



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Naval

ANÁLISIS DE INGENIERIA A UN SISTEMA DE  
CALEFACCIÓN MEDIANTE ACEITE TÉRMICO  
EN UN BUQUE PORTA CONTENEDORES

Tesis para optar al Título de:  
Ingeniero Naval.  
Mención: Maquinas Marinas

Profesor Patrocinante:  
Sr. Héctor Legue Legue.  
Ingeniero Civil Mecánico.  
M.Sc. Ingeniería Oceánica.

DAVID FERNANDO BRISO MEDINA

VALDIVIA - CHILE

2006

Esta Tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el título de: **Ingeniero Naval**, mención **Máquinas Marinas**.

**EXAMEN DE TITULO:**

Nota de presentación	(Ponderada) (1)	:	4,240
Nota de examen	(Ponderada) (2)	:	1,300
Nota Final de Titulación	(1+2)	:	5,54

**COMISIÓN EXAMINADORA:**

PROF. FREDY RIOS M.

DECANO

PROF. HECTOR LEGUIE L

EXAMINADOR

PROF. MARIO LOAIZA O

EXAMINADOR

PROF. CARLOS SANGUINETTI V

EXAMINADOR

EXAMINADOR

PROF. MILTON LEMARIE O

SECRETARIO ACADÉMICO

FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA

Valdivia,..... MARZO 31 DE 2006 .....

Nota de Presentación =NC/NA \* 0.6 + Nota de Tesis \* 0.2  
 Nota Final =Nota de Presentación + Nota Examen \* 0.2  
 NC =Sumatoria Notas Currículum, sin Tesis  
 NA =Número de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida Práctica Profesional.

Gracias a mis padres Elsa y Jesús  
por todas sus enseñanzas, a mis hermanos  
Carlos, Andrés y Yuri por el apoyo,  
a Suzanne por su cariño y aprecio,  
y a todos mis buenos amigos.

## Índice

### Resumen

### Introducción

<b>1. Capítulo I: Presentación del tema</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades	1
1.2 Glosario de términos	3
<b>2. Capítulo II: Definiciones y conceptos básicos</b>	<b>5</b>
2.1 Conceptos básicos del circuito de aceite térmico	5
2.2 Fluido térmico	5
2.3 Economizador	6
2.4 Caldera de aceite térmico	8
2.5 Intercambiador de calor	9
2.6 Bombas de circulación	14
<b>3. Capítulo III: Fundamentos teóricos del proceso de transferencia de calor en el circuito</b>	<b>16</b>
3.1 Generalidades	16
3.2 Transferencia de calor y termodinámica	17
3.3 Modos de transferencia de calor	18
3.3.1. Conducción	19
3.3.2. Radiación	24
3.3.3. Convección	27
3.4 Flujo Laminar y Flujo Turbulento	30
3.5 Transferencia de calor al fluido térmico	32
3.6 Pérdida de energía en el circuito de calefacción	34
<b>4. Capítulo IV: Circuito de calefacción con aceite térmico</b>	<b>39</b>
4.1 Generalidades	39
4.2 Descripción del sistema de calefacción (Plano número 003)	46
4.3 Componentes principales del sistema	48
4.4 Elementos de control	53
4.5 Irregularidades graves que se pueden presentar durante la operación	58
4.6 Prescripciones de seguridad	60
4.7 Aceite térmico	62
4.8 Tratamiento y mantenimiento del aceite térmico	63
4.9 Mantenimiento del sistema	67

4.10	Hervido del sistema	72
<b>5.</b>	<b>Capítulo V: Análisis de antecedentes</b>	<b>77</b>
5.1	Generalidades	77
5.2	Aspectos a considerar al momento de diseñar una planta de aceite térnico	77
5.3	Ventajas	80
5.4	Desventajas	84
5.5	Los operadores	84
5.6	Campo de aplicación	85
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>90</b>

## **Resumen**

El objetivo de esta tesis es el dar a conocer un sistema de calefacción mediante aceite térmico en un buque porta contenedores. Se definirán los elementos básicos que componen el sistema, y se desarrollara un análisis en base a los fundamentos teóricos de transferencia de calor, con la finalidad de cuantificar como se le suministra calor al aceite térmico al estar en servicio el sistema.

Para completar este análisis se presenta el sistema de calefacción de aceite térmico del buque porta contenedores Mapocho. Se explicara como se opera y como se realiza la mantención de cada uno de los equipos y elementos que conforman este sistema. De esta forma se consigue apreciar los factores externos que influyen en una óptima transferencia de calor al aceite. Para finalizar el análisis se plantearan las ventajas y desventajas de la utilización de este sistema a bordo.

## **Summary**

The objective of this dissertation is to become familiar with the concept behind a thermal oil heating system in a container ship. The basic elements will be defined and the developed analysis will be based upon the theoretical essentials of heat transference, purposely getting to understand how heat is supplied to the thermal oil when the system is put into operation.

To complete this analysis the thermal oil heating system of the Mapocho container ship is described. The maintenance and use of each of the equipments and elements that conform this system will be described. Thus the external factors that affect the transference of heat to the oil will be appreciated. To finalize this analysis the advantages and disadvantages of the on board use of this system will be weighed.

## Introducción

Las nuevas tecnologías cada vez abarcan mayores áreas de aplicación, la industrial naval no se encuentra fuera de este ámbito, es por esto que armadores y constructores han comenzado a aplicarlas en los diseños de nuevos buques.

Es así, como se puede apreciar que la importancia del ahorro de energía tiene una mayor relevancia, la optimización de los nuevos sistemas de control generarán una disminución de los costos de mantención. Además se puede observar una reducción del tamaño de los equipos y la simplificación de los procesos que a bordo se realizan.

En la actualidad existe un gran número de buques con salas de máquinas UMS (Unattended Machine Space), que permiten un control más automatizado de los distintos sistemas, de esta forma los operarios son los encargados de velar del correcto funcionamiento de cada sistema y a su vez realizar la mantención periódica o la que estos necesiten.

Después de un periodo de embarque en el buque porta contenedores "Mapocho" de la compañía naviera nacional SAAM, del tipo UMS, se trabajó en un sistema de calefacción mediante aceite térmico, el cual permite la automatización completa de sus operaciones al estar en servicio, tanto en navegación como en puerto, y en donde los operarios solo cumplen la misión de asistir al sistema y de realizar la mantención.

El objetivo es de dar a conocer mediante un análisis de ingeniería como funciona el sistema calefacción de aceite térmico en un buque porta contenedores.

El desarrollo de esta tesis abarcara definiciones de los elementos que componen el sistema, un análisis teórico del proceso de transferencia de calor, y un análisis práctico del sistema, en el cual se incluirán los detalles de puesta en servicio, equipos control y seguridad y procedimientos de mantención, de tal forma de poder llegar a establecer las ventajas de la utilización de este sistema.

## Capítulo I: Presentación del tema

### 1.1 Generalidades

En los últimos años se ha logrado observar el alto crecimiento de la marina mercante nacional e internacional. Gracias a las nuevas tecnologías, este crecimiento ha traído una modernización de las flotas de buques de cada compañía naviera y el transporte de grandes cantidades de mercancía en contenedores la forma más rápida y segura.

En la actualidad existen factores económicos, ambientales y normas de estandarización, que se deben cumplir, que demuestran la importancia de generar proyectos y servicios de mayor rentabilidad, a un menor costo, que a su vez produzcan los mínimos daños al medio ambiente. Es por esto que armadores y constructores han estado de acuerdo en la utilización de nuevos sistemas de control para la optimización del consumo de la energía a bordo. La reducción del tamaño de los equipos y la simplificación de los procesos que a bordo se realizan tienen una importancia económica que cada vez toma más relevancia. De esta forma la automatización ha tomado un rol de gran importancia, en la actualidad existe un gran número de buques UMS (Unattended Machine Space), que además de optimizar los procesos a bordo reducen los riesgos de accidentes, lo que aumenta la seguridad de la tripulación y del buque.

Con esta creciente modernización e introducción de la automatización al ámbito naval, el área más desarrollada en la marina mercante fue la de máquinas marinas, como bien se sabe, en un comienzo los buques con propulsión a vapor fueron desplazados por los buques con sistema de propulsión mediante un motor de combustión interna, no obstante la utilización del vapor a bordo aun seguía siendo requerida, existían procesos en los cuales era indispensable un fluido que pudiera aportar y transportar calor a lo largo del buque, que además fuera seguro y eficiente de utilizar en navegación. De esta forma se creó un sistema de generación de vapor a través de una caldera que utilizaba los gases de escape del motor principal como fuente de calor, y que al llegar a puerto se utilizara una caldera auxiliar para generar el vapor requerido y que tuviera una fuente de calor propia. La utilización de este tipo de sistema es bastante eficiente y aún se encuentra en servicio en muchos buques cargueros, pero como la necesidad de disminuir la pérdida energética y reaprovechar de mejor forma la energía producida, aparece un nuevo sistema de calefacción, y así a partir de la década de los 80 aproximadamente se empezaron a construir buques cargueros que ya no utilizaban el vapor como fluido de calefacción, sino que un sistema

basado en el aceite térmico (conocido también como fluido térmico), el cual ha encontrado un gran uso en distintos tipos de buques, ya que, es un sistema que permite la automatización completa de este al estar en servicio, tanto en navegación como en puerto, y en donde los operarios solo cumplen la misión de asistir al sistema y de realizar la mantención que este requiere.

Esta basado en un sistema de generación vapor a través de gases de escape, es decir, a través de un economizador que utiliza los gases de escape del motor principal como fuente de calor (cuando el buque esta en navegación) y una caldera de aceite térmico cuando el buque arriba a puerto.

Las principales características de este sistema es que reduce en forma notoria el espacio requerido por cada uno de los distintos equipos que lo componen, permite una automatización completa del sistema y que el fluido tiene una mayor vida útil.

Dado que todo ingeniero en su proceso de formación debe conocer y almacenar una gran cantidad de información, que además le servirá a futuro en su desempeño laboral, surge mi motivación a realizar un análisis de ingeniería sobre este sistema de calefacción mediante aceite térmico, a modo de aclarar las interrogantes que se puedan plantear de acuerdo a lo antes mencionado. Aunque en la actualidad este sistema de calefacción se utiliza en distintos tipos de buques mercantes el análisis se orientara a un buque porta contenedores, ya que, el modelo básico del sistema es similar en todos los buques. Como complemento para la fuente de información se utilizarán los datos recopilados en el buque porta contenedores "Mapocho" de la compañía naviera nacional SAAM, los cuales se obtuvieron durante el periodo de práctica de embarque realizada en este buque. Con estos datos se dará a conocer como funciona el sistema de aceite térmico a bordo, la mantención y los sistemas de seguridad con los que este cuenta.

## 1.2 Glosario de términos

Transferencia de calor: Por las leyes físicas se puede afirmar, que el calor fluye desde una región de mayor temperatura a una de menor temperatura. La forma de realizar esta transferencia de calor se puede clasificar en tres categorías conducción, convección y radiación.

Conducción: Es la transferencia de calor que se realiza por medio de vibración molecular.

Radiación: Es la transferencia de calor que se realiza por medio de ondas electromagnéticas en movimiento.

Convección: Es la transferencia de calor que se realiza por medio del desplazamiento de un fluido.

Proceso Adiabático: En termodinámica, cualquier proceso físico en el que las magnitudes como la presión o el volumen, se modifican sin una transferencia de calor.

