuye la cantidad de agua de reposición a baja temperatura, por lo que la cantidad de vapor que se requiere agregar a la mezcla para llevarla a la temperatura deseada de alimentación disminuye.

## 5.2 Conclusiones

Luego de analizar los resultados obtenidos durante la realización de este proyecto se puede concluir lo siguiente:

5.2.1 Se puede afirmar que el estado de conservación de las instalaciones es regular, existen muchas deficiencias de mantenimiento, sobre todo en los sistemas de tuberías, los cuales presentan un considerable grado de deterioro en los aislamientos y muchas fugas en accesorios, tales como válvulas, trampas de vapor, y uniones, entre otras.

5.2.2 Existe una gran cantidad de tuberías en el sistema que no cuentan con un adecuado aislamiento térmico, o bien, sus aislamientos se encuentran muy deteriorados, lo que genera grandes pérdidas de energía en el sistema.

5.2.3 Existen tuberías de vapor sin aislamiento térmico instaladas en canales de aguas pluviales que se encuentran saturados de tuberías, incluyendo ductos eléctricos, que además se encuentran permanentemente inundadas con agua, lo que provoca grandes pérdidas de energía en el sistema.

5.2.4 Del total de las trampas instaladas en el sistema de vapor, un 83% son del tipo termodinámica de disco, las cuales se encuentran expuestas a la lluvia, lo que provoca mayores descargas, y por lo tanto, mayores pérdidas de vapor, ante los cambios de temperatura.

5.2.4 Del total de trampas instaladas en el sistema el 47% presentan una operación anormal o se encuentran dañadas provocando grandes pérdidas de energía en el sistema.

5.2.5 En términos generales, la instalación de las trampas de vapor en el sistema no cuenta con los accesorios mínimos requeridos para una operación óptima, lo que provoca un mal funcionamiento y un deterioro acelerado de las mismas.

5.2.6 El sistema de vapor no cuenta con los dispositivos o accesorios necesarios para realizar el proceso de calentamiento de los productos almacenados en los diferentes tanques de forma automática, lo que afecta la eficiencia del sistema.

5.2.7 La operación de las calderas (modulación del fuego) se realiza de forma semi automática, lo que permite a los operadores manipular parámetros importantes que afectan directamente la eficiencia de combustión de las mismas, como es el ingreso de aire de combustión y presión de combustible entre otros.

5.2.8 Las calderas de la planta de emulsiones operan con valores de exceso de aire muy altos con respecto a los valores recomendados para una combustión eficiente, alcanzando valores de un 32% para la caldera UB 414 y un 25% para la caldera UB 415.

5.2.9 La purga continua de las calderas se realiza de forma manual, mediante la estrangulación de la válvula de fondo, no se cuenta con dispositivos de control que permitan mantener el flujo de purga óptimo, lo que puede generar una pérdida de energía mayor a la necesaria.

5.2.10 La caldera UB 414 produce un promedio de 14 712,4 toneladas de vapor por año, lo que equivale a 41,6 TJ/año de energía, y corresponde a un 72,9% de la energía suministrada al sistema.

5.2.11 La caldera UB 415 produce un promedio de 15 638,0 toneladas de vapor por año, lo que equivale a 38,1 TJ/año de energía, y corresponde a un 82,9% de la energía suministrada al sistema.

5.2.12 En términos generales, el mayor consumo de vapor se presenta en los sistemas de tuberías, en las fugas existentes en el sistema, y en los tanques de almacenamiento.

5.2.13 En el sistema de tanques de almacenamiento los principales focos de consumo de vapor lo constituyen los tanques 113 con un 5,03% y un 6,23%, 112 con un 4,85% y un 6,01%, 118 con un 3,37% y 4,17%, y el 114, con un 3,32% y un

4,11%, de la energía de entrada al sistema, operando con la caldera UB 414 y UB 415 respectivamente.

5.2.14 En los sistemas de tuberías los principales focos de consumo de vapor lo constituyen las tuberías de asfalto con un 9,66% y un 11,96%, luego las tuberías de vapor con un 9,28% y un 10,12%, y por último las tuberías de búnker con un 3,09% y un 3,82% del la energía de entrada al sistema, operando con la caldera UB 414 y UB 415 respectivamente.

5.2.15 Las pérdidas de calor globales en las calderas representan un 27,1% para la UB 414, y un 17,1% para la UB 415, de la energía de entrada al sistema.

5.2.16 La pérdida de calor en los tanques de almacenamiento que componen el sistema de vapor y planta de emulsiones del plantel El Alto representan un 17,43% y un 21,59% de la energía de entrada al sistema, lo anterior operando con las calderas UB 414 y UB 415.

5.2.17 La pérdida de calor en las tuberías que componen el sistema de vapor y planta de emulsiones del plantel El Alto representan un 22,02% y 25,91% de la energía de entrada al sistema, lo anterior operando con las calderas UB 414 y UB 415.

5.2.18 Las pérdidas de calor en tuberías y tanques del sistema arrojan resultados diferentes para el caso de la caldera UB 414 y la caldera UB 415 debido a que la primera es del tipo acuatubular y posee un sobrecalentador, por lo tanto genera vapor sobrecalentado, mientras que la otra es del tipo igneotubular y genera vapor saturado a las respectivas presiones de operación.

5.2.19 Las fugas en las trampas de vapor representan un 3,21% y 3,90% de pérdidas de calor con respecto a la energía suministrada al sistema, lo anterior, operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

5.2.20 Las pérdidas de calor debido a las fugas encontradas en el sistema representan un 21,19% y 25,34% de la energía suministrada al sistema, lo anterior, operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

5.2.21 La energía necesaria para calentar el agua de alimentación de las calderas a la temperatura promedio actual, debido a la recuperación de tan solo un 46% y 44% del condensado generado en el sistema y una baja temperatura de alimentación, alcanzan un 3,47% y 5,25% de la energía suministrada al sistema, operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

5.2.22 Las pérdidas de calor en las calderas representan un 27,10% para la caldera UB 414 y de un 17,13% para la caldera UB 415.

5.2.23 La eficiencia global de la caldera UB 414 es de un 72,9%, y la de la caldera UB 415 es de un 82,87%.

5.2.24 No es posible determinar con exactitud con cual de las dos calderas (acuaturbular o igneotubular) el proceso de almacenamiento y producción de emulsiones es más eficiente, ya que los porcentajes de pérdidas de calor de una y otra caldera se contrarrestan entre un rubro y otro, quedando, al cierre del balance de energía, un residuo muy similar para cada una, del orden del 4% de la energía de entrada al sistema.

5.2.25 El 47% de las trampas de vapor del sistema se encuentran en mal estado u operan de manera defectuosa, y representan una pérdida de calor de 3,21% y 3,90% operando con las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

5.2.26 El porcentaje de recuperación de condensados con respecto al flujo de masa promedio de cada caldera del sistema corresponde a un 46% para la caldera UB 414 y un 44% para la caldera UB 415.

5.2.27 El porcentaje de agua fresca con respecto al flujo de masa promedio de cada caldera del sistema corresponde a un 54% para la caldera UB 414 y un 56% para la caldera UB 415.

5.2.28 El índice energético promedio inicial para la producción de emulsiones asfálticas en el plantel El Alto - RECOPE es el siguiente:

0,18 m<sup>3</sup> de búnker / m<sup>3</sup> de emulsión producida

7,1 GJ de búnker / m<sup>3</sup> de emulsión producida

5.2.29 Al analizar los resultados del estudio se determinaron las siguientes oportunidades de conservación de energía y económico (considerando solo el precio del búnker al 30 de diciembre del 2010 sin el impuesto único a los combustibles):

- Mejorar la eficiencia de combustión de las calderas con un potencial de ahorro del 9,55% y 4,35% de la energía suministrada al sistema, y de ahorro económico de 75 361,20 \$/año y 27 715,28 \$/año, lo anterior, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.
- Eliminar las fugas de vapor en el sistema con un potencial de ahorro del 21,19% y 25,34% de la energía de entrada al sistema, y de ahorro económico de 167 223,69 \$/año y 161 458,85 \$/año, lo anterior, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.
- Reparación o sustitución de trampas de vapor en mal estado lo que representa un potencial de ahorro del 3,21% y 3,90% de la energía de entrada al sistema, y de ahorro económico de 25 311,73 \$/año y 24 843,83 \$/año para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.
- Mejorar el aislamiento térmico de las tuberías del sistema, con un potencial de ahorro del 12,37% y 14,40%, y de ahorro económico de 97 578,56 \$/año y 91 773,95 \$/año para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.
- Mejorar la recolección de condensados y aumentar la temperatura de alimentación de agua a las calderas, con un potencial de ahorro del 2,62% y 4,22% de la energía de entrada al sistema, y de ahorro económico de

20 705,97 \$/año y 26 895,21 \$/año, lo anterior para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

- El potencial total de ahorro de energía con respecto a la energía suministrada al sistema es de un 48,99% y 52,28%, y el de ahorro económico es de un 386 589,08 \$/año y 333 095,04 \$/año, lo anterior, para las calderas UB 414 y UB 415 respectivamente.

### 5.3 Recomendaciones

Luego de la realización de este proyecto se proponen las siguientes acciones:

5.3.1 Eliminar las fugas de vapor en el sistema, mediante el mantenimiento correctivo de válvulas, trampas y accesorios.

5.3.2 Reparar o sustituir las trampas de vapor en mal estado, iniciando por aquellas que fueron identificadas como bloqueadas en el informe de la empresa TECNOSAGOT S.A.

5.3.3 Realizar una calibración del sistema de combustión de las calderas, de tal forma que se obtenga un valor de exceso de aire entre el 5% y el 15%, con la finalidad de obtener una mejora sustancial en la eficiencia de combustión y del sistema en general.

5.3.4 Sustituir los aislamientos térmicos de las tuberías del sistema que presenten un alto grado de deterioro, e instalar aislamiento a aquellas que no lo tengan, realizando previamente un análisis de espesor óptimo, o bien, utilizando los espesores recomendados por los fabricantes y/o literatura técnica aplicable.

5.3.5 Realizar un análisis técnico – económico con la finalidad de evaluar la conveniencia de construir un sistema de tuberías para la recolección de la totalidad del condensado formado en el sistema.

5.3.6 Eliminar tramos de tuberías que se encuentran fuera de operación en el sistema y que cuentan con trazas de vapor.

5.3.7 Eliminar un tramo de tubería de vapor de aproximadamente 62 m de longitud y 63 mm de diámetro, que discurre a lo largo de una canalización saturada de otras tuberías y ductos eléctricos, y que permanece inundada con agua, cuya función es abastecer de vapor a los serpentines de un tanque cisterna acondicionado para almacenar residuos, el cual no posee identificación particular y

se encuentra ubicado contiguo a las oficinas de Producto Negro en el plantel El Alto. Asimismo, se recomienda eliminar el uso del mencionado tanque.

5.3.8 Instalar equipos de medición individuales que permitan registrar el consumo de búnker, el flujo de vapor de atomización, el flujo de retorno de condensados, el flujo de agua de reposición de las calderas, lo anterior, con la finalidad de tener información disponible para futuros estudios, o bien, para dar el debido seguimiento al presente.

5.3.9 Realizar un estudio técnico - económico con la finalidad de evaluar la conveniencia de instalar un sistema de purga automático.

5.3.10 Instalar dispositivos de control automático de temperatura en los tanques de almacenamiento, y tanque de alimentación de agua a las calderas.

5.3.11 Automatizar el sistema de modulación del fuego de las calderas con la finalidad de que la combustión se ajuste de acuerdo con la demanda de vapor del sistema sin la intervención de los operadores.

5.3.12 Realizar un rediseño total de los sistemas de tuberías de la planta considerando lo siguiente:

- Optimizar rutas (eliminar tramos de tuberías innecesarios), diámetros, espesores y aislamientos térmicos.
- Optimizar diámetros, espesores y sistema de trazado de vapor.
- Optimizar la ubicación y tipo de accesorios necesarios en el sistema.
- Optimizar la cantidad, ubicación, selección e instalación de las trampas de vapor, así como los puntos de recolección de condensados.
- Optimizar el diseño de las piernas colectoras de condensados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Chanto Jarquín, Fernando. (1993). Material del curso de licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial del ITCR Ahorro Energético. Cartago, Costa Rica.
2. Chanto Jarquín, Fernando. (2009). Manual de la gestión energética y los programas de uso eficiente de la energía en la industria. San José, Costa Rica.
3. Colegio de Ingenieros Electricistas Mecánicos e Industriales, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. (1996). Material del Curso Auditorías Energéticas. San José, Costa Rica.
4. Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía. Programa Nacional de Conservación de Energía 2001-2006. San José: Autores
5. Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía. V Plan Nacional de Conservación de Energía 2008-2021. San José: Autores
6. Costa Rica, Ministerio del Ambiente y Energía, Dirección Sectorial de Energía. (2008). Balance Energético Nacional 2006. San José: Autores
7. Costa Rica. Leyes y Decretos (1994). Ley N° 7447 Regulación del Uso Racional de la Energía. San José: Imprenta Nacional.
8. Costa Rica. Leyes y Decretos (1996). Reglamento para la Regulación del Uso Racional de la Energía. San José: Imprenta Nacional.
9. Dirección Sectorial de Energía, Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. INTE 19-4-01-94 Auditorías energéticas en establecimientos de consumo de energía, desarrollo y contenido del dictamen energético. (1994). San José, Costa Rica: Talleres Gráficos de la Oficina de Publicaciones de Instituto Costarricense de Electricidad.
10. Donald Q., K. (1965/1984). Procesos de transferencia de calor. (18ª Reimpresión). Distrito Federal, México: Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.

11. Gordon J., Van Wylen & Richard E., Sonntag. (1967/1989). Fundamentos de termodinámica (14<sup>a</sup> Reimpresión). Distrito Federal, México: Editorial LIMUSA S.A. de C.V.
12. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. (s.f.). Ahorro de energía en sistemas de vapor. Guatemala.
13. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. (1981). Mejoramiento de la eficiencia de operación de calderas de vapor. Guatemala.
14. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. (s.f.). Manual de auditorías de energía, guía práctica de consulta para un auditor de energía. Guatemala.
15. Refinadora Costarricense de Petróleo S.A. (2009). Manual de Productos. San José.
16. Refinadora Costarricense de Petróleo S.A., Dirección de Planificación. (2007). Plan para reducir y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y gases nocivos a la salud, en los procesos de la empresa, conforme a la estrategia nacional de carbono neutral y paz con la naturaleza. San José: Autores
17. Refinadora Costarricense de Petróleo S.A., Dirección de Planificación. (2008). Plan Estratégico de RECOPE 2009-2013. San José: Autores
18. Sociedad Electro Mecánica S.A. de C.V. (1976). Manual de calderas SELMEC. México.
19. TECNOSAGOT S.A. (2010). Reporte de Inspección de Trampas. San José: Autor
20. Tomado de: Rodríguez Tavalera, Rogelio & Martínez Madrid, Miguel. EMULSIONES ASFÁLTICAS [en línea] 2010. Disponible en: [http://www.imt.mx/SitiolMT/Publicaciones/frmPublicacion.aspx?ID CON Seccion=4](http://www.imt.mx/SitiolMT/Publicaciones/frmPublicacion.aspx?ID_CON Seccion=4)
21. Tyers, Brian & Franklin Neil. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. (1999). Guía N° 24 de ARPEL,

Auditorías de energía en instalaciones de petróleo y gas upstream y downstream.

22. Weston. (1985). Manual sobre conservación de energía. San José, Costa Rica.

# ANEXOS

# **ANEXO A**

**FLUJOS VOLUMÉTRICOS DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS**

**PLANTA DE EMULSIONES**

**TABLA A.1**  
**RECIBO DE BÚNKER C**

AÑO	RECIBO DE BÚNKER C - PLANTEL EL ALTO - TK 118 (m <sup>3</sup> )												Entrada Anual (m <sup>3</sup> /año)	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	27,85	211,38	383,81	229,38	1 742,47	1 296,01	525,44	71,64	132,81	327,22	53,55	133,57	5 135,13	427,93
2008	0,00	25,98	430,48	344,09	333,68	316,80	505,43	149,08	47,78	617,39	1 523,29	1 589,14	5 883,14	490,26
2009	1 612,14	1 744,67	421,13	143,15	513,79	1 856,52	1 426,48						7 717,88	1 102,55
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>604,39</b>

ENTRADA ANUAL PROMEDIO =  $\frac{\text{m}^3}{\text{año}}$   
7 252,70

Fuente: El autor

**TABLA A.2**  
**CONSUMO DE BÚNKER C – PLANTA DE EMULSIONES**

AÑO	CONSUMO DE BÚNKER C - PLANTA EMULSIONES - TK 150 (m <sup>3</sup> )												Consumo Anual (m <sup>3</sup> )	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	0,00	120,85	62,27	113,04	0,00	134,97	64,98	95,77	107,53	71,88	15,19	0,00	786,48	65,54
2008	189,81	0,00	126,79	0,00	210,67	0,00	92,51	58,14	0,00	0,00	162,54	0,00	840,46	70,04
2009	193,91	102,27	80,11	0,00	110,16	99,86	71,38						657,69	93,96
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>73,70</b>

CONSUMO ANUAL PROMEDIO =  $\frac{\text{m}^3}{\text{año}}$   
884,37

Fuente: El autor

**TABLA A.3**  
**RECIBO DE ASFALTO AC 30 (POR TANQUE)**

AÑO	RECIBO DE ASFALTO AC30 - TK 112 (m <sup>3</sup> )												Entrada Anual (m <sup>3</sup> /año)	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
2007	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	0,00	1 302,91	1 264,01	603,34	0,00	1 037,77	329,23	0,00	666,64	834,30	507,85	1 353,31	7 899,36	658,28	
2009	489,43	624,71	550,58	488,87	654,05	772,27	0,00						3 579,91	511,42	
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>370,30</b>	

ENTRADA ANUAL PROMEDIO =  $\frac{m^3}{año}$   
4 443,59

AÑO	RECIBO DE ASFALTO AC30 - TK 113 (m <sup>3</sup> )												Entrada Anual (m <sup>3</sup> /año)	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	370,26	714,83	711,22	1 534,21	70,51	404,36	503,54	610,80	1 583,77	892,63	0,00	814,50	8 210,63	684,22
2008	1 164,98	483,57	1 102,68	745,40	1 459,29	0,00	470,13	275,19	0,00	1 208,96	349,11	205,19	7 464,50	622,04
2009	313,48	246,67	813,67	300,11	1 216,43	0,00	513,62						3 403,98	486,28
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>615,46</b>

ENTRADA ANUAL PROMEDIO =  $\frac{m^3}{año}$   
7 385,46

AÑO	RECIBO DE ASFALTO AC30 - TK 114 (m <sup>3</sup> )												Entrada Anual (m <sup>3</sup> /año)	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	199,43	69,47	0,00	520,10	0,00	69,61	0,00	0,00	641,61	0,00	835,12	0,00	2 335,34	194,61
2008	619,09	0,00	241,97	0,00	37,58	0,00	223,46	48,32	0,00	0,00	205,51	0,00	1 375,93	114,66
2009	390,37	0,00	99,41	0,00	561,71	0,00	73,52						1 125,01	160,72
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>156,01</b>

ENTRADA ANUAL PROMEDIO =  $\frac{m^3}{año}$   
1 872,11

Fuente: El autor

**TABLA A.4**  
**RECIBO DE ASFALTO AC 30 (TOTAL)**

AÑO	RECIBO DE ASFALTO AC30 - TOTAL PLANTA EMULSIONES - TKS 112, 113, 114 (m <sup>3</sup> )												Entrada Anual (m <sup>3</sup> /año)	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	569,69	784,30	711,22	2 054,31	70,51	473,97	503,54	610,80	2 225,38	892,63	835,12	814,50	10 545,97	878,83
2008	1 784,07	1 786,48	2 608,66	1 348,74	1 496,87	1 037,77	1 022,82	323,51	666,64	2 043,26	1 062,47	1 558,50	16 739,79	1 394,98
2009	1 193,28	871,38	1 463,66	788,98	2 432,19	772,27	587,14						8 108,90	1 158,41
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>1 141,76</b>