Caldera: Es todo aparato a presión utilizado para calentar un líquido, en donde el calor procedente de una fuente de energía se transforma en utilizable en forma de calorías, a través de un fluido de transporte en fase líquida o vapor.

Caldera de vapor: Es toda caldera en la que el fluido de transporte de las calorías es vapor de agua. El que se genera produciendo un cambio de fase del agua al interior de la caldera.

Caldera de fluido térmico: Es toda caldera en la que el fluido de transporte es un fluido sumidero de calor distinto del agua y en donde el fluido no está sometido a un cambio de fase.

Economizador (fluido térmico): Es un elemento que recupera calor sensible de los gases de escape del motor principal del buque para aumentar la temperatura del fluido térmico (el principio es el de un intercambiador de calor).

Calderas automáticas: Son aquellas calderas que realizan su ciclo normal de funcionamiento sin precisar de acción manual alguna, salvo en su puesta inicial en servicio o en caso de haber actuado un órgano de seguridad de corte de aporte calórico, después de que ésta haya sufrido un paro ocasionado por la acción de alguno de sus órganos de seguridad o de regulación.

Calderas manuales: Se considerará como manual cualquier caldera cuyo funcionamiento difiera del de las anteriormente definidas como automáticas.

Superficie de calefacción: Es la superficie de intercambio de calor que está en contacto con el fluido transmisor. La superficie de convección vendrá dada por la superficie real bañada por el fluido transmisor correspondiente a las zonas no expuestas a la llama.

Presión de diseño: Es la máxima presión de trabajo a la temperatura de diseño y será la utilizada para el cálculo resistente de las partes a presión del equipo.

Presión máxima de servicio: Es la presión límite a la que quedará sometido el equipo una vez conectado a la instalación receptora.

Temperatura de diseño: Es la temperatura prevista en las partes metálicas sometidas a presión en las condiciones más desfavorables de trabajo.

Temperaturas de servicio: Son las diversas temperaturas alcanzadas en los fluidos utilizados en los equipos en las condiciones normales de funcionamiento.

Vigilancia directa: Es la supervisión del funcionamiento de la caldera por medio de un operador que permanece de forma continua en la misma sala de maquinas.

Vigilancia indirecta: Es cualquier otra forma de supervisión que difiera de la vigilancia directa.

Regulación progresiva por escalas: Es la variación de la aportación calorífica que permite establecer un cierto número de posiciones intermedias entre los valores máximo y mínimo.

## **Capítulo II: Definiciones y conceptos básicos**

### **2.1 Conceptos básicos de un sistema de calefacción de aceite térmico**

Un sistema de calefacción mediante aceite térmico, se define como al conjunto de equipos y elementos que interactúan para generar el proceso de transferencia de calor a un fluido térmico (aceite térmico) y la circulación de este a través de un circuito. La función de este sistema en un buque, es el de satisfacer la demanda de energía calórica a bordo, es decir, mantener la temperatura de servicio del aceite térmico requerida para los distintos procesos en los cuales este se utiliza. Para controlar las variaciones de temperatura que presenta el aceite térmico al estar en servicio, existe un sistema de control, que a través de un panel de control eléctrico, permite que todos los procesos que se realicen en el sistema sean operados en forma automática, y reducir de esta forma, la intervención de los operarios. A este panel llegan las señales de los distintos instrumentos de medición e interruptores que están conectados a los equipos del circuito. En el capítulo IV se explica como se realiza este control, que equipos y elementos interactúan para mantener la temperatura de servicio del aceite térmico.

Los equipos que actúan en forma más directa con el proceso de transferencia de calor, es decir, generan los cambios de temperatura del aceite térmico, son el economizador, la caldera de aceite térmico y los intercambiadores de calor, las bombas de circulación, a pesar de no tener ningún aporte calórico al fluido son equipos de suma importancia, ya que, al estar en servicio debe existir un flujo determinado del aceite térmico en el circuito, de no existir esta circulación no se produciría ningún tipo de transferencia térmica. En que consiste cada uno de estos equipos se definirá a continuación, no obstante en el capítulo III se establece un análisis teórico de cómo es el proceso de transferencia de calor en cada uno de ellos y la importancia del flujo que debe presentar el fluido, porque en un sistema como este no se realiza un cambio de fase del fluido.

### **2.2 Fluido térmico**

Un fluido térmico (aceite térmico) es el fluido al que se le eleva la temperatura mediante una fuente de calor; como el quemador en la caldera, o por la circulación del fluido al interior de un serpentín expuesto a un flujo directo de gases calientes (economizador), y que después entrega el calor absorbido al sistema a través de los consumidores de calor, que serían los distintos intercambiadores de calor, al circular por las cañerías al interior de estanques de almacenamientos de combustible y cualquier otro circuito que requiera mantener una temperatura de servicio determinada.

Este proceso de transferencia de calor, se lleva a cabo en un circuito cerrado, es decir, el fluido nunca está en contacto con otro fluido, por lo que el fluido térmico sólo constituye ser la fuente que aporta la energía calórica, a diferencia del vapor, el fluido térmico no se somete a un cambio de fase y no puede ser utilizado en otro proceso que no sea el de calefacción.

Un aceite utilizado como fluido térmico debe tener excelentes características para la transferencia de calor y que las distintas variaciones de temperatura no cambien sus propiedades físicas. Existe una gran gama de fabricantes de aceite y la elección depende de los requerimientos de la planta. La circulación forzada y controlada del fluido térmico dentro del circuito, se realiza para asegurar una transferencia de calor perfectamente equilibrada, garantizando un funcionamiento sin riesgo de alteración del fluido. Las características técnicas de los aceites térmicos utilizados como fluido térmico, se explican en el capítulo IV, junto con detallar los análisis que se le pueden realizar tanto en el buque como en un laboratorio especializado.

### **2.3 El Economizador**

El economizador es un serpentín (tubos en espirales) dispuesto de forma vertical, cubierto por una coraza de acero aislada térmicamente. Este equipo requiere de una fuente de calor externa, por lo que se ubica en la chimenea de los gases de escape del motor principal y es el que realiza la transferencia de calor al fluido térmico cuando el buque está en navegación, recupera el calor sensible de los gases de escape que fluyen a través de los tubos del serpentín. La circulación del fluido térmico se establece en sentido contrario a la entrada de los gases de escape, así se obtiene una mejor transferencia calor. Además cuenta con elementos de extinción de incendio, toberas para lavado, válvulas de drenaje, medidores de presión y temperatura.

En la figura 2.1 se muestra un montaje de un economizador en la chimenea de los gases de escape del motor propulsor, en el se pueden apreciar los tubos del serpentín, las toberas de extinción de incendios (ubicadas en la parte superior), las toberas de lavado (ubicadas en la parte inferior), la línea roja representa la medición de la temperatura de los gases de escape, antes y después de pasar por el serpentín y la línea azul la medición de la temperatura que se tiene sobre el aceite térmico al pasar por el economizador.

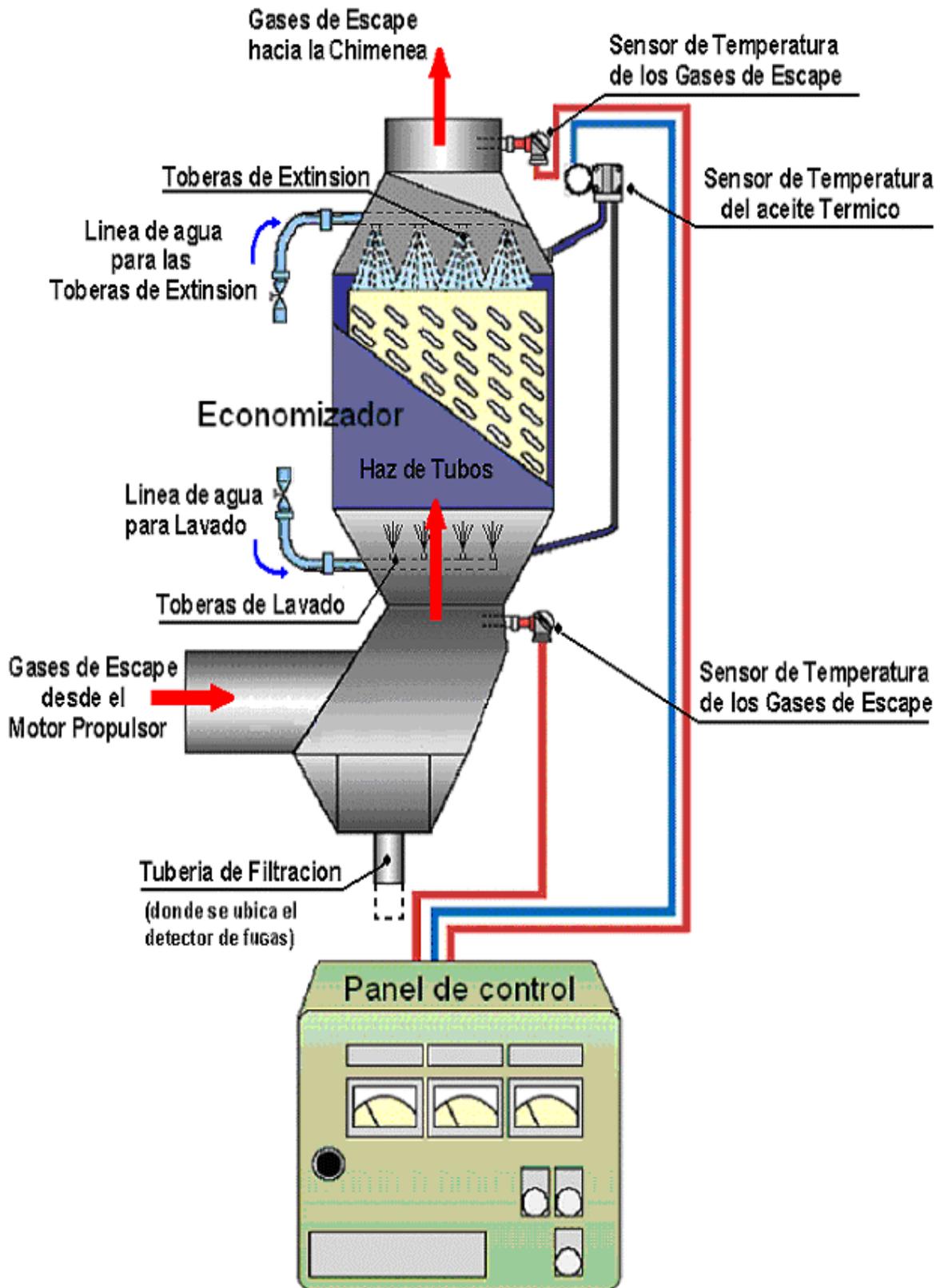


Figura 2.1. Montaje del economizador en la chimenea de gases de escape, debe existir un monitoreo constante para asegurar el correcto funcionamiento y así evitar posibles accidentes.

## 2.4 Caldera de aceite térmico

El concepto de caldera se comprende como todo aparato a presión utilizado para calentar un líquido, en donde el calor procedente de una fuente de energía se transforma en utilizable en forma de calorías, a través de un fluido de transporte en fase líquida o vapor.

Existen diferencias entre una caldera de vapor y una caldera de aceite térmico, pero la utilización del término “caldera”, es porque la finalidad que tienen en un buque es la misma, es decir, ambas generan un fluido que entrega un aporte calórico. Es importante destacar que al ser una caldera de aceite térmico no existe un cambio de fase del fluido como ocurre en las calderas a vapor, por lo que requieren de un equipo condensador, si un equipo externo para generar la circulación del aceite (bombas de circulación).