ENTRADA ANUAL PROMEDIO =  $\frac{\text{m}^3}{\text{año}}$  13 701,16

Fuente: El autor

**TABLA A.5**  
**CONSUMO DE ASFALTO AC 30 – PLANTA DE EMULSIONES**

AÑO	CONSUMO ASFALTO AC30 PARA PRODUCCIÓN DE EMULSIONES - TK 150 (m <sup>3</sup> )												Consumo Anual (m <sup>3</sup> )	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	439,56	551,32	652,31	452,13	414,74	549,85	455,89	525,66	482,88	313,19	350,94	709,69	5 898,16	491,51
2008	354,12	504,35	472,00	530,87	388,79	365,38	406,26	322,26	323,39	276,72	402,56	851,06	5 197,76	433,15
2009	523,41	570,46	657,24	453,08	535,96	421,41	507,60						3 669,16	524,17
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>476,29</b>

CONSUMO ANUAL PROMEDIO =  $\frac{\text{m}^3}{\text{año}}$  5 715,51

Fuente: El autor

**TABLA A.6**  
**PRODUCCIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA**

AÑO	PRODUCCIÓN TOTAL DE EMULSIONES - TKS 151, 152, 153, 154 (m <sup>3</sup> )												Producción Anual (m <sup>3</sup> /año)	Prom Mensual (m <sup>3</sup> /mes)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
2007	700,73	934,51	1 108,69	768,91	681,53	894,03	725,57	851,74	787,16	509,36	572,85	1 148,22	9 683,30	806,94
2008	574,30	761,36	765,28	866,87	634,71	581,16	653,08	517,68	518,92	443,18	641,47	1 319,23	8 277,24	689,77
2009	817,11	930,03	1 046,27	722,31	849,72	666,17	804,13						5 835,74	833,68
<b>PROMEDIO GENERAL</b>														<b>767,62</b>

PRODUCCIÓN ANUAL PROM. =  $\frac{\text{m}^3/\text{año}}{12}$  = 9 211,46

Fuente: El autor

# **ANEXO B**

**PÉRDIDAS DE CALOR EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

**AISLAMIENTO ACTUAL**

**TABLA B.1**  
**PÉRDIDA DE CALOR EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO – AISLAMIENTO ACTUAL**

Tanque	Producto	Espesor aislamiento	Material aislante	Diámetro	Radio externo	Radio superficial	Altura	Área paredes	Área techo / tapas	Temperatura ambiente	Temperatura tanque	Temperatura exterior tanque	Temperatura media
		e		D	r <sub>1</sub>	r <sub>s</sub>	h	A <sub>p</sub>	A <sub>t</sub>	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub> =(T <sub>1</sub> +T <sub>s</sub> )/2
		mm		m	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C
118	Búnker	50,80	Espuma Vidrio	22,220	11,110	11,161	12,534	878,95	391,33	19,00	70,00	22,37	46,19
112	Asfalto AC30	50,80	Espuma Vidrio	12,600	6,300	6,351	12,800	510,76	126,71	19,00	150,00	35,34	92,67
113	Asfalto AC30	38,10	Fibra Vidrio	13,065	6,533	6,571	12,200	503,67	135,63	19,00	150,00	35,18	92,59
114	Asfalto	50,80	Fibra Vidrio	13,065	6,533	6,583	12,200	504,64	136,16	19,00	140,00	30,67	85,34
150	Asfalto + Búnker	50,80	Espuma Vidrio	3,550	1,775	1,826	9,940	114,03	10,47	19,00	140,00	57,15	98,58
151	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,550	1,775	1,813	9,940	113,24	10,33	19,00	50,00	37,62	43,81
152	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,550	1,775	1,813	9,940	113,24	10,33	19,00	50,00	27,02	38,51
153	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,500	1,750	1,788	9,940	111,68	10,04	19,00	50,00	51,79	50,90
154	Emulsión Asfáltica	38,10	Fibra Vidrio	3,500	1,750	1,788	9,940	111,68	10,04	19,00	50,00	36,48	43,24
3	Agua p/ Solución	50,80	Espuma Vidrio	3,500	1,750	1,801	3,700	41,86	10,19	19,00	19,00	30,00	24,50
5	Solución Jabonosa	0,00	N/A	2,440	1,220	1,220	2,850	21,85	4,68	19,00	40,00	40,00	40,00
8	Solución Jabonosa	0,00	N/A	2,440	1,220	1,220	2,850	21,85	4,68	19,00	40,00	40,00	40,00
Condensados	Agua	0,00	Fibra Cerámica	0,000	0,000	0,000	3,199	0,00	0,00	19,00	96,00	28,90	62,45
Alimentación Agua Calderas	Agua	50,80	Fibra Cerámica	1,608	0,804	0,855	5,568	29,91	2,30	19,00	78,55	27,73	53,14

Fuente: El autor

TABLA B.2

## PÉRDIDA DE CALOR EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO – AISLAMIENTO ACTUAL (CONTINUACIÓN)

Tanque	Conductividad térmica	Coefficiente conductividad pélcula aire superf. vert.	Coefficiente conductividad pélcula aire superf. horiz. transmisión hacia arriba	Coefficiente global de transferencia de calor superf. Vert.	Coefficiente global de transferencia de calor superf. horiz. transmisión hacia arriba	Tiempo de operación anual	Calor perdido paredes	Calor perdido techo	Calor perdido total
	k	f		U		H	Q <sub>p</sub>	Q <sub>t</sub>	Q <sub>tot</sub>
	W / m °C	W / m <sup>2</sup> °C		W / m <sup>2</sup> °C		h / año	MJ / año	MJ / año	MJ / año
118	0,045	24,870	27,780			8 760	1 201 670,96	536 931,56	1 738 602,52
112	0,053	24,870	27,780			8 760	2 126 750,40	529 849,61	2 656 600,01
113	0,040	24,870	27,780			8 760	2 115 336,61	572 082,04	2 687 418,65
114	0,040	24,870	27,780			8 760	1 452 564,23	393 161,70	1 845 725,92
150	0,053	24,870	27,780			8 760	438 562,79	40 449,79	479 012,57
151	0,035	24,870	27,780			8 760	98 590,14	9 025,49	107 615,63
152	0,035	24,870	27,780			8 760	97 030,87	8 882,22	105 913,09
153	0,036	24,870	27,780			8 760	99 150,40	8 952,29	108 102,69
154	0,035	24,870	27,780			8 760	97 230,72	8 778,31	106 009,04
3	0,042	24,870	27,780			650	0,00	0,00	0,00
5	0,000	24,870	27,780	12,151	10,562	650	13 045,15	2 426,80	15 471,94
8	0,000	24,870	27,780	12,151	10,562	650	13 045,15	2 426,80	15 471,94
Condensados	0,061	24,870	27,780			8 760	0,00	0,00	0,00
Alimentación Agua Calderas	0,061	24,870	27,780			8 760	63 919,05	4 930,86	68 849,91
								<b>TOTAL</b>	<b>9 934 793,92</b>

Fuente: El autor

# **ANEXO C**

**PÉRDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS**

**SISTEMA DE VAPOR Y PLANTA DE EMULSIONES**

**AISLAMIENTO ACTUAL**

TABLA C.1

## PÉRDIDA DE CALOR EN TUBERÍAS - AISLAMIENTO ACTUAL (CALDERA UB-414)

Línea	Diámetro nominal	Radio externo	Esesor aislante	Material aislante	Radio superficial	Longitud	Área tubería/unidad de longitud	Área tubería	Área equivalente accesorios	Área total	Temperatura ambiente	Temperatura tubería	Temperatura exterior tubería	Temperatura media	Conductividad térmica	Coefficiente conductividad película aire tuberías	Coefficiente global de transferencia de calor	Tiempo de operación anual	Calor perdido
	$D_{nom}$	$r_1$	$e$		$r_s$	$L$	$A/L$	$A$	$A_{eq}$	$A_t$	$T_a$	$T_1$	$T_2$	$T_m=(T_1+T_2)/2$	$K$	$f$	$U$	$H$	$Q_{ca}$
	mm	mm	mm		mm	m	$m^2/m$	$m^2$	$m^2$	$m^2$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$W/m^{\circ}C$	$W/m^2^{\circ}C$	$W/m^2^{\circ}C$	h/año	MJ/año
V A P O R	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	5,70	0,688	3,92	1,21	5,13	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11		8760	40 323,13
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	2,40	0,528	1,27	0,00	1,27	19,00	195,43	157,00	176,22	0,000	28,11	22,37	8760	157 731,75
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	55,27	0,519	28,66	11,19	39,85	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11		8760	298 880,89
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	182,75	0,678	123,96	20,85	144,80	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11		8760	736 846,98
	100	57,15	50,80	Espuma Vidrio	107,95	3,05	0,678	2,07	0,00	2,07	19,00	195,43	28,52	111,98	0,058	28,11		8760	9 385,10
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	9,15	0,359	3,28	0,50	3,79	19,00	195,43	157,00	176,22	0,000	28,11	22,83	8760	480 985,33
	75	44,45	25,40	Fibra Vidrio	69,85	0,00	0,439	0,00	1,91	1,91	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11		8760	13 826,40
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	30,03	0,598	17,97	2,86	20,83	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11		8760	100 445,06
	75	44,45	0,00	Sin Aislante	44,45	19,00	0,279	5,30	0,22	5,53	19,00	195,43	157,00	176,22	0,000	28,11	23,17	8760	712 446,99
	63	36,58	0,00	Sin Aislante	36,58	62,33	0,230	14,32	0,78	15,10	19,00	195,43	157,00	176,22	0,000	28,11	23,39	8760	1 965 731,45
	50	30,16	25,40	Fibra Vidrio	55,56	25,79	0,349	9,00	6,48	15,49	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11		8760	104 416,68
	50	30,23	50,80	Silicato Calcio	81,03	48,14	0,509	24,51	4,56	29,07	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11		8760	127 688,75
	50	30,23	0,00	Sin Aislante	30,23	0,95	0,190	0,18	0,00	0,18	19,00	195,43	157,00	176,22	0,000	28,11	23,68	8760	23 793,47
	38	24,13	50,80	Silicato Calcio	74,93	14,10	0,471	6,64	1,33	7,97	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11		8760	32 981,32
	25	16,70	25,40	Fibra Vidrio	42,10	19,99	0,265	5,29	0,00	5,29	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11		8760	31 264,03
	25	16,76	0,00	Sin Aislante	16,76	11,39	0,105	1,20	0,52	1,72	19,00	195,43	157,00	176,22	0,000	28,11	24,59	8760	235 759,65
	19	13,46	50,80	Silicato Calcio	64,26	18,59	0,404	7,50	0,00	7,50	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11		8760	26 373,32
	19	13,46	0,00	Sin Aislante	13,46	16,29	0,085	1,38	0,00	1,38	19,00	195,43	157,00	176,22	0,000	28,11	24,98	8760	191 592,13
	<b>Sub Total Vapor</b>																		
B Ú N K E R	200	109,54	76,20	Espuma Vidrio	185,74	380,43	1,167	443,96	51,21	495,16	19,00	70,00	26,98	48,49	0,048	28,11		8760	379 897,07
	200	109,54	0,00	Sin Aislante	109,54	1,96	0,688	1,35	1,30	2,65	19,00	70,00	46,85	58,43	0,000	28,11	11,70	8760	49 773,82
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	18,50	0,847	15,67	16,50	32,17	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11		8760	46 465,18
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	33,19	0,847	28,13	0,00	28,13	19,00	70,00	26,98	48,49	0,048	28,11		8760	32 902,61
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	96,73	0,528	51,09	2,16	53,25	19,00	70,00	46,85	58,43	0,000	28,11	11,92	8760	1 021 281,36
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	172,00	0,678	116,66	3,83	120,49	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11		8760	161 949,36
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	0,00	0,359	0,00	2,16	2,16	19,00	70,00	46,85	58,43	0,000	28,11	12,27	8760	42 680,67
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	0,00	0,598	0,00	19,68	19,68	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11		8760	25 052,20
<b>Sub Total Búnker</b>																			<b>1 760 002,28</b>
A S F A L T O	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	153,01	0,688	105,30	14,86	120,17	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11		8760	651 911,15
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	128,42	0,847	108,82	51,36	160,19	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11		8760	622 280,17
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	35,25	0,847	29,87	6,69	36,56	19,00	150,00	24,26	87,13	0,054	28,11		8760	124 391,33
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	18,70	0,528	9,88	0,95	10,83	19,00	150,00	50,00	100,00	0,000	28,11	16,69	8760	746 861,11
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	85,43	0,519	44,31	12,33	56,64	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11		8760	293 151,49
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	235,69	0,678	159,86	63,58	223,44	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11		8760	807 870,34
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	56,88	0,359	20,43	4,28	24,71	19,00	150,00	50,00	100,00	0,000	28,11	21,63	8760	2 208 495,97
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	2,20	0,598	1,32	2,92	4,23	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11		8760	14 502,73
75	44,45	0,00	Sin Aislante	44,45	0,50	0,279	0,14	0,34	0,48	19,00	150,00	50,00	100,00	0,000	28,11	17,43	8760	34 473,45	
<b>Sub Total Asfalto</b>																			<b>5 503 937,75</b>
<b>TOTAL</b>																			<b>12 554 412,43</b>

Fuente: El autor

TABLA C.2

## PÉRDIDA DE CALOR EN TUBERÍAS - AISLAMIENTO ACTUAL (CALDERA UB 415)

Línea	Díámetro nominal	Radio externo	Espesor aislante	Material aislante	Radio superficial	Longitud	Área tubería/unidad de longitud	Área tubería	Área equivalente accesorios	Área total	Temperatura ambiente	Temperatura tubería	Temperatura exterior tubería	Temperatura media	Conductividad térmica	Coefficiente conductividad película aire tuberías	Coefficiente global de transferencia de calor	Tiempo de operación anual	Calor perdido
	$D_{nom}$ mm	$r_1$ mm	$e$ mm		$r_s$ mm	$L$ m	$A/L$ $m^2/m$	$A$ $m^2$	$A_{eq}$ $m^2$	$A_t$ $m^2$	$T_a$ °C	$T_1$ °C	$T_s$ °C	$T_m=(T_a+T_s)/2$ °C	$K$ $W/m\cdot°C$	$f$ $W/m^2\cdot°C$	$U$ $W/m^2\cdot°C$	$H$ h/año	$Q_{ca}$ MJ/año
V A P O R	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	5,70	0,888	3,92	1,21	5,13	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11	8760	34 623,49	
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	2,40	0,528	1,27	0,00	1,27	19,00	175,49	157,00	166,25	0,000	28,11	22,37	8760	139 902,87
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	55,27	0,519	28,66	11,19	39,85	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11	8760	256 614,56	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	182,75	0,678	123,95	20,85	144,80	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11	8760	639 497,85	
	100	57,15	50,80	Espuma Vidrio	107,95	3,05	0,678	2,07	0,00	2,07	19,00	175,49	28,52	102,00	0,058	28,11	8760	8 324,27	
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	9,15	0,359	3,28	0,50	3,79	19,00	175,49	157,00	166,25	0,000	28,11	22,83	8760	428 618,15
	75	44,45	25,40	Fibra Vidrio	69,85	0,00	0,439	0,00	1,91	1,91	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11	8760	11 870,43	
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	30,03	0,598	17,97	2,86	20,83	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11	8760	87 171,36	
	75	44,45	0,00	Sin Aislante	44,45	19,00	0,279	5,30	0,22	5,53	19,00	175,49	157,00	166,25	0,000	28,11	23,17	8760	631 917,02
	63	36,58	0,00	Sin Aislante	36,58	62,33	0,230	14,32	0,78	15,10	19,00	175,49	157,00	166,25	0,000	28,11	23,39	8760	1 743 539,07
	50	30,16	25,40	Fibra Vidrio	55,56	25,79	0,349	9,00	6,48	15,49	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11	8760	89 635,95	
	50	30,23	50,80	Silicato Calcio	81,03	48,14	0,509	24,51	4,56	29,07	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11	8760	110 808,08	
	50	30,23	0,00	Sin Aislante	30,23	0,95	0,190	0,18	0,00	0,18	19,00	175,49	157,00	166,25	0,000	28,11	23,68	8760	21 104,02
	38	24,13	50,80	Silicato Calcio	74,93	14,10	0,471	6,64	1,33	7,97	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11	8760	28 620,11	
	25	16,70	25,40	Fibra Vidrio	42,10	19,99	0,265	5,29	0,00	5,29	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11	8760	26 833,66	
	25	16,76	0,00	Sin Aislante	16,76	11,39	0,105	1,20	0,52	1,72	19,00	175,49	157,00	166,25	0,000	28,11	24,59	8760	209 111,05
	19	13,46	50,80	Silicato Calcio	64,26	18,59	0,404	7,50	0,00	7,50	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11	8760	22 883,86	
	19	13,46	0,00	Sin Aislante	13,46	16,29	0,085	1,38	0,00	1,38	19,00	175,49	157,00	166,25	0,000	28,11	24,98	8760	169 935,91
	<b>Sub Total Vapor</b>																		<b>4 659 011,73</b>
B Ú N K E R	200	109,54	76,20	Espuma Vidrio	185,74	380,43	1,167	443,96	51,21	495,16	19,00	70,00	26,98	48,49	0,046	28,11	8760	379 897,07	
	200	109,54	0,00	Sin Aislante	109,54	1,96	0,688	1,35	1,30	2,65	19,00	70,00	46,85	58,43	0,000	28,11	11,70	8760	49 773,82
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	18,50	0,847	15,67	16,50	32,17	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11	8760	46 465,18	
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	33,19	0,847	28,13	0,00	28,13	19,00	70,00	26,98	48,49	0,048	28,11	8760	32 902,61	
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	96,73	0,528	51,09	2,16	53,25	19,00	70,00	46,85	58,43	0,000	28,11	11,92	8760	1 021 281,36
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	172,00	0,678	116,66	3,83	120,49	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11	8760	161 949,36	
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	0,00	0,359	0,00	2,16	2,16	19,00	70,00	46,85	58,43	0,000	28,11	12,27	8760	42 680,67
75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	0,00	0,598	0,00	19,68	19,68	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11	8760	25 052,20		
<b>Sub Total Búnker</b>																		<b>1 760 002,28</b>	
A S F A L T O	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	153,01	0,888	105,30	14,86	120,17	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11	8760	851 911,15	
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	128,42	0,847	108,82	51,36	160,19	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11	8760	622 280,17	
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	35,25	0,847	29,87	6,69	36,56	19,00	150,00	24,26	87,13	0,054	28,11	8760	124 391,33	
	150	84,07	0,00	Sin Aislante	84,07	18,70	0,528	9,88	0,95	10,83	19,00	150,00	50,00	100,00	0,000	28,11	16,69	8760	746 861,11
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	85,43	0,519	44,31	12,33	56,64	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11	8760	293 151,49	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	235,69	0,678	159,86	63,58	223,44	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11	8760	807 870,34	
	100	57,15	0,00	Sin Aislante	57,15	56,88	0,359	20,43	4,28	24,71	19,00	150,00	50,00	100,00	0,000	28,11	21,63	8760	2 208 495,97
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	2,20	0,598	1,32	2,92	4,23	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11	8760	14 502,73	
75	44,45	0,00	Sin Aislante	44,45	0,50	0,279	0,14	0,34	0,48	19,00	150,00	50,00	100,00	0,000	28,11	17,43	8760	34 473,45	
<b>Sub Total Asfalto</b>																		<b>5 503 937,75</b>	
<b>TOTAL</b>																		<b>11 922 951,75</b>	