La caldera de aceite térmico es un equipo que consiste en un cilindro de acero sellado en sus extremos (la carcasa) y aislado térmicamente, en su interior esta adherida una pared refractaria, también esta ubicado el serpentín, que son los tubos concéntricos por los cuales circula el aceite. La superficie de calefacción, esta constituida por la pared refractaria a la carcasa y el serpentín. Dentro de la caldera se habla de un lado de fuego y un lado del aceite.

En uno de sus extremos esta acoplado un quemador controlado, que puede utilizar Diesel o Fuel Oil (este punto depende del fabricante), el cual representa la fuente calórica que le transfiere el calor al aceite.

Esta caldera es del tipo automática y de vigilancia indirecta, por lo que la llama del quemador no daña los tubos del serpentín al estar en servicio. Los elementos de control aseguran que la temperatura y presión del fluido antes y después de pasar por la caldera, estos son detallados en el capítulo IV.

La circulación del aceite térmico se realiza a contracorriente, es decir, esta cruzada la entrada del fluido y la llama procedente del quemador, formando un régimen de turbulencia de los gases al pasar por entre los tubos del serpentín, lo que le permite alcanzar un intercambio térmico altamente eficaz y que la optima utilización de la llama en la cámara de combustión.

Existen dos tipos de disposición de una caldera de aceite térmico, vertical u horizontal, factor que depende principalmente del espacio que se cuenta para instalarla en la sala de máquinas, ver figura 2.2.

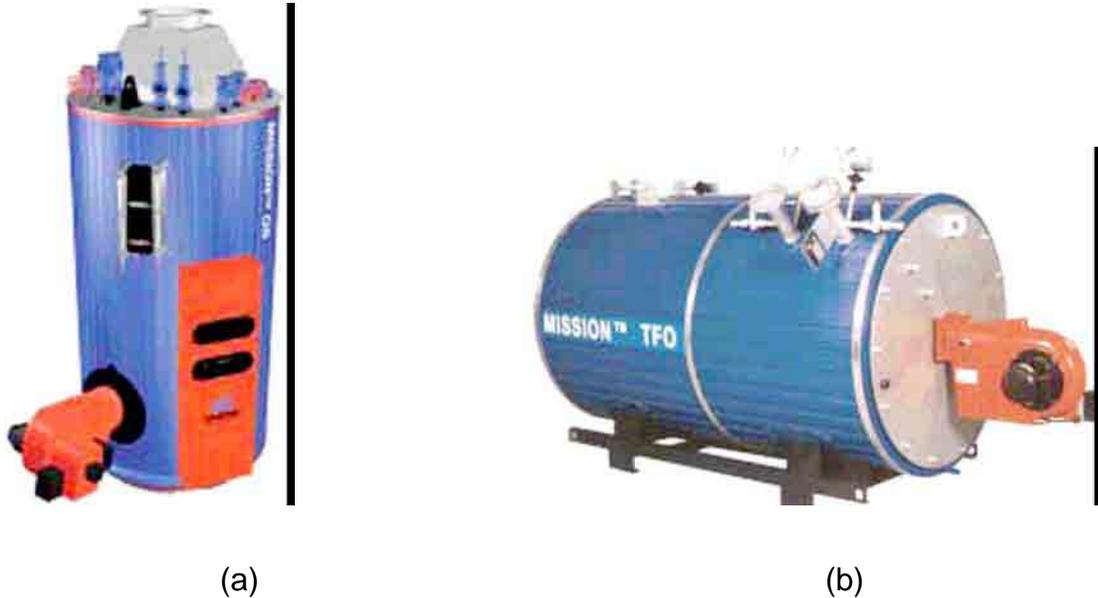


Figura 2.2 (a) caldera vertical, (b) caldera horizontal. La disposición que adoptara la caldera esta definida principalmente por una necesidad de espacio.

Una caldera de aceite térmico es capaz de producir desde 100 kW a 20.000 kW a 8 bar, que en una caldera a vapor equivale a 32 t/h a 16 bar. Con esto se puede apreciar que este tipo de caldera, a pesar de ser de menor tamaño y presión, puede satisfacer la misma demanda energética.

## 2.5 Intercambiador de calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo que facilita la transferencia de calor de una corriente de un fluido a otro, su utilización a bordo esta presente en varios procesos, es por ello que es necesario realizar una detallada denominación.

Una clasificación importante de los intercambiadores de calor es la división entre los de una sola corriente y los de dos corrientes. El de una sola corriente es aquel en el que sólo varía la temperatura de un fluido, por ejemplo un condensador. Un intercambiador de dos corrientes es aquel en el que se cambia la temperatura de ambos fluidos, por ejemplo un enfriador de aceite por agua. En la figura 2.3 se muestra un intercambiador de una y de dos corrientes, junto con su diagrama de cambio de temperatura a lo largo del intercambiador.

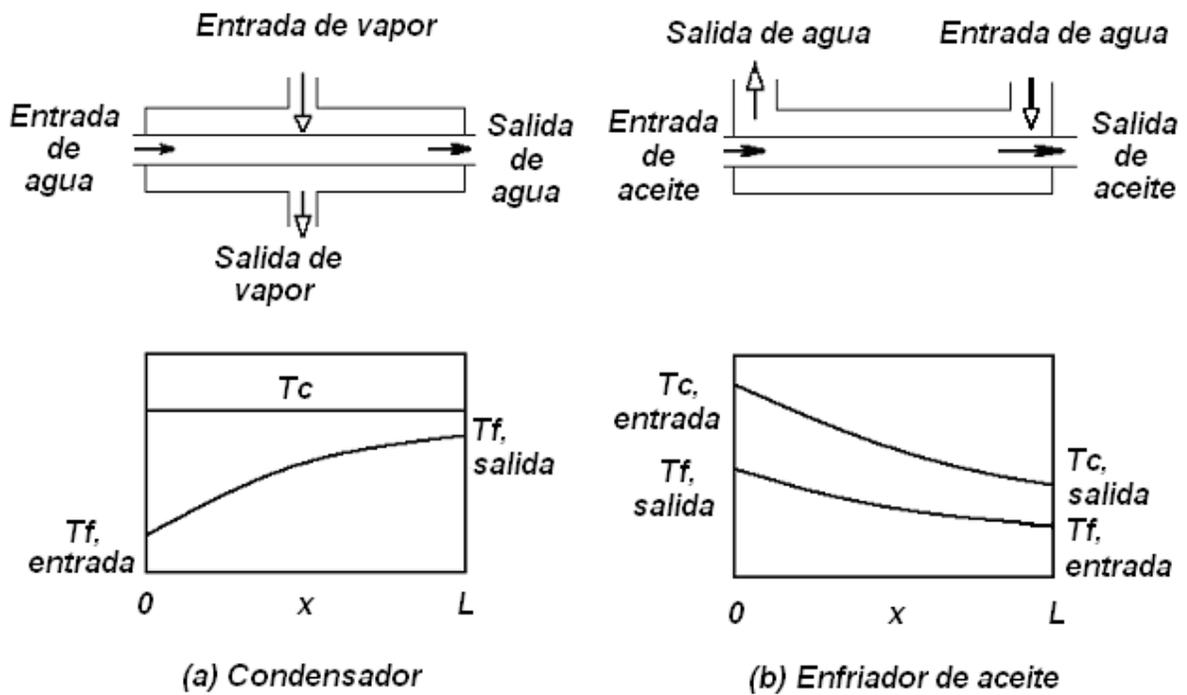


Figura 2.3 Variación de la temperatura a lo largo de dos intercambiadores de calor.

(a) Condensador. (b) Enfriador de aceite. Donde  $T_c$  es la temperatura del fluido caliente y  $T_f$  la temperatura del fluido frío.

Definida la clasificación que tiene un intercambiador de calor se establece una configuración de la geometría del flujo. Las más importantes son las siguientes:

- Dos corrientes en flujo paralelo. Los dos flujos fluyen en direcciones paralelas y en el mismo sentido, esta configuración se conoce también como intercambiador de corrientes paralelas. En su forma más simple, este intercambiador consta de dos tubos concéntricos, como muestra la figura 2.4 (a). En la práctica se utiliza un gran número de tubos dentro de una coraza para formar lo que se conoce como intercambiador de coraza y tubos, ver figura 2.5.

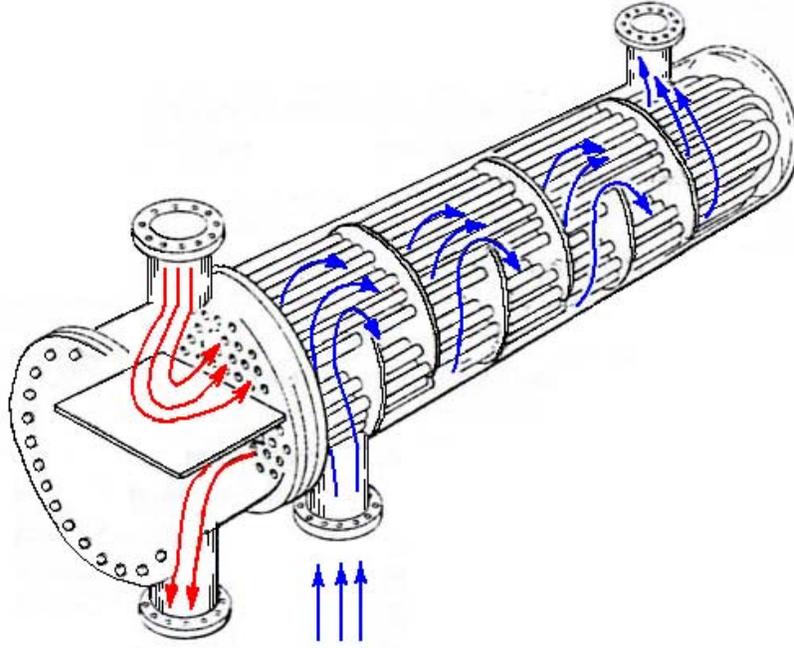


Figura 2.5. Intercambiador de calor de coraza y tubos de dos pasos por tubos y un paso por coraza. El primer paso por tubos se efectúa en flujo paralelo y el segundo en flujo a contracorriente.

- Dos corrientes en contracorriente. Los fluidos se desplazan en direcciones paralelas pero en sentidos opuestos, también se conoce como intercambiador de contracorriente. En la figura 2.4 (b) se muestra un intercambiador simple de tubos coaxiales, pero en los intercambiadores de corrientes paralelas de coraza y tubos, los a contracorriente son los más efectivos.
- Dos corrientes en flujo cruzado. Las corrientes fluyen en direcciones perpendiculares, como se muestra en la figura 2.4 (c). La corriente caliente puede fluir por el interior de los tubos de un haz y la corriente fría puede hacerlo a través del haz en una dirección generalmente perpendicular a los tubos, donde una o ambas corrientes pueden estar sin mezclar.
- Dos corrientes en contraflujo cruzado. Las corrientes fluyen en direcciones perpendiculares pero a contraflujo. En la práctica, la configuración de flujo de estos intercambiadores se aproxima a menudo a las idealizaciones de la figura 2.4 (d); se muestran los casos de dos pasos y de cuatro pasos, aunque puede usarse un número mayor de pasos.

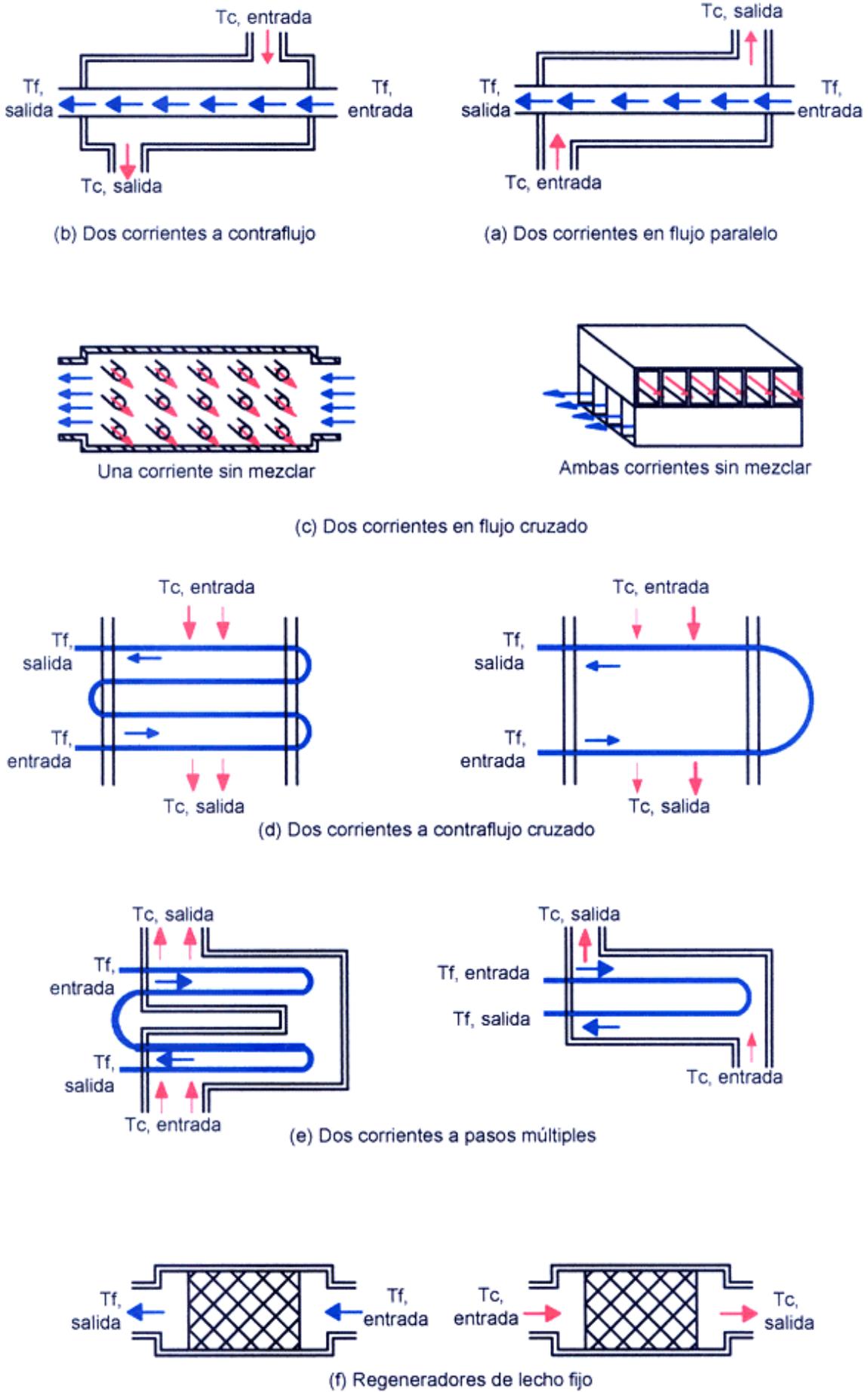


Figura 2.4 Esquema de configuraciones geométricas de flujo comunes para intercambiadores de calor.

- Dos corrientes a pasos múltiples. Cuando los tubos de un intercambiador de coraza y tubos están dispuestos en uno o más pasos en el interior de la coraza, como se muestra en la figura 2.4 (e), algunos de los pasos producen un flujo paralelo mientras que otros producen un flujo a contracorriente.
- Regeneradores. Las corrientes fluyen alternadamente a través de una matriz de gran capacidad de almacenamiento de calor. El calor cedido por el fluido caliente se almacena en la matriz, haciendo aumentar su temperatura, y posteriormente se transfiere al fluido frío cuando éste pasa por la matriz, enfriándola, ver figura 2.4 (f). Un regenerador puede también tener una configuración de corrientes paralelas, a contracorrientes o cruzado.

En un sistema de aceite térmico por lo general se utilizan los intercambiadores de coraza y tubos, independiente de la configuración geométrica, porque se puede trabajar con dos fluidos distintos, los cuales no tienen que ser mezclados, además de ser de menor tamaño, su mantenimiento es en periodos más extensos y tienen una mayor vida útil. En la figura 2.6 se aprecia una vista en corte de un intercambiador de calor de coraza y tubos de doble flujo.

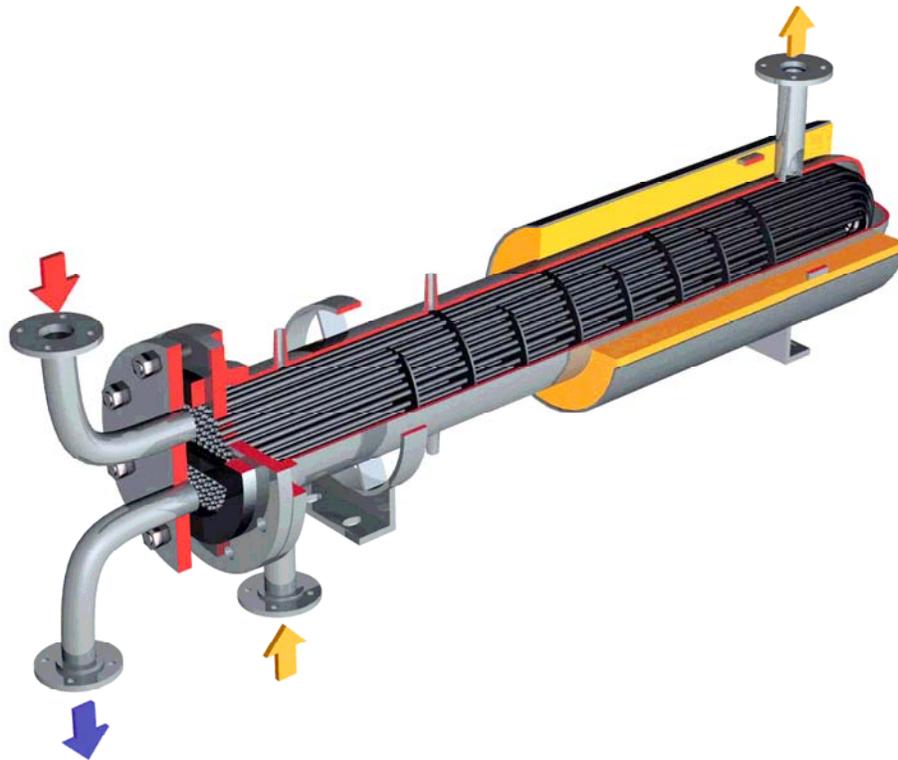


Figura 2.6 Intercambiador de calor de coraza y tubos de doble flujo.

## **2.6 Bombas de circulación**

Este circuito de aceite térmico requiere mantener un flujo forzado constante del fluido térmico al interior del circuito, para obtener una óptima transferencia de calor y evitar cualquier sobrecalentamiento que cambie las propiedades físicas del aceite térmico. Es por esto que este sistema está montado con dos bombas centrífugas, las cuales son el medio mecánico de hacer circular el aceite, se instalan en paralelo, lo que permite que una bomba esté en servicio y la otra en Stand-by. Cada bomba está acoplada a un motor eléctrico a través de un eje de transmisión axial, el cual hace girar el impulsor rotatorio de la bomba.

Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial requerida. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la punta de los álabes o periferia del impulsor y de la densidad del líquido, la cantidad de energía que se aplica por libra o kilogramo de líquido es independiente de la densidad del líquido. Por lo tanto, una bomba que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, es independiente de la densidad de este, con la salvedad de que la viscosidad del líquido sí influye en el rendimiento. Esto se debe a que dos de las principales pérdidas de una bomba centrífuga las ocasionan la fricción del líquido y la fricción del disco, y varían según la viscosidad del líquido, por lo tanto la capacidad de carga como la salida mecánica de la bomba difieren si el líquido sufre cambios de viscosidad, es por esto también la importancia de mantener las propiedades físicas del aceite térmico al estar en servicio.

Para entender la importancia de las bombas de circulación en el sistema y como aportan indirectamente al proceso de transferencia de calor, el capítulo III, se realiza un análisis de la importancia de un flujo determinado requerido.

En la figura 2.7 se muestra una vista en corte de una bomba centrífuga accionada por un motor eléctrico de transmisión axial, como van dispuestos los cojinetes de empuje y los sellos hidráulicos.

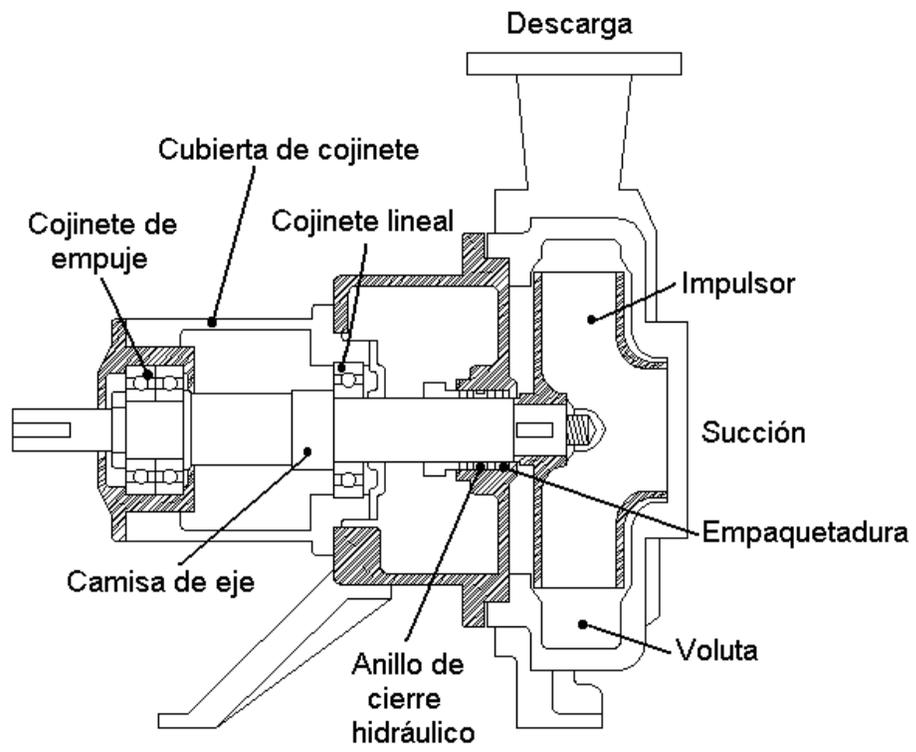


Figura 2.7. Vista en corte de una bomba centrífuga.