Fuente: El autor

# **ANEXO D**

**INFORMACIÓN Y REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR**

**ESTUDIO REALIZADO POR LA EMPRESA TECNOSAGOT S.A.**

## TABLA D.1

### INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 1 DE 8)

RECOPILADO ALTO  
PETROQUÍMICA  
CARTAGO, CARTAGO

## Master Log Report

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 1 / 8



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name Trap Type	Manufacturer Installed	Elevation Application	Priority Operation	Insp. Freq. Ins. Cnt	Orientation Set Temp	Pressure D. Part.	H Dry D.Yr	Condensate Rate Encountered?	Connection Type Size	Trap Location
001-0001	P455 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0002	33X-10 FLOAT	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0003	12-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0004	12-TD40 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0005	12-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0006	CD-41 DISC	ARMSTRONG 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0007	CD-41 DISC	ARMSTRONG 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0008	P455 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0009	12-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3470	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0010	12-T11 DISC	YARWAY 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0011	12-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0012	P455 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0013	12-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0014	P455R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0015	P455R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0016	B5-125 BUCKET	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0017	B5-125 BUCKET	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0018	B5-125 BUCKET	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 3490	horizontal 0	1 0	24 305	0 Yes	Unspecified 0.00	

Pressure: Kg/cm <sup>2</sup>	Capacity: %	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cond: %/min	Steam Loss: 1,000 kg / Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Monetary Loss: \$ / Year

## TABLA D.2

### INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 2 DE 8)

RECOPILADO  
DE DATOS  
CARTAGO (CARTAGO)

## Master Log Report

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 2 / 3



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name Trap Type	Manufacturer Installed	Element Application	Priority Operation	Inp. Pres. Sum Cost	Orientation Set Temp	Pressure B. Pres.	H.Dry D.Tr	Condensate Rate Recovered?	Connection Type Size	Trap Location
001-0009	B5-125 BUCKET	SPRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0010	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0011	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0012	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0013	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0014	B5-125 BUCKET	SPRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0015	B5-125 BUCKET	SPRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0016	B5-125 BUCKET	SPRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0017	J5X-10 FLOAT	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0018	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0019	1-3-TD42 DISC	SPRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0020	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0021	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0022	1-3-TD42 DISC	SPRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0023	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0024	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0025	J5X-10 FLOAT	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-0026	J5X-10 FLOAT	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	

Pressure: Kg/cm <sup>2</sup>	Currency: \$	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cost: \$/ton	Steam Loss: 1000 kg/Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Monetary Loss: \$/Year

**TABLA D.3**  
**INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 3 DE 8)**

RECOPILADO  
 DE TRAMPAS  
 CARTAGO, CARTAGO

*Master Log Report*

Print Date: 05/11/2010  
 Page: 3 / 8



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name Trap Type	Manufacturer Installed	Element Application	Priority Operation	Insp. Freq. Sun Cost	Orientation Set Temp	Pressure R. Press.	H Day D/Yr	Condensate Rate Recovered*	Connection Type Size	Trap Location
001-00037	P45SR DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00038	P45SS DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00039	P45SS DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00040	12-ID42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00041	12-ID42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00042	CD-41 DISC	ARMSTRONG 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00043	12-ID42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00044	CD-41 DISC	ARMSTRONG 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00045	12-ID42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00046	P45SS DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00047	P45SR DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00048	P45SR DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00049	J5X-10 FLOAT	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00050	J5X-10 FLOAT	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00051	J5X-10 FLOAT	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00052	P45SS DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00053	P45SR DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00054	P45SR DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	

Pressure: kg/cm <sup>2</sup>	Currency: \$	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cost: \$/ton	Steam Loss: 1.00 kg / Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Monetary Loss: \$ / Year

## TABLA D.4 INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 4 DE 8)

RECOPPEL ALTO  
PETROQUÍMICA  
CARTAGO, CARTAGO

### Master Log Report

Printed Date: 05/11/2010

Page: 4 / 8



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name	Manufacturer	Elevation	Priority	Ins. Freq	Orientation	Pressure	H Day	Condensate Rate	Connection Type	Trap Location
	Trap Type	Installed	Application	Operation	Set Coz	Set Temp	B Press	D-Yr	Recovered*	Size	
001-00055	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00056	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00057	1.2-ID-2 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00058	B1-X-125 BUCKET	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00059	1.2-ID-2 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00060	P495R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00061	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00062	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00063	1.2-ID-2 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00064	1.2-ID-2 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00065	1.2-ID-2 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00066	1.2-ID-2 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00067	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00068	P495R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00069	CD-41 DISC	ARMSTRONG 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00070	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00071	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00072	OTHERS OTHERS	OTHERS 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.00	

Pressure: Kg/cm <sup>2</sup>	Currency: \$	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Stream Coz: \$/ton	Stream Loss: 1.000 kg/Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Monetary Loss: \$/Year

## TABLA D.5 INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 5 DE 8)

RECOPES EL ALTO  
DE TACQUIMBA  
CARTAGO, CARTAGO

### Master Log Report

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 5 of 8



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name Trap Type	Manufacturer Installed	Elevation Application	Priority Operation	Ins. Freq. Ins. Cnt	Orientation Set Temp	Pressure B. Press	H Day D/Yr	Condensate Rate Recovered	Connection Type Site	Trap Location
001-0007	17-TD51 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00074	17-TD41 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00075	17-TD51 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00076	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00077	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00078	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00079	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00080	17TD52 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00081	17TD52 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00082	P4955 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00083	P495R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00084	P495R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00085	17TD52 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00086	17-TD41 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00087	17TD52 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00088	17TD52 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	1 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00089	17TD52 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00090	17-TD41 DISC	SPIRAN SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	0 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	

Pressure: kg/cm <sup>2</sup>	Capacity: 5	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cost: \$/ton	Steam Loss: 1.000 kg / Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Monetary Loss: \$ / Year

**TABLA D.6**  
**INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 6 DE 8)**

RESOLPE EL ALTO  
 PETROQUÍMICA  
 CARTAGO, CARTAGO

*Master Log Report*

Printed Date: 05/11/2010  
 Page: 6 / 8



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name Trap Type	Manufacturer Installed	Element Application	Priority Operation	Ins. Freq Ins. Cnt.	Orientation Set Temp	Pressure B. Press.	H Day DLYr	Condensate Rate Recovered*	Connection Type Size	Trap Location
001-00091	L2-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	1 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00092	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00093	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00094	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00095	P485R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00096	B5-125 BUCKET	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	1 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00097	B1-X-125 BUCKET	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00098	L2-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00099	L2TD552 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00100	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00101	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00102	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00103	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00104	L2-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00105	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00106	P4855 DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00107	L2TD552 DISC	SPIRAX SARCO 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00108	P485R DISC	TLV 01/11/2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.00	horizontal 0	9 0	24 355	0 Yes	Unspecified 0.00	

Pressure: Kpa/cm<sup>2</sup>  
 Temperature: C  
 Pipe Size: mm

Currency: \$  
 Steam Cost: \$/ton  
 Inspection Frequency: Month(s)

Condensate Rate: kg/hr  
 Steam Loss: 1.00 kg / Year  
 Monetary Loss: \$ / Year

## TABLA D.7

### INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 7 DE 8)

RECOPÉ EL ALTO  
PETROQUÍMICA  
CARTAGO, CARTAGO

## Master Log Report

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 7 / 8



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name Trap Type	Manufacturer Installd	Element Application	Priority Operation	Ins. Freq. Sun Cost	Orientation Sec Temp	Pressure B Press	H Day D/Yr	Condensate Rate Reversed*	Connection Type Size	Trap Location
001-00109	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00110	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00112	P495R DISC	ILV 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 24.00	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00113	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00114	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00115	P495S DISC	ILV 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00116	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 24.00	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00117	BUCKET BUCKET	OTHERS 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 24.00	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00118	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00119	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00120	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 24.00	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00121	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00122	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00123	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00124	1.0-TD42 DISC	SPIRAX SARCO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 24.00	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00125	P495R DISC	ILV 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	9 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00126	P495R DISC	ILV 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	
001-00127	P495S DISC	ILV 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	24 365	0 Yes	Unspecified 0.60	

Pressure: Kg/cm <sup>2</sup>	Capacity: t	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cost: \$/t	Steam Loss: 1.000 kg / Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Monetary Loss: \$ / Year

**TABLA D.8**  
**INFORMACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 8 DE 8)**

REGOPEL ALTO  
 PETROQUÍMICA  
 CARTAGO, CARTAGO

*Master Log Report*

Printed Date: 05/11/2010  
 Page: 3 / 5



Group By: Area No: 001

Area - Trap ID	Model Name Trap Type	Manufacturer Installed	Elevation Application	Priority Operation	Trap In. Cou	Orientation Set Temp	Pressure B. Press	H.Dry D.Yr	Condensate Rate Recovered*	Connection Type Size	Trap Location
001-00118	1.0-TD-02 DISC	SPRAX SARGO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	0 0	20 355	0 Yes	Unspecified 0.00	
001-00119	1.0-TD-02 DISC	SPRAX SARGO 01-11-2010	Unspecified OTHERS	Unspecified Unspecified	0 34.90	horizontal 0	1 0	20 355	0 Yes	Unspecified 0.00	

Pressure: kg/cm <sup>2</sup>	Currency: \$	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cost: \$/ton	Steam Loss: 1.000 kg/Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Moisture Loss: \$/Year

Fuente: Informe de Inspección realizado por la empresa TECNOSAGOT S.A.