## **Capítulo III: Fundamentos teóricos del proceso de transferencia de calor en el sistema de calefacción**

### **3.1 Generalidades**

La importancia de conocer el proceso de transferencia de calor en el sistema es porque es preciso comprender y cuantificar los fenómenos que actúan en el proceso de suministrar calor a un fluido, y que son necesarios antes de desarrollar una metodología de cálculo en el diseño térmico de una planta de calefacción. Tradicionalmente la cantidad de calor transferido durante un proceso simplemente es igual a la diferencia entre el cambio de energía interna del sistema y el trabajo realizado. Es evidente que este tipo de análisis no es el suficiente para un análisis de ingeniería, debido a que no considera el mecanismo de flujo de calor ni el tiempo necesario para la transferencia de calor presente en los sistemas de conversión de energía, y no permite considerar uno de los factores más importantes, el ahorro de energía. Aunque esta tesis no va enfocada a un cálculo detallado de un sistema de calefacción requerido por un buque, si pretende entregar los conocimientos básicos que se deben conocer para realizar dicho análisis. Los estudios en transferencia de calor han desarrollado los métodos para calcular las formas y velocidades de transferencia de energía calórica. Los ingenieros utilizan dichos métodos de cálculo en el diseño de equipos y sistemas, y poder entregar así una solución al problema de diseño térmico.

La forma de plantear nuestro problema de diseño térmico es conociendo las demandas de energía calórica del buque, y considerar como establecer la transferencia de calor desde un fluido a otro. A menudo, se pretende que la temperatura de funcionamiento de los componentes sensibles al calor se mantenga dentro de un margen específico, por cual, los problemas de diseño térmico también requieren de la disminución de las pérdidas de las tasas de transferencia de calor. Con frecuencia la única manera de garantizar la protección contra el calentamiento intenso consiste en utilizar un fluido como “sumidero” de calor, el que transportara el calor fuera del sistema.

En un sistema de calefacción de aceite térmico el “fluido sumidero” es la base de la solución del problema de diseño térmico. Permitirá entregar calor y absorberlo de una fuente de energía. Los dispositivos que se usan para tal efecto se llaman intercambiadores de calor. Es evidente que no se pueden lograr procesos adiabáticos, la utilización de aislantes térmicos permiten acercarse lo más posible a alcanzar una suposición ideal.

A continuación se definen conceptos y leyes que rigen el fenómeno de la transferencia de calor, para luego explicar como se realiza la transferencia de calor dentro del sistema.

### 3.2 Transferencia de calor y termodinámica

La transferencia de calor en ingeniería se ocupa del cálculo de la velocidad a la que el calor fluye en un medio dado, a través de una interfaz o entre dos superficies, así como de la determinación de las temperaturas asociadas.

Es importante entender la diferencia esencial entre transferencia de calor en ingeniería y lo que usualmente se llama termodinámica. La termodinámica clásica aborda sistemas en equilibrio. Su metodología puede usarse para calcular la energía necesaria para llevar a un sistema de un estado de equilibrio a otro, pero no permite determinar la velocidad a la que ocurre el cambio. Por ejemplo, si la temperatura del aceite térmico en una caldera de aceite debe aumentarse de 150° C a 180° C, la termodinámica no puede decir a que velocidad deberá circular por el serpentín de la caldera para que la temperatura de este aumente. Además el tiempo depende de las propiedades del aceite, de su movimiento, y de otros factores.

El estudio de procesos de transferencia de calor requiere de algunos conceptos de termodinámica. En particular, se aplica la primera ley de la termodinámica, la que es una manera de enunciar el principio de conservación de la energía, que es una de las leyes fundamentales de la física. En transferencia de calor, con frecuencia se refiere a la primera ley como principio de conservación de la energía, o simplemente como balance de calor o de energía cuando se realiza trabajo.

A continuación se presenta una forma sencilla del principio de conservación de la energía que permitirán comprender más acabadamente este tema.

El principio de conservación de la energía exige que en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  [s],

Variación de energía	Calor	transferido	Calor	generado
interna	dentro	del	hacia el interior del	dentro del sistema
sistema			sistema	
			+	

$$\Delta U = \dot{Q}\Delta t + \dot{Q}_v\Delta t \quad (3.1)$$

Cuando nos encontramos con un sistema cerrado, existe una expresión para la primera ley, conocida como ecuación de la energía para un flujo estacionario. Esta expresión es muy usada en análisis termodinámico de turbinas, compresores y otros dispositivos similares. La ecuación es:

$$\dot{m} \Delta \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right) = \dot{Q} + \dot{W} \quad (3.2)$$

Donde  $\dot{m}$  [kg/s] es la velocidad de flujo de masa,  $h$  [J/kg] es la entalpía específica,  $V$  [m/s] es la velocidad,  $g$  [m/s<sup>2</sup>] es la aceleración de gravedad,  $z$  es la altura [m],  $\dot{Q}$  [W] es la transferencia de calor y  $\dot{W}$  [W] es la velocidad a la que se realiza trabajo externo al sistema. Según la convención de signos, el trabajo externo realizado sobre el sistema, es positivo.

En muchos dispositivos para transferencia de calor no se realiza trabajo externo, y las variaciones de energía cinética y potencial son despreciables; en estos casos la ecuación se reduce a:

$$\dot{m}\Delta h = \dot{Q} \quad (3.3)$$

Esta ecuación es el punto de partida usual para el análisis de la transferencia de calor de sistemas abiertos en estado estacionario.

La segunda ley de la termodinámica dice que, si dos objetos a la temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  están en contacto, y si  $T_1 > T_2$ , el calor fluirá espontánea e irreversiblemente del objeto 1 al objeto 2. A este flujo de calor también se le asocia un incremento de entropía. A medida que  $T_2$  tiende a  $T_1$ , el proceso tiende a ser irreversible y al mismo tiempo la velocidad de transferencia de calor tiende a cero. Todos los procesos de transferencia de calor que se ocupan en ingeniería son irreversibles y generan entropía. Con la creciente conciencia de la necesidad de cuidar las fuentes de energía y de reaprovechar al máximo la energía generada, el uso eficaz de la energía disponible se está convirtiendo en un elemento importante para el diseño térmico. Así, el ingeniero debe estar al tanto de los procesos irreversibles que tendrán lugar en el sistema que este desarrollando y entender que el diseño óptimo es aquel que minimice la generación de entropía a causa de la transferencia de calor y el flujo de fluidos. Sin embargo, en la mayoría de los casos el ahorro de energía es sólo un aspecto de la evolución económica general del diseño. Habitualmente existe un término medio entre los costos energéticos asociados al funcionamiento del sistema y los costos de construcción del equipo.

### 3.3 Modos de transferencia de calor

Estando claro el modo de plantear una solución a un diseño térmico y los factores que influyen. Es necesario conocer los conceptos básicos que rigen la transferencia de calor, en termodinámica el calor se define como la energía que se transfiere debido a gradientes o diferencias de temperatura. De acuerdo con este punto la termodinámica solo reconoce dos modos de transferencia de calor: conducción y radiación. Por ejemplo, transferencia de calor a través de la pared de una tubería de

acero se realiza por conducción, mientras que la transferencia de calor del sol a la tierra se efectúa por radiación térmica. Estas modalidades de transferencia de calor se producen a escala molecular o subatómica. Por otro lado, la radiación se efectúa por medio de fotones que viajan casi sin encontrar obstáculos a través del aire, de una superficie a otra. Así, una diferencia importante entre radiación y conducción es que los portadores de energía en la conducción tienen un camino medio corto, mientras que en la radiación ocurre lo contrario. Sin embargo, en el aire y a presiones muy bajas, típicas en dispositivos de alto vacío, el camino libre medio de las moléculas puede desplazarse sin obstáculos de una superficie a otra. En este caso la transferencia de calor por medio de moléculas se rige por leyes análogas a las de radiación.

En virtud de su masa y su velocidad, un fluido puede transportar cantidad de movimiento. Al mismo tiempo, en virtud de su temperatura puede ser portador de energía. Estrictamente la convección es el transporte de energía por movimiento del medio (en este sentido, un sólido en movimiento también puede transportar energía por convección).

En la ecuación de la energía para flujos estacionarios, la convección está implícita en el término  $m\Delta h$  del primer miembro, mientras que la transferencia de calor por conducción y radiación está representada por  $\dot{Q}$  en el segundo miembro. Sin embargo, en ingeniería el término convección se suele emplear de una manera más amplia a fin de incluir la transferencia de calor desde una superficie aun fluido en movimiento, llamada transferencia de calor por convección, a pesar que la conducción y la radiación desempeñan un papel preponderante sobre la superficie, donde el fluido está en reposo. En este sentido la convección se considera un modo distinto de transferencia de calor. La convección suele asociarse a un cambio de fase, por ejemplo, cuando el agua hierve en un recipiente o cuando el se condensa en un condensador. Debido a la complejidad de estos procesos, la ebullición y la condensación suelen considerarse como procesos distintos de transferencia de calor. A continuación se exponen estos tres aspectos de transferencia de calor: conducción, radiación y convección.

### 3.3.1 Conducción.

La conducción del calor se puede producir a nivel microscópico en donde los mecanismos físicos de la conducción son complicados; abarcan fenómenos tan variados como las colisiones moleculares en los gases, las vibraciones de las redes de los cristales y el flujo de electrones libres en los metales. Sin embargo, a nivel macroscópico la conducción del calor puede ser regida por leyes fenomenológicas, las cuales son utilizadas para realizar estudios en ingeniería.

La ley fenomenológica que rige la conducción del calor fue propuesta por el físico y matemático francés *J. B. Fourier* en 1822. Que establece el comportamiento de un flujo adimensional de calor a través de una pared plana. La figura 3.1 muestra una pared plana de área  $A$  y espesor  $L$ , cuya cara interior se mantiene a la temperatura  $T_1$ , mientras que la cara exterior se mantiene a la temperatura  $T_2$ . El flujo de calor  $\dot{Q}$  a través de la pared se efectúa en la dirección de la disminución de la temperatura; si  $T_1 > T_2$ ,  $\dot{Q}$  va en la dirección del eje  $x$  positivo.

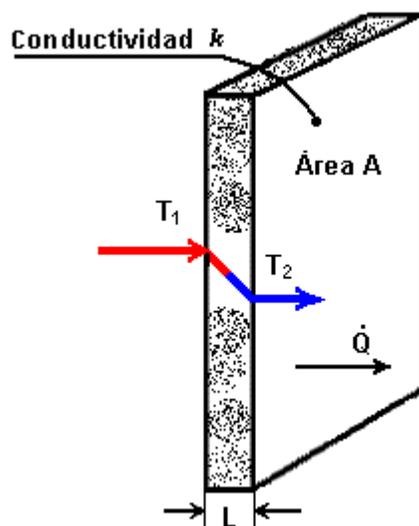


Figura 3.1

La ley de *Fourier* de conducción de calor establece que en una sustancia homogénea, el flujo de calor local es proporcional a menos el gradiente de temperatura local:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = q \quad \text{y} \quad q \propto -\frac{dT}{dx} \quad (3.4)$$

Donde  $q$  es el flujo de calor unidad de área perpendicular a la dirección del flujo [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  $T$  es la temperatura local [ $^{\circ}\text{K}$  o  $^{\circ}\text{C}$ ] y  $x$  es la coordenada en la dirección del flujo [ $\text{m}$ ]. Cuando  $dT/dx$  es negativo, el signo menos en la ecuación 3.4 da un valor positivo de  $q$  en la dirección de las  $x$  positivas. Introduciendo una constante de proporcionalidad  $k$ ,

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (3.5)$$

Donde  $k$  es la conductividad térmica de la sustancia, cuyas unidades [ $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$ ] se deducen de la ecuación. La temperatura se puede expresar tanto en Kelvin o en Celsius: el gradiente de temperatura no depende de las unidades, ya que, es lo mismo un Kelvin que un grado Celsius. La magnitud de la conductividad térmica de  $k$  de una sustancia dada depende de manera crucial de su estructura microscópica, y también

tiende a variar ligeramente con la temperatura. La tabla 3.1 muestra algunos valores de la constante  $k$ .

Material	$k$ W/m °k
Cobre	386
Aluminio	204
Bronce (70% Cu, 30% Zn)	111
Acero dulce	64
Acero inoxidable, 18-8	15
Mercurio	8.4
Concreto	1.4
Vidrio pirex	1.09
Agua	0.611
Neopreno	0.19
Aceite, SAE 50	0.145
Cloruro de polivinilo (PVC)	0.092
Freón 12	0.071
Corcho	0.043
Fibra de vidrio (densidad media)	0.038
Poliestireno	0.028
Aire	0.027

Sin embargo, de la ley de *Fourier*

$$\dot{Q} = qA = -kA \frac{dT}{dx}$$

Las variables son separables: reordenando e integrando sobre el espesor de la pared

$$\frac{\dot{Q}}{A} \int_0^L dx = - \int_{T_1}^{T_2} k dT$$

Donde  $\dot{Q}$  y  $A$  se han sacado de la integral porque son constantes. Si ignoramos por el momento la pequeña variación de  $k$  con la temperatura, obtenemos

$$\dot{Q} = \frac{kA}{L} (T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{L / kA} \quad (3.6)$$

A modo de comparación se puede considerar una resistencia térmica análoga a la resistencia eléctrica. Entonces  $R_A = L/kA$

Es decir

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_A}$$

De esta expresión se puede agregar que la solución para el caso de tener una pared de dos materiales, el flujo de calor a través de cada placa es igual, por lo que se puede llegar a la expresión:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_A + R_B} \quad (3.7)$$

En cálculos de ingeniería se acostumbra utilizar valores de conductividad térmica medidos fenómeno lógicamente, aunque en el caso de los gases el mecanismo de conducción térmica se puede explicar a nivel molecular utilizando los conceptos básicos de la teoría cinética de los gases, en forma simplificada, entre más rápido se mueven las molécula, más rápido transportarán energía. Por consiguiente, la propiedad de transporte llamada conductividad térmica depende de la temperatura del gas. Las curvas en la figura 3.2 muestran la conductividad térmica de algunos gases en función de la temperatura.

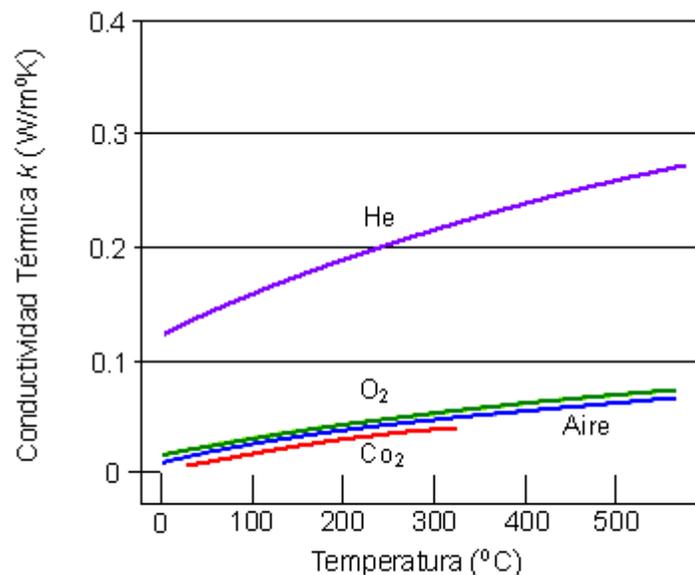


Figura 3.2. Variación de conductividad térmica de gases

El mecanismo básico de conducción de energía en los líquidos es similar al de los gases. Sin embargo, sus condiciones moleculares son más difíciles de describir y los detalles de sus mecanismos de conducción no son del todo conocidos. Las curvas de la figura 3.3 muestran la conductividad térmica de los líquidos en función de la temperatura. Para propósitos de ingeniería, los valores de la conductividad térmica de los líquidos se toman de tablas como una función de la temperatura en el estado saturado.

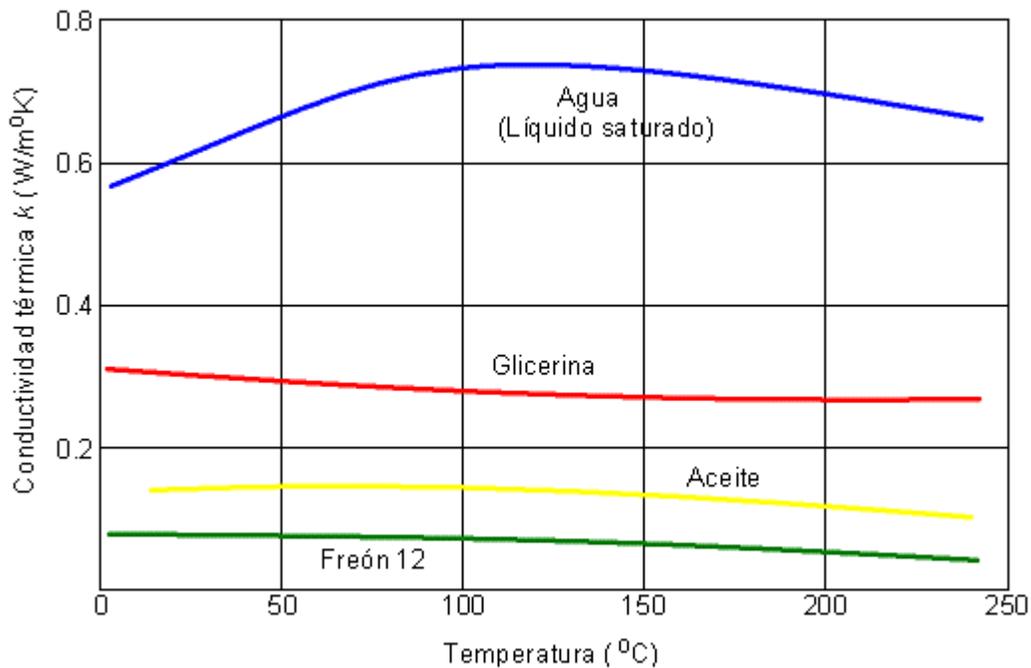


Figura 3.3. Variación de conductividad térmica con la temperatura de líquidos

De acuerdo con las teorías actuales, los materiales sólidos se componen de electrones libres y átomos dispuestos en una estructura cristalina continua. Por lo tanto, es posible conducir la energía térmica de dos formas mediante la migración de electrones libres y vibraciones de la estructura cristalina. Puesto que los electrones transportan una carga eléctrica del mismo modo que se transporta energía térmica de una región de mayor temperatura a una región con menor temperatura, los buenos conductores eléctricos son también buenos conductores térmicos, mientras que los buenos aislantes eléctricos son conductores térmicos deficientes. Los sólidos no metálicos presentan un transporte eléctrico escaso o nulo, por ello, la conducción térmica depende principalmente de la vibración de la estructura cristalina.

En la figura 3.4 se aprecia la diferencia de conductividad térmica entre algunos metales y aleaciones comunes.

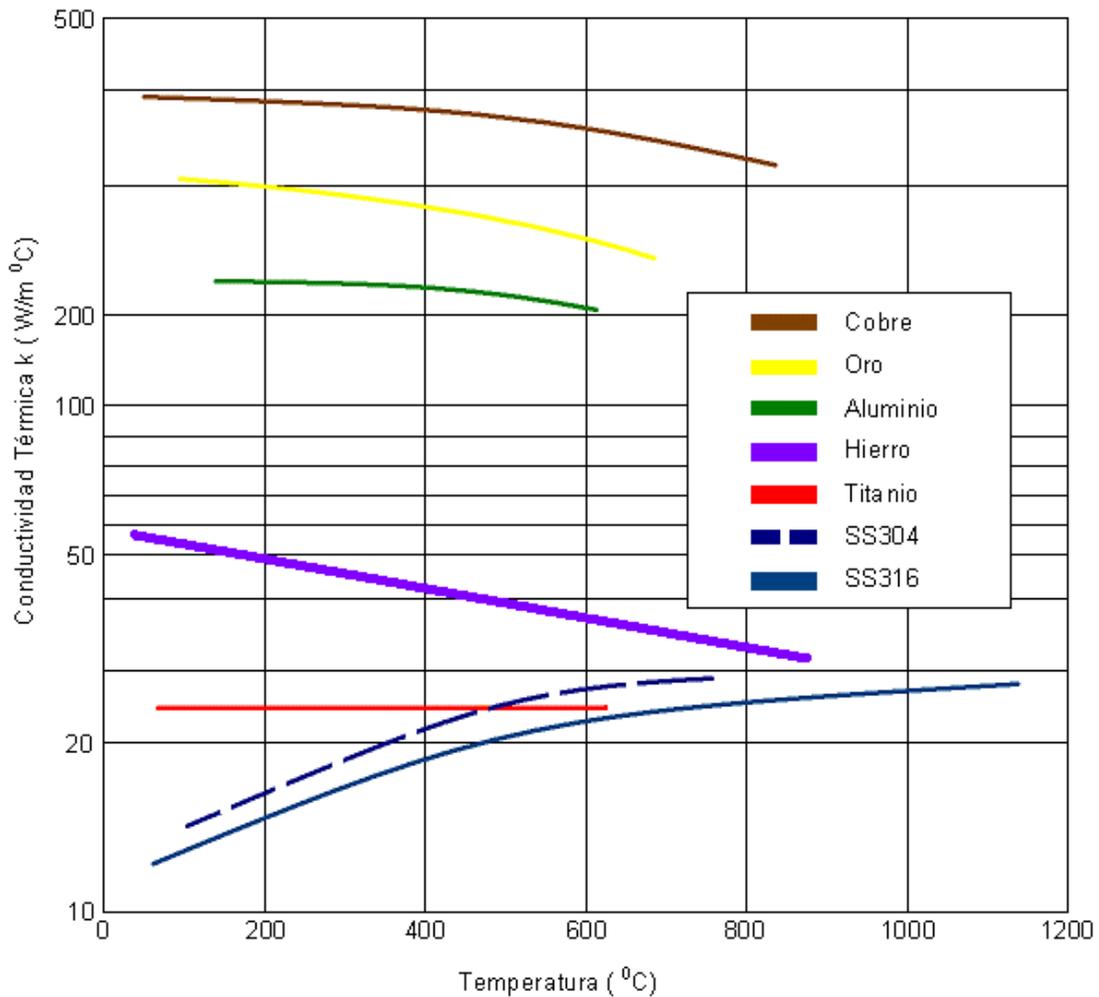


Figura 3.4. Variación de la conductividad térmica con la temperatura de metales y aleaciones metálicas típicas (Stainless Steel 304 y 316).

### 3.3.2 Radiación.

La transferencia de calor por radiación es la cantidad de energía que emite una superficie como calor radiante dependiendo de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Además toda materia y espacio contiene radiación electromagnética. La partícula de energía electromagnética es el fotón, y la transferencia de calor por radiación puede considerarse tanto en función de ondas electromagnéticas como en función fotones. Los términos que se presentan a continuación son para comprender las leyes que rigen la radiación. El flujo de energía radiante que incide sobre una superficie se conoce como irradiación  $G$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]; el flujo de energía que abandona una superficie por emisión y reflexión de radiación electromagnética se llama radiosidad  $J$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]. Una superficie negra (o cuerpo negro) se define como aquella que absorbe la totalidad de la radiación incidente sin reflejar nada.