**TABLA D.9**  
**REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 1 DE 5)**

RECOPÉ EL ALTO  
 PETROQUÍMICA  
 CARTAGO, CARTAGO

## Survey Report

Printed Date: 05/01/2010  
 Page: 1 / 5



Survey Name: Default Survey 04/11/2010  
 Date Started: 04/11/2010  
 Date Ended: 04/11/2010

Inspected Traps: 109  
 Failed Traps: 42  
 Fail Rate: 38.53%

Good Traps: 67  
 No Service Traps: 0

Annual Monetary Loss: 36,976  
 Annual Steam Leakage: 883

Area-Trap ID	Inspection Date	Inspection Results	Leak Level	Steam Loss	Monetary Loss	Judgement Mode	Surface Temp.	Trap Fault	Comments
001-00004	02/11/2010	LEAK/M	7	55	1,932	Automatic	124	Unspecified	
001-00005	02/11/2010	LEAK/S	3	29	1,026	Automatic	127	Unspecified	
001-00006	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	133	Unspecified	
001-00007	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	132	Unspecified	
001-00008	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	130	Unspecified	
001-00010	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	121	Unspecified	
001-00011	02/11/2010	LEAK/M	9	67	2,344	Automatic	125	Unspecified	
001-00012	02/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	74	Unspecified	
001-00013	02/11/2010	LEAK/M	6	47	1,645	Automatic	121	Unspecified	
001-00014	02/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	79	Unspecified	
001-00015	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	142	Unspecified	
001-00016	02/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	62	Unspecified	
001-00017	02/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	60	Unspecified	
001-00018	02/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	49	Unspecified	
001-00019	02/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	54	Unspecified	
001-00021	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	124	Unspecified	
001-00022	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	120	Unspecified	
001-00023	02/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	117	Unspecified	
001-00024	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	83	Unspecified	
001-00025	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	131	Unspecified	
001-00026	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	49	Unspecified	
001-00027	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	119	Unspecified	
001-00028	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	119	Unspecified	
001-00029	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	137	Unspecified	
001-00030	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	143	Unspecified	
001-00031	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	146	Unspecified	

Pressure: kg/cm <sup>2</sup>	Currency: \$	Condensate Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cost: \$/ton	Steam Leakage: 1000 kg/Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Month(s)	Monetary Loss: \$/Year

## TABLA D.10

## REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 2 DE 5)

RECOPÉ EL ALTO  
PETROQUÍMICA  
CARTAGO, CARTAGO

## Survey Report

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 2/5



Survey Name: Default Survey 04/11/2010  
Date Started: 04/11/2010  
Date Ended: 04/11/2010

Inspected Traps: 109  
Failed Traps: 42  
Fail Rate: 38.53%

Good Traps: 67  
No Service Traps: 0

Annual Monetary Loss: 38,976  
Annual Steam Leakage: 838

Area-Trap ID	Inspection Date	Inspection Results	Leak Level	Steam Loss	Monetary Loss	Judgement Mode	Surface Temp.	Trap Fault	Comments
001-00032	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	131	Unspecified	
001-00033	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	136	Unspecified	
001-00034	03/11/2010	LEAKS	3	29	1,019	Automatic	116	Unspecified	
001-00035	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	143	Unspecified	
001-00036	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	125	Unspecified	
001-00037	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	114	Unspecified	
001-00038	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	121	Unspecified	
001-00039	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	134	Unspecified	
001-00040	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	134	Unspecified	
001-00041	03/11/2010	LEAKS	4	36	1,268	Automatic	119	Unspecified	
001-00042	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	127	Unspecified	
001-00043	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	138	Unspecified	
001-00044	03/11/2010	LEAKS	1	15	511	Automatic	121	Unspecified	
001-00045	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	130	Unspecified	
001-00046	03/11/2010	LEAKS	2	26	891	Automatic	138	Unspecified	
001-00047	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	129	Unspecified	
001-00048	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	115	Unspecified	
001-00049	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	138	Unspecified	
001-00050	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	149	Unspecified	
001-00051	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	127	Unspecified	
001-00052	03/11/2010	BLOCKED	0	0	0	Automatic	21	Unspecified	
001-00053	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	134	Unspecified	
001-00054	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	110	Unspecified	
001-00056	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	106	Unspecified	
001-00060	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	118	Unspecified	
001-00061	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	128	Unspecified	

Pressure: kg/cm<sup>2</sup>  
Temperature: C  
Pipe Size: mm

Currency: \$  
Steam Cost: \$/ton  
Inspection Frequency: Month(s)

Condensate Rate: kg/hr  
Steam Leakage: 1,000 kg/Year  
Monetary Loss: \$/Year

## TABLA D.11

## REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 3 DE 5)

RECOPIL ALTO  
PETROQUÍMICA  
CARTAGO, CARTAGO

## Survey Report

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 3/5



Survey Name: Default Survey 04/11/2010  
Data Started: 04/11/2010  
Data Ended: 04/11/2010

Inspected Traps: 109  
Failed Traps: 42  
Fail Rate: 38.53%

Good Traps: 67  
No Service Traps: 0

Annual Monetary Loss: 10,976  
Annual Steam Leakage: 888

Area-Trap ID	Inspection Date	Inspection Results	Leak Level	Steam Loss	Monetary Loss	Judgement Mode	Surface Temp.	Trap Fault	Comments
001-00062	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	129	Unspecified	
001-00063	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	122	Unspecified	
001-00064	03/11/2010	LEAK'S	2	25	\$66	Automatic	137	Unspecified	
001-00065	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	136	Unspecified	
001-00066	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	129	Unspecified	
001-00067	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	153	Unspecified	
001-00068	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	146	Unspecified	
001-00069	03/11/2010	LEAK/M	6	50	1,750	Automatic	114	Unspecified	
001-00071	03/11/2010	LEAK'S	2	25	\$59	Automatic	110	Unspecified	
001-00072	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	120	Unspecified	
001-00073	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	152	Unspecified	
001-00074	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	134	Unspecified	
001-00075	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	106	Unspecified	
001-00076	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	119	Unspecified	
001-00077	03/11/2010	LEAK'S	1	13	456	Automatic	134	Unspecified	
001-00078	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	151	Unspecified	
001-00079	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	142	Unspecified	
001-00080	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	129	Unspecified	
001-00081	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	121	Unspecified	
001-00082	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	61	Unspecified	
001-00083	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	114	Unspecified	
001-00084	03/11/2010	LEAK'S	1	10	349	Automatic	125	Unspecified	
001-00085	03/11/2010	LEAK/M	6	39	1,366	Automatic	119	Unspecified	
001-00086	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	89	Unspecified	
001-00087	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	78	Unspecified	
001-00089	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	91	Unspecified	

Pressure: kg/cm<sup>2</sup>  
Temperature: C  
Pipe Size: mm

Currency: \$  
Steam Cost: \$/ton  
Inspection Frequency: Month(s)

Condensate Rate: kg/hr  
Steam Leakage: 1,000 kg/Year  
Monetary Loss: \$/Year

## TABLA D.12

## REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 4 DE 5)

RECOPPE EL ALTO  
PETROQUÍMICA  
CARTAGO, CARTAGO

## Survey Report

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 4/5

Survey Name: Default Survey 04/11/2010  
Data Started: 04/11/2010  
Data Ended: 04/11/2010

Inspected Traps: 109  
Failed Traps: 42  
Fail Rate: 38.53%

Good Traps: 67  
No Service Traps: 0

Annual Steam Loss: 30,976  
Annual Steam Leakage: 858

Area-Trap ID	Inspection Date	Inspection Results	Leak Level	Steam Loss	Monetary Loss	Judgement Mode	Surface Temp.	Trap Fault	Comments
001-00090	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	144	Unspecified	
001-00092	03/11/2010	LEAKS	4	38	1,312	Automatic	124	Unspecified	
001-00093	03/11/2010	LEAKS	4	39	1,352	Automatic	133	Unspecified	
001-00094	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	108	Unspecified	
001-00095	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	157	Unspecified	
001-00097	03/11/2010	BLOWING	15	123	4,309	Automatic	117	Unspecified	
001-00098	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	129	Unspecified	
001-00099	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	136	Unspecified	
001-00100	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	107	Unspecified	
001-00101	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	154	Unspecified	
001-00102	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	157	Unspecified	
001-00103	03/11/2010	LEAKS	2	27	912	Automatic	135	Unspecified	
001-00104	03/11/2010	LEAKS	2	27	954	Automatic	121	Unspecified	
001-00105	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	117	Unspecified	
001-00106	03/11/2010	LEAKS	2	27	954	Automatic	128	Unspecified	
001-00107	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	107	Unspecified	
001-00108	03/11/2010	LEAKS	1	7	255	Automatic	125	Unspecified	
001-00109	03/11/2010	LEAKS	1	23	817	Automatic	136	Unspecified	
001-00110	03/11/2010	LEAKS	1	16	651	Automatic	112	Unspecified	
001-00112	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	106	Unspecified	
001-00113	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	141	Unspecified	
001-00114	03/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	112	Unspecified	
001-00115	03/11/2010	LEAKS	3	31	1,068	Automatic	109	Unspecified	
001-00116	03/11/2010	LEAKS	2	27	950	Automatic	120	Unspecified	
001-00120	03/11/2010	LEAKS	4	36	1,257	Automatic	137	Unspecified	
001-00121	03/11/2010	LOW TEMP	0	0	0	Automatic	55	Unspecified	

Pressure: kg/cm<sup>2</sup>  
Temperature: C  
Pipe Size: mm

Current: \$  
Steam Cost: \$/ton  
Inspection Frequency: Month(s)

Condensate Rate: kg/hr  
Steam Leakage: 1000 kg/Year  
Monetary Loss: \$/Year

## TABLA D.13

## REPORTE DE INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (PÁGINA 5 DE 5)

RECOPPEL ALTO  
PETROQUIMICA  
CARTAGO, CARTAGO

*Survey Report*

Printed Date: 05/11/2010  
Page: 5/5



Survey Name: Default Survey 04/11/2010  
Date Started: 04/11/2010  
Date Ended: 04/11/2010

Inspected Traps: 169  
Failed Traps: 42  
Fail Rate: 35,63%

Good Traps: 67  
No Service Traps: 0

Annual Monetary Loss: 30,976  
Annual Steam Leakage: 888

Area-Trap ID	Inspection Date	Inspection Results	Leak Level	Steam Loss	Monetary Loss	Judgement Mode	Surface Temp.	Trap Fault	Comments
001-00122	05/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	152	Unspecified	
001-00123	05/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	125	Unspecified	
001-00124	05/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	109	Unspecified	
001-00125	05/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	144	Unspecified	
001-00125	05/11/2010	GOOD	0	0	0	Automatic	145	Unspecified	
<b>End of Survey</b>			Summary	<b>888</b>	<b>30,976</b>				

Pressure: kg/cm <sup>2</sup>	Currency: \$	Credentia Rate: kg/hr
Temperature: C	Steam Cost: \$/ton	Steam Leakage: 1.000 kg/Year
Pipe Size: mm	Inspection Frequency: Months	Monetary Loss: \$/Year

Fuente: Informe de Inspección realizada por la empresa TECNOSAGOT S.A.

# **ANEXO E**

**AHORRO DE ENERGÍA DEBIDO A MEJORAS EN EL AISLAMIENTO TÉRMICO  
DE LAS TUBERÍAS DEL SISTEMA DE VAPOR Y PLANTA DE EMULSIONES**

TABLA E.1

## AHORRO DE ENERGÍA AL MEJORAR AISLAMIENTO TÉRMICO DE TUBERÍAS (CALDERA UB 414)

Línea	Diámetro nominal	Radio externo	Espesor aislante	Material aislante	Radio superficial	Longitud	Área tubería/unidad de longitud	Área tubería	Área equivalente accesorios	Área total	Temperatura ambiente	Temperatura tubería	Temperatura exterior tubería	Temperatura media	Conductividad térmica	Coefficiente de conductividad p/álgebra aire tuberías	Coefficiente global de transferencia de calor	Tiempo de operación anual	Calor perdido	Ahorro
	D <sub>nom</sub>	r <sub>1</sub>	e	r <sub>s</sub>	L	A / L	A	A <sub>eq</sub>	A <sub>T</sub>	T <sub>a</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>m</sub> =(T <sub>1</sub> +T <sub>2</sub> )/2	K	f	U	H	Q <sub>perd</sub>	Q <sub>ahorrado</sub>	
	mm	mm	mm	mm	m	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	W / m °C	W / m <sup>2</sup> °C	W / m <sup>2</sup> °C	h / año	MJ / año	MJ / año	
V A P O R	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	5,70	0,688	3,92	1,21	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11	0,043	8760	40 323,13		
	150	84,07	63,50	Silicato Calcio	147,57	2,40	0,927	2,22	0,00	2,22	19,00	195,43	25,00	110,22	0,065	28,11	0,065	8760	9 411,77	
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	55,27	0,519	28,66	11,19	39,85	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11	0,043	8760	298 880,89	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	182,75	0,678	123,95	20,85	144,80	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11	0,065	8760	736 846,98	
	100	57,15	50,80	Espuma Vidrio	107,95	3,05	0,678	2,07	0,00	2,07	19,00	195,43	28,52	111,98	0,058	28,11	0,058	8760	9 385,10	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	9,15	0,678	6,20	0,50	6,71	19,00	195,43	25,00	110,22	0,065	28,11	0,065	8760	34 128,29	
	75	44,45	25,40	Fibra Vidrio	69,85	0,00	0,439	0,00	1,91	1,91	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11	0,043	8760	13 826,40	
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	30,03	0,598	17,97	2,86	20,83	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11	0,065	8760	100 445,06	
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	19,00	0,598	11,37	0,22	11,59	19,00	195,43	25,00	110,22	0,065	28,11	0,065	8760	55 876,43	
	63	36,58	50,80	Silicato Calcio	87,38	62,33	0,549	34,22	0,78	35,00	19,00	195,43	25,00	110,22	0,065	28,11	0,065	8760	161 205,15	
	50	30,16	25,40	Fibra Vidrio	55,56	25,79	0,349	9,00	6,48	15,49	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11	0,043	8760	104 416,68	
	50	30,23	50,80	Silicato Calcio	81,03	48,14	0,509	24,51	4,56	29,07	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11	0,065	8760	127 688,75	
	50	30,23	50,80	Silicato Calcio	81,03	0,95	0,509	0,49	0,00	0,49	19,00	195,43	25,00	110,22	0,065	28,11	0,065	8760	2 126,71	
	38	24,13	50,80	Silicato Calcio	74,93	14,10	0,471	6,64	1,33	7,97	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11	0,065	8760	32 981,32	
	25	16,70	25,40	Fibra Vidrio	42,10	19,99	0,265	5,29	0,00	5,29	19,00	195,43	28,52	111,98	0,043	28,11	0,043	8760	31 254,03	
	25	16,76	50,80	Silicato Calcio	67,56	11,39	0,425	4,83	0,52	5,36	19,00	195,43	25,00	110,22	0,065	28,11	0,065	8760	20 053,96	
	19	13,46	50,80	Silicato Calcio	64,26	18,59	0,404	7,50	0,00	7,50	19,00	195,43	28,52	111,98	0,065	28,11	0,065	8760	28 373,32	
	19	13,46	50,80	Silicato Calcio	64,26	16,29	0,404	6,58	0,00	6,58	19,00	195,43	25,00	110,22	0,065	28,11	0,065	8760	23 120,98	
	<b>Sub Total Vapor</b>																		<b>1 828 354,92</b>	<b>3 462 117,48</b>
B Ú N K E R	200	109,54	76,20	Espuma Vidrio	185,74	380,43	1,167	443,96	51,21	495,16	19,00	70,00	26,96	48,49	0,048	28,11	8760	379 897,07		
	200	109,54	38,10	Silicato Calcio	147,64	1,96	0,928	1,82	1,30	3,11	19,00	70,00	25,00	47,50	0,059	28,11	8760	6 416,03		
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	18,50	0,847	15,67	16,50	32,17	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11	8760	46 465,18		
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	33,19	0,847	28,13	0,00	28,13	19,00	70,00	26,98	48,49	0,048	28,11	8760	32 902,61		
	150	84,07	38,10	Silicato Calcio	122,17	96,73	0,768	74,25	2,16	76,41	19,00	70,00	25,00	47,50	0,059	28,11	8760	152 131,20		
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	172,00	0,678	116,66	3,83	120,49	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11	8760	161 949,36		
	100	57,15	25,40	Silicato Calcio	82,55	0,00	0,519	0,00	2,16	2,16	19,00	70,00	25,00	47,50	0,059	28,11	8760	6 339,51		
75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	0,00	0,598	0,00	19,68	19,68	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11	8760	25 052,20			
<b>Sub Total Búnker</b>																		<b>811 153,17</b>	<b>948 849,11</b>	
A S F A L T O	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	153,01	0,688	105,30	14,86	120,17	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11	8760	851 911,15		
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	128,42	0,847	108,82	51,36	160,19	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11	8760	622 280,17		
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	35,25	0,847	29,87	6,69	36,56	19,00	150,00	24,26	87,13	0,054	28,11	8760	124 391,33		
	150	84,07	38,10	Silicato Calcio	122,17	18,70	0,768	14,35	0,95	15,30	19,00	150,00	25,00	87,50	0,062	28,11	8760	81 916,94		
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	85,43	0,519	44,31	12,33	56,64	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11	8760	293 151,49		
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	235,69	0,678	159,86	63,58	223,44	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11	8760	807 870,34		
	100	57,15	25,40	Silicato Calcio	82,55	56,88	0,519	29,50	4,28	33,79	19,00	150,00	25,00	87,50	0,062	28,11	8760	265 860,39		
75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	2,20	0,598	1,32	2,92	4,23	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11	8760	14 502,73			
75	44,45	25,40	Silicato Calcio	69,85	0,50	0,439	0,22	0,34	0,56	19,00	150,00	25,00	87,50	0,062	28,11	8760	4 236,07			
<b>Sub Total Asfalto</b>																		<b>2 866 120,61</b>	<b>2 637 817,14</b>	
<b>TOTAL</b>																		<b>5 505 628,69</b>	<b>7 048 783,74</b>	