En consecuencia, toda la radiación que proviene de una superficie negra es emitida por dicha superficie y se expresa mediante la ley de *Stefan – Boltzmann*:

$$J = E_b = \sigma T^4 \quad (3.8)$$

Donde  $E_b$  es la potencia de cuerpo negro,  $T$  es la temperatura absoluta [ $^{\circ}\text{k}$ ] y  $\sigma$  es la constante de *Stefan – Boltzmann* ( $\approx 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{k}^4$ ).

La tabla 3.2 muestra como  $E_b = \sigma T^4$  crece rápidamente con la temperatura.

Temperatura de la superficie $^{\circ}\text{k}$	Potencia de emisión de un cuerpo negro $\text{W/m}^2$
300 (temperatura ambiente)	459
1000 (al rojo vivo)	56.700
3000 (lámpara de filamento)	4.590.000
5760 (temperatura del sol)	62.400.000

Tabla 3.2. Potencia de emisión de un cuerpo negro a distintas temperaturas.

El cuerpo negro es una superficie ideal. Las superficies reales absorben menos radiación que las superficies negras. La fracción de la radiación incidente que reabsorbe se llama absorptancia,  $\alpha$ . Es por esto que para una superficie real se le denomina superficie gris, definida como aquella para la cual  $\alpha$  es constante, independientemente de la naturaleza de la radiación incidente. La fracción de la radiación incidente que se refleja es la reflectancia,  $\rho$ . Si el objeto es opaco, es decir, si no es transparente a la radiación electromagnética, entonces

$$\rho = 1 - \alpha \quad (3.9)$$

Las superficies reales también emiten menos radiación que las superficies negras. La fracción de la radiación emitida de la potencia de emisión de cuerpo negro  $\sigma T^4$ , se conoce como emitancia,  $\varepsilon$ . En una superficie gris el valor de  $\varepsilon$  también es constante independientemente de su temperatura, y la emitancia y la absorptancia de una superficie gris son iguales:

$$\varepsilon = \alpha \text{ (para una superficie gris)} \quad (3.10)$$

La tabla 3.3 presenta algunos valores típicos de  $\varepsilon$  a temperaturas normales. Los valores de  $\varepsilon$  para superficies metálicas brillantes tienden a ser bajos, mientras que para superficies oxidadas o pintadas suelen ser altos.

Tipo de superficie	Emitancia $\varepsilon$
Aleación de Aluminio, sin oxidar	0.035
Aluminio anodizado negro	0.80
Acero inoxidable, ligeramente oxidado	0.30
Pintura negra esmaltada	0.78
Pintura blanca acrílica	0.90
Concreto	0.90
Tierra	0.94
Vidrio	0.80

Tabla 3.3. Valores aproximados seleccionados de la emitancia  $\varepsilon$ .

A partir de la tabla 3.3 también se pueden obtener valores de  $\alpha$  y  $\rho$  usando las ecuaciones 3.9 y 3.10.

Ahora para cuantificar la radiación entre dos superficies grises finitas, como muestra la figura 3.5, se sabe que la velocidad del flujo de calor dependerá de las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ , y de las emitancias  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$ , así como de la geometría de las superficies. Es claro que una parte de la radiación que sale de la superficie 1 no incidirá sobre la superficie 2, y viceversa. Habitualmente es bastante difícil determinar la velocidad de flujo de calor. En general, se puede escribir

$$\dot{Q}_{12} = A_1 F_{12} (\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) \quad (3.11)$$

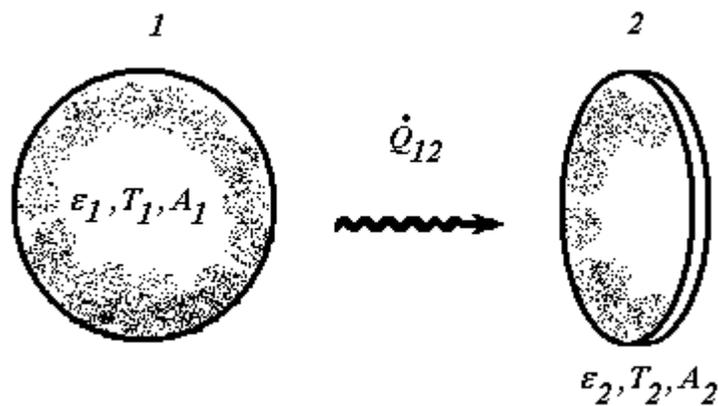


Figura 3.5. Transferencia de calor por radiación entre dos superficies grises finitas.

Donde  $\dot{Q}_{12}$  es el incremento neto de energía radiante (transferencia de calor) de la superficie 1 a la superficie 2, y  $F_{12}$  es un factor de transferencia, que depende de las emitancias y de la geometría. Para el caso particular en que la superficie 2 rodea a la

superficie 1, por lo tanto, el área  $A_1$  es pequeña comparada con  $A_2$ , o bien la superficie 2 es casi negra  $F_{12} = \varepsilon_1$  y a ecuación 1.13 se convierte en

$$\dot{Q}_{12} = \varepsilon_1 A_1 (\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) \quad (3.12)$$

El hecho que la transferencia de calor por radiación dependa de  $T^4$  vuelve complicados los cálculos en ingeniería. Cuando  $T_1$  y  $T_2$  no difieren demasiado, conviene linealizar la ecuación 1.14 descomponiendo el término  $(\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4)$  para obtener

$$\dot{Q}_{12} \cong A_1 h_r (T_1 - T_2) \quad (3.13)$$

Donde  $h_r$  es el coeficiente de transferencia de calor por radiación [ $W/m^2 \text{ } ^\circ K$ ]. A  $25 \text{ } ^\circ C$  ( $298 \text{ } ^\circ K$ )

$$h_r = (4)\varepsilon_1 (5.67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4) (298 K)^3$$

O sea,

$$h_r \cong 6\varepsilon_1 W / m^2 K$$

El valor del coeficiente de transferencia de calor por radiación a temperatura ambiente es alrededor de 6 veces el valor de la emitancia de la superficie. A modo de ejemplo, para  $T_1 = 320 \text{ } ^\circ K$  y  $T_2 = 300 \text{ } ^\circ K$ , el error debido al empleo de la ecuación 3.13 es sólo del 1%; para  $T_1 = 400 \text{ } ^\circ K$  y  $T_2 = 300 \text{ } ^\circ K$ , el error es del 2%. Por lo que a modo de cálculo, de ingeniería, es una ecuación que entrega valores confiables.

### 3.3.3 Convección.

Como se explicó antes, la convección o transferencia de calor convectiva es el término que se usa para describir la transferencia de calor de una superficie con un flujo en movimiento, como muestra la figura 3.6 la superficie puede ser el interior de una tubería o el exterior de un tubo de un serpentín. El flujo puede ser forzado, como en el caso de un líquido que se bombea a través de una tubería. Por otro lado, el flujo podría ser natural (o libre), causado por fuerzas de empuje es debido a diferencias de densidad. Estos dos tipos de flujo pueden ser internos o externos, ya sea forzado o natural, puede ser laminar o turbulento; el flujo laminar es más común cuando las velocidades bajas, las dimensiones son pequeñas y los fluidos son más viscosos.

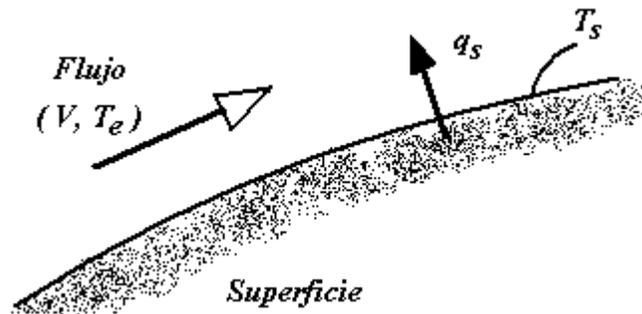


Figura 3.6. Esquema de la transferencia de calor convectiva a un fluido a temperatura  $T_e$  que fluye con velocidad  $V$  sobre una superficie a la temperatura  $T_s$

Las velocidades de transferencia de calor tienden a ser mayores en los flujos turbulentos que en los laminares, debido a la mezcla violenta que sufre el fluido.

En general, la velocidad de transferencia de calor por convección es una función complicada de la geometría y la temperatura de la superficie, de la temperatura y la velocidad del fluido y de las propiedades termo-físicas de éste. En el caso de un flujo forzado externo, la velocidad de transferencia de calor es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie  $T_s$  y la temperatura de la corriente libre del fluido  $T_e$ . La constante de proporcionalidad se conoce como coeficiente de transferencia de calor por convección  $h_c$ :

$$q_s = h_c \Delta T \quad (3.14)$$

Donde  $\Delta T = T_s - T_e$ ,  $q_s$  es el flujo de calor de la superficie al fluido [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] y  $h_c$  tiene unidades de [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$ ]. Esta ecuación suele llamarse ley de enfriamiento de Newton, aunque más bien se trata de una definición de  $h_c$  y no verdaderamente una ley de física.

La situación es más complicada en el caso de la convección natural. Si el flujo es laminar,  $q_s$  varía como  $\Delta T^{5/4}$ ; si el flujo es turbulento, varía como  $\Delta T^{4/3}$ . De cualquier manera, resulta conveniente definir un coeficiente de transferencia de calor por medio de la ecuación; entonces  $h_c$  varía como  $\Delta T^{1/4}$  en flujos laminares y como  $\Delta T^{1/3}$  en flujos turbulentos.

Un problema de importancia práctica es el de transferencia de calor por convección a un fluido que circula por dentro de una tubería, como suele ocurrir en los intercambiadores de calor, condensadores y en varios tipos de calderas. Cuando se usa la ecuación para flujos internos,  $\Delta T = T_s - T_b$ , donde  $T_b$  es una temperatura media del fluido, la cual se conoce como temperatura de masa o temperatura media de mezcla.

Además, si la temperatura de la pared de la tubería  $T_s$  es uniforme sobre su longitud y el flujo es laminar ( $Re_D < 2300$ ), entonces el coeficiente de transferencia de calor lejos de la entrada de la tubería, está dado por la relación exacta

$$h_c = 3,66 \frac{k}{D} \quad (3.15)$$

Donde  $k$  es la conductividad térmica del fluido y  $D$  es el diámetro de la tubería. Nótese que el coeficiente de transferencia de calor es directamente proporcional a la conductividad térmica, inversamente proporcional al diámetro de la tubería y, lo que quizás cause sorpresa, independiente de la velocidad de flujo. Por otro lado, en el caso de un flujo totalmente turbulento ( $Re_D \geq 10000$ ),  $h_c$  se expresa de manera aproximada con la siguiente correlación bastante complicada de datos experimentales

$$h_c = 0.023 \frac{V^{0.8} K^{0.6} (\rho C_p)^{0.4}}{D^{0.2} \nu^{0.4}} \quad (3.16)$$

En contraste con el caso del flujo laminar, ahora  $h_c$  depende fuertemente de la velocidad  $V$ , pero débilmente del diámetro. Otras propiedades del fluido que interviene en la relación, además de la conductividad térmica, son: la viscosidad cinemática  $\nu$ ; la densidad  $\rho$  y el calor específico  $C_p$ . Las ecuaciones 3.15 y 3.16 sólo son válidas a cierta distancia de la entrada del tubo e indican que, dicha región, el coeficiente de transferencia de calor no depende de la posición a lo largo del tubo. Cerca de la entrada los coeficientes de transferencia de calor tienden a ser más elevados debido a la producción de vórtices a gran escala por desviaciones y esquinas pronunciadas, y a los efectos del calentamiento repentino del fluido.