Fuente: El autor

TABLA E.2

## AHORRO DE ENERGÍA AL MEJORAR AISLAMIENTO TÉRMICO DE TUBERÍAS (CALDERA UB 415)

Línea	Diámetro nominal	Radio externo	Espesor aislante	Material aislante	Radio superficial	Longitud	Área	Área	Área	Temperatura ambiente	Temperatura tubería	Temperatura exterior tubería	Temperatura media	Conductividad térmica	Coeficiente de conductividad película aire tuberías	Coeficiente global de transferencia de calor	Tiempo de operación anual	Calor perdido	Ahorro	
							de tubería	de tuberías accesorios	total											
	$D_{nom}$	$r_1$	$e$		$r_s$	$L$	$A / L$	$A$	$A_a$	$A_t$	$T_a$	$T_1$	$T_2$	$T_m = (T_1 + T_2) / 2$	$K$	$f$	$U$	$H$	$Q_{ca}$	$Q_{ahorrado}$
	mm	mm	mm		mm	m	$m^2 / m$	$m^2$	$m^2$	$m^2$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$W / m^{\circ}C$	$W / m^2^{\circ}C$	$W / m^2^{\circ}C$	h / año	MJ / año	MJ / año
V A P O R	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	5,70	0,688	3,92	1,21	5,13	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11		8760	34 623,49	
	150	84,07	63,50	Silicato Calcio	147,57	2,40	0,927	2,22	0,00	2,22	19,00	195,43	25,00	110,22	0,063	28,11		8760	9 208,15	
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	55,27	0,519	28,66	11,19	39,85	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11		8760	256 614,56	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	182,75	0,678	123,95	20,85	144,80	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11		8760	639 497,85	
	100	57,15	50,80	Espuma Vidrio	107,95	3,05	0,678	2,07	0,00	2,07	19,00	175,49	28,52	102,00	0,058	28,11		8760	8 324,27	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	9,15	0,678	6,20	0,50	6,71	19,00	195,43	25,00	110,22	0,063	28,11		8760	33 394,03	
	75	44,45	25,40	Fibra Vidrio	69,85	0,00	0,439	0,00	1,91	1,91	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11		8760	11 870,43	
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	30,03	0,598	17,97	2,86	20,83	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11		8760	87 171,36	
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	19,00	0,598	11,37	0,22	11,59	19,00	195,43	25,00	110,22	0,063	28,11		8760	54 672,18	
	63	36,58	50,80	Silicato Calcio	87,38	62,33	0,549	34,22	0,78	35,00	19,00	195,43	25,00	110,22	0,063	28,11		8760	157 728,03	
	50	30,16	25,40	Fibra Vidrio	55,56	25,79	0,349	9,00	6,48	15,49	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11		8760	89 635,95	
	50	30,23	50,80	Silicato Calcio	81,03	48,14	0,509	24,51	4,56	29,07	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11		8760	110 808,08	
	50	30,23	50,80	Silicato Calcio	81,03	0,95	0,509	0,48	0,00	0,48	19,00	195,43	25,00	110,22	0,063	28,11		8760	2 080,75	
	38	24,13	50,80	Silicato Calcio	74,93	14,10	0,471	6,64	1,33	7,97	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11		8760	28 620,11	
	25	16,70	25,40	Fibra Vidrio	42,10	19,99	0,265	5,29	0,00	5,29	19,00	175,49	28,52	102,00	0,042	28,11		8760	26 833,66	
	25	16,76	50,80	Silicato Calcio	67,56	11,39	0,425	4,83	0,52	5,36	19,00	195,43	25,00	110,22	0,063	28,11		8760	19 618,75	
19	13,46	50,80	Silicato Calcio	64,26	18,59	0,404	7,50	0,00	7,50	19,00	175,49	28,52	102,00	0,063	28,11		8760	22 883,86		
19	13,46	50,80	Silicato Calcio	64,26	16,29	0,404	6,58	0,00	6,58	19,00	195,43	25,00	110,22	0,063	28,11		8760	22 618,48		
<b>Sub Total Vapor</b>																			<b>1 616 201,99</b>	<b>3 674 270,41</b>
B Ú N K E R	200	109,54	76,20	Espuma Vidrio	185,74	380,43	1,167	443,96	51,21	495,16	19,00	70,00	26,98	48,49	0,048	28,11		8760	379 897,07	
	200	109,54	38,10	Silicato Calcio	147,64	1,96	0,928	1,82	1,30	3,11	19,00	70,00	25,00	47,50	0,059	28,11		8760	6 416,03	
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	18,50	0,847	15,67	16,50	32,17	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11		8760	46 465,18	
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	33,19	0,847	28,13	0,00	28,13	19,00	70,00	26,98	48,49	0,048	28,11		8760	32 902,61	
	150	84,07	38,10	Silicato Calcio	122,17	96,73	0,768	74,25	2,16	76,41	19,00	70,00	25,00	47,50	0,059	28,11		8760	152 131,20	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	172,00	0,678	116,66	3,83	120,49	19,00	70,00	26,98	48,49	0,059	28,11		8760	161 949,36	
	100	57,15	25,40	Silicato Calcio	82,55	0,00	0,519	0,00	2,16	2,16	19,00	70,00	25,00	47,50	0,059	28,11		8760	6 339,51	
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	0,00	0,598	0,00	19,68	19,68	19,00	70,00	25,98	48,49	0,059	28,11		8760	25 052,20	
<b>Sub Total Búnker</b>																			<b>811 153,17</b>	<b>948 849,11</b>
A S F A L T O	150	84,14	25,40	Fibra Vidrio	109,54	153,01	0,688	105,30	14,66	120,17	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11		8760	651 911,15	
	150	84,07	50,80	Silicato Calcio	134,87	128,42	0,847	106,82	51,36	160,19	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11		8760	622 280,17	
	150	84,07	50,80	Espuma Vidrio	134,87	35,25	0,847	29,87	6,69	36,56	19,00	150,00	24,26	87,13	0,054	28,11		8760	124 391,33	
	150	84,07	38,10	Silicato Calcio	122,17	18,70	0,768	14,35	0,95	15,30	19,00	150,00	25,00	87,50	0,062	28,11		8760	81 916,94	
	100	57,15	25,40	Fibra Vidrio	82,55	85,43	0,519	44,31	12,33	56,64	19,00	150,00	24,26	87,13	0,040	28,11		8760	293 151,49	
	100	57,15	50,80	Silicato Calcio	107,95	235,69	0,678	159,86	63,58	223,44	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11		8760	807 870,34	
	100	57,15	25,40	Silicato Calcio	82,55	56,88	0,519	29,50	4,28	33,79	19,00	150,00	25,00	87,50	0,062	28,11		8760	265 860,39	
	75	44,45	50,80	Silicato Calcio	95,25	2,20	0,598	1,32	2,92	4,23	19,00	150,00	24,26	87,13	0,062	28,11		8760	14 502,73	
75	44,45	25,40	Silicato Calcio	69,85	0,50	0,439	0,22	0,34	0,56	19,00	150,00	25,00	87,50	0,062	28,11		8760	4 236,07		
<b>Sub Total Asfalto</b>																			<b>2 866 120,61</b>	<b>2 637 817,14</b>
<b>TOTAL</b>																			<b>5 293 475,76</b>	<b>6 629 475,99</b>

Fuente: El autor

# **ANEXO F**

**INVENTARIO DE TRAMPAS DE VAPOR DEL SISTEMA**

**TABLA F.1**  
**INVENTARIO DE TRAMPAS DE VAPOR DEL SISTEMA**

N°	CÓDIGO	MODELO	MARCA	φ (pulg)	φ (mm)	TIPO	N°	CÓDIGO	MODELO	MARCA	φ (pulg)	φ (mm)	TIPO
1	TV-116	B15-D187	Armstrong	2	51	Balde invertido	66	TV-118	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
2	TV-16	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	67	TV-119	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
3	TV-17	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	68	TV-120	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
4	TV-18	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	69	TV-121	TD42H (509)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
5	TV-19	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	70	TV-122	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
6	TV-24	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	71	TV-123	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
7	TV-25	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	72	TV-124	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
8	TV-26	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	73	TV-75		Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco
9	TV-96	B-5	Spirax Sarco	2	51	Balde invertido	74	TV-1	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
10	TV-10	Imp L20	Yarway	1/2	13	Desconocido	75	TV-8	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
11	TV-72	21-312-V	Armstrong	1	25	Flotador libre	76	TV-14	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
12	TV-13	N90	Spirax Sarco	1/2	13	Flotador libre	77	TV-15	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
13	TV-58	180# G87	Spirax Sarco	1/2	13	Flotador libre	78	TV-20	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
14	TV-97	180# G87	Spirax Sarco	1/2	13	Flotador libre	79	TV-21	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
15	TV-2	J3X-10/A SN QE57111	TLV	1	25	Flotador libre	80	TV-22	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
16	TV-49	J5X-10/A DN40 SJ97900	TLV	1 1/2	38	Flotador libre	81	TV-23	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
17	TV-50	J5X-10/A DN40 SJ97900	TLV	1 1/2	38	Flotador libre	82	TV-28	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
18	TV-51	J5X-10/A SG83118	TLV	1 1/2	38	Flotador libre	83	TV-30	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
19	TV-27	DN40 SG83118	TLV	1 1/2	38	Flotador libre	84	TV-31	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
20	TV-35	DN40 SG97899	TLV	1 1/2	38	Flotador libre	85	TV-33	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
21	TV-36	DN40 SG97899	TLV	1 1/2	38	Flotador libre	86	TV-34	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
22	TV-6	CD33S	Armstrong	1/2	13	Termodinámica disco	87	TV-37	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
23	TV-7	CD33S	Armstrong	1/2	13	Termodinámica disco	88	TV-38	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
24	TV-42	CD33S	Armstrong	1/2	13	Termodinámica disco	89	TV-39	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
25	TV-44	CD33S	Armstrong	1/2	13	Termodinámica disco	90	TV-46	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
26	TV-69	CD33S	Armstrong	1/2	13	Termodinámica disco	91	TV-47	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
27	TV-3	TD42H (905)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	92	TV-48	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
28	TV-4	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	93	TV-52	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
29	TV-5	TD 42 (910)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	94	TV-54	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
30	TV-9	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	95	TV-55	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
31	TV-11	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	96	TV-56	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
32	TV-12	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	97	TV-61	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
33	TV-29	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	98	TV-62	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
34	TV-32	TD42 (001)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	99	TV-67	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
35	TV-40	TD42H (905)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	100	TV-68	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
36	TV-41	TD42 (910)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	101	TV-70	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
37	TV-43	TD42 (902)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	102	TV-71	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
38	TV-45	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	103	TV-76	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
39	TV-57		Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	104	TV-77	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
40	TV-59	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	105	TV-78	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
41	TV-60	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	106	TV-79	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
42	TV-63	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	107	TV-82	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
43	TV-64	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	108	TV-83	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
44	TV-65	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	109	TV-84	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
45	TV-66	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	110	TV-92	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
46	TV-73	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	111	TV-93	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
47	TV-74	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	112	TV-94	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
48	TV-80	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	113	TV-95	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
49	TV-81	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	114	TV-100	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
50	TV-85	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	115	TV-101	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
51	TV-86	TD42H (509)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	116	TV-102	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
52	TV-87	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	117	TV-103	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
53	TV-88	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	118	TV-105	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
54	TV-89	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	119	TV-106	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
55	TV-90	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	120	TV-108	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
56	TV-91	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	121	TV-112	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
57	TV-98	TD42 (D01)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	122	TV-115	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
58	TV-99	TDS52	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	123	TV-125	TD42H	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
59	TV-104	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	124	TV-126	P46SRN	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
60	TV-107		Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	125	TV-127	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
61	TV-109	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	126	TV-128	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
62	TV-110	TD42H (912)	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	127	TV-53	P46SRN	TLV	3/4	19	Termodinámica disco
63	TV-113	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	128	TV-128	P46SS	TLV	1/2	13	Termodinámica disco
64	TV-114	TD42	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco	129	TV-53	P46SRN	TLV	3/4	19	Termodinámica disco
65	TV-117	TD42H	Spirax Sarco	1/2	13	Termodinámica disco							

Fuente: El autor