En general, un coeficiente de transferencia de calor elevado está asociado con altas conductividades térmicas de los fluidos, altas velocidades de flujo y superficies pequeñas. Sin embargo, los altos coeficientes de transferencia de calor para el agua en ebullición y el vapor en condensación tienen otra causa: la elevada entalpía de cambio de fase (calor latente) es un factor determinante.

La complejidad de la mayoría de los casos en que los que interviene la transferencia de calor por convección hace imposible un análisis exacto y el ingeniero deberá utilizar correlaciones, procedentes por ejemplo de laboratorios de investigación en distintos países. Además, es importante saber que las correlaciones antiguas pueden sustituirse con otras recientes, basadas en datos experimentales más exactos o completos. Los coeficientes de transferencia de calor que se calculan a partir de correlaciones distintas no suelen variar en más de un 20%, pero en circunstancias más complicadas las discrepancias pueden ser mayores. Por lo que la solución de los

problemas de transferencia de calor por convección en ingeniería tiene un gran contraste con la solución más exacta que se obtiene para los problemas de conducción de calor.

Por la estrecha relación que existe entre el tipo de flujo y la cantidad de transferencia térmica por convección de calor, a continuación se desarrollara una explicación del comportamiento de un flujo al interior de tuberías.

### **3.4 Flujo Laminar y Flujo Turbulento**

El efecto de la velocidad del fluido sobre una superficie y también la textura de esa superficie son aspectos de vital importancia en la convección de calor.

Para velocidades bajas sobre una superficie lisa, el flujo es normalmente laminar, lo que produce que cualquier partícula de fluido viajará en forma paralela a esa superficie y a una rapidez proporcional a la distancia desde esta. Las partículas de fluido en contacto con la superficie estarán casi estáticas porque se adherirán a esta, por efecto de la rugosidad que presenta la superficie, desde el punto inicial y hasta el punto de velocidad máxima se establecerá una pendiente de velocidad, que junto con la viscosidad del fluido generan una capa de fluido conocida como capa límite. Al inicio de la capa límite se le denomina capa límite laminar porque las partículas del fluido se mueven en capas lisas. Sin embargo, a velocidades más altas y con superficies más ásperas, este equilibrio del flujo se perturbará y se producirá una condición de flujo turbulento, como se muestra en la figura 3.8 (a). El comportamiento del fluido variara de un flujo laminar a un flujo turbulento al aumentar la velocidad a la que se desplaza y se genera una capa límite turbulenta en donde las partículas del fluido se mueven en trayectorias aleatorias. Cuando la capa límite se ha puesto turbulenta, una muy delgada capa sigue con movimiento laminar sobre la superficie. Esta se conoce como subcapa laminar. La relación que se establece entre la capa límite del fluido y la transferencia de calor que puede aportar un fluido es directamente proporcional. Esto significa que la pendiente de la temperatura será proporcional a la pendiente de la velocidad que tiene el fluido, produciéndose por lo tanto, una mayor diferencia de temperatura entre la película de fluido en contacto con la pared del tubo y el flujo en el centro del tubo para el caso de un flujo laminar. Trabajando en estas condiciones el aceite sufrirá rápidamente un deterioro por efecto de estar sometido a una temperatura de pared mayor que para el cual fue diseñado. El uso de un flujo turbulento nos asegura la trayectoria aleatoria de las partículas a lo largo de la tubería, lo que quiere demostrar que todas las partículas estarán sometidas a la misma temperatura, y reduciendo al máximo la subcapa laminar, este es un punto de diseño que influirá en desgaste del aceite.

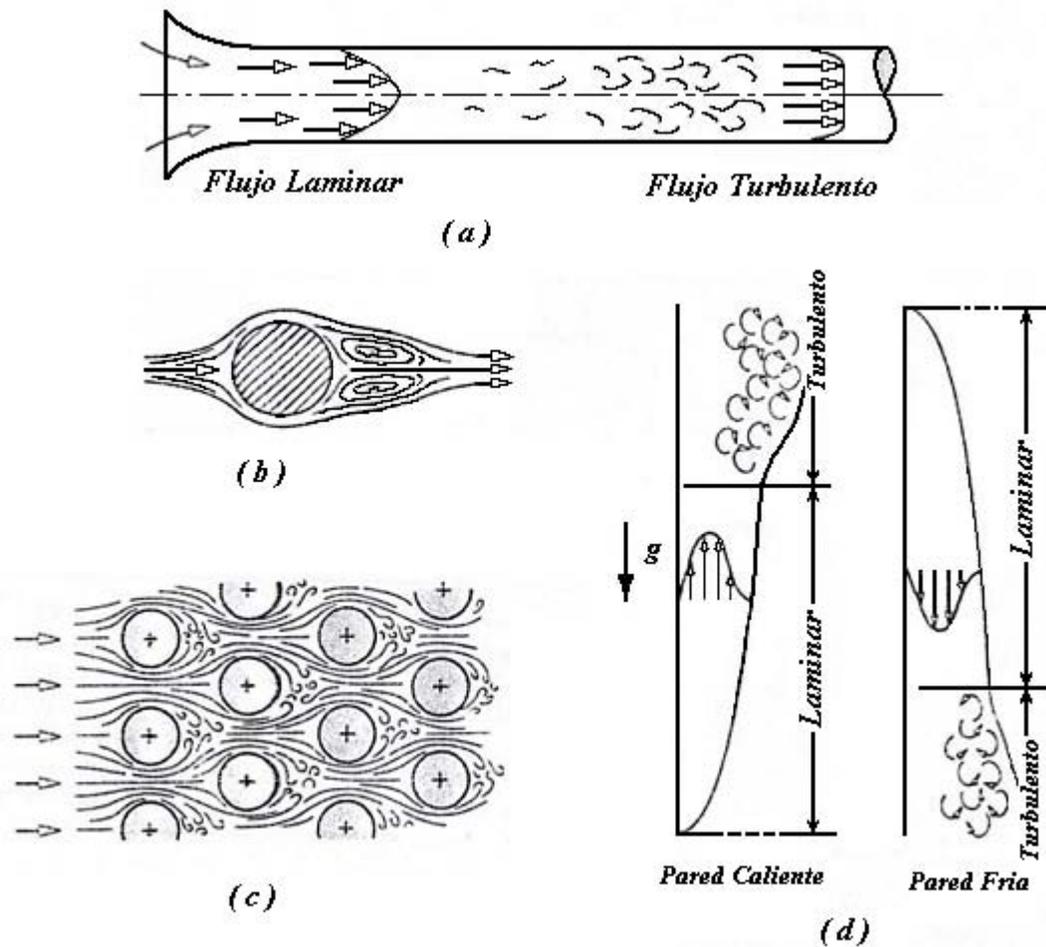


Figura 3.8. Tipos de Flujos. (a) Flujo forzado en una tubería,  $Re_D \approx 50.000$ . En la sección inicial el flujo es laminar debido a la entrada en forma de campana, pero se vuelve turbulento corriente abajo. (b) Flujo laminar forzado alrededor de un cilindro. (c) Flujo forzado a través de un haz de tubos como los que se encuentran en un intercambiador de calor. (d) Capas laminares y turbulentas en la convección natural sobre paredes verticales.

Los flujos turbulentos promueven que el diferencial de temperatura entre la pared y el centro del flujo sean menores, se estima en el orden de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . En estas condiciones si se mide la temperatura en el centro del fluido, se sabrá que la temperatura de la pared será de aproximadamente  $20\text{ }^\circ\text{C}$  mayor que la medición efectuada.

Los mismos argumentos en sentido contrario son aplicados para los intercambiadores de calor, ya que si este posee un flujo turbulento, se podrá saber que la temperatura de pared del intercambiador será de aproximadamente  $20\text{ }^\circ\text{C}$  menor que la temperatura del fluido.

La naturaleza del flujo, es decir, si es laminar o turbulento, y su punto crítico de cambio esta indicado por el número de Reynolds. Reynolds dedujo una relación de igualdad en las ecuaciones diferenciales que regían sus flujos, determinando así que el

grupo adimensional  $Vl\rho/\mu$  debe ser igual para ambos casos. Donde  $V$  es la velocidad característica,  $l$  la longitud característica,  $\rho$  es la densidad de masa y  $\mu$  la viscosidad.

Para efecto de diseño se ha establecido la siguiente relación de número de Reynolds para tuberías:

$$\text{Re} = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (3.19)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds (adimensional)

D = Diámetro de la tubería [cm.]

$\rho$  = Densidad del aceite [gr/cm<sup>3</sup>]

V = Velocidad del aceite [cm/s]

$\mu$  = Viscosidad absoluta del aceite en centistoke [gr/cm-s]

Si  $\text{Re} \leq 2300$  el flujo es laminar, para  $2300 \leq \text{Re} \leq 4000$  el flujo es transitorio y si  $\text{Re} \geq 10.000$  el flujo es completamente turbulento.

### 3.5 Transferencia de calor al fluido térmico

Conocidos los conceptos básicos de transferencia de calor, y la importancia del tipo de flujo que debe existir para alcanzar una mayor convección de calor en las tuberías, se desarrollara a continuación, basándose en los análisis realizados por los diseñadores de este tipo de sistemas, como se le suministra calor al aceite térmico para aumentar su temperatura cuando el sistema esta en servicio. Se prestara mayor atención a la transferencia térmica que se realiza en los serpentines tanto del economizador como de la caldera, ya que, en ellos es en donde se le suministra el calor al fluido.

Cuando esta en navegación, el sistema de calefacción de aceite térmico se encuentra en servicio y el que transfiere el calor al aceite es el economizador, cuya fuente de calor son los gases de escape del motor principal, los cuales ingresan al economizador y transfieren el calor al serpentín por donde circula el aceite térmico.

Estos gases que vienen por la chimenea a alta temperatura y velocidad pasan alrededor de los tubos del serpentín, donde parte del calor es radiado desde los gases calientes a los tubos que se encuentran a menor temperatura, se genera una transferencia de calor por convección, producto del flujo de gases entra en contacto con los tubos del serpentín, pero debido a la alta velocidad que llevan se genera una alta turbulencia alrededor de los tubos, creándose así una capa de gases estacionaria que comenzara una transferencia térmica a los tubos por conducción. Esta capa estacionaria de gases es de un espesor casi molecular, se genera por la succión que

produce la estela turbulenta detrás de cada tubo, la cual depende principalmente de la velocidad del flujo de los gases, el tamaño de los tubos y la distancia entre ellos. La velocidad del flujo esta relacionada directamente con el número de Reynolds, porque con un flujo laminar al pasar por ases de tubos, independientes de la disposición que estos tengan, la primera fila de tubos presentara un menor coeficiente transferencia de calor, producto que la capa límite que se genera el la primera fila se vuelve menor en la segunda fila de tubos y filas subsiguientes, produciendo una de la estela turbulenta en aumento detrás de cada tubo, pero en el caso de un flujo turbulento, no se espera que el coeficiente de transferencia de calor de la primera fila de tubos sea menor que el de las filas subsiguientes de tubos, producto de que la estela turbulenta será homogénea a lo largo de todo banco de tubos.

En la figura se muestra un esquema del efecto de un flujo turbulento al pasar por ases de tubos, se puede apreciar como la turbulencia es homogénea a lo largo de todo el banco de tubos.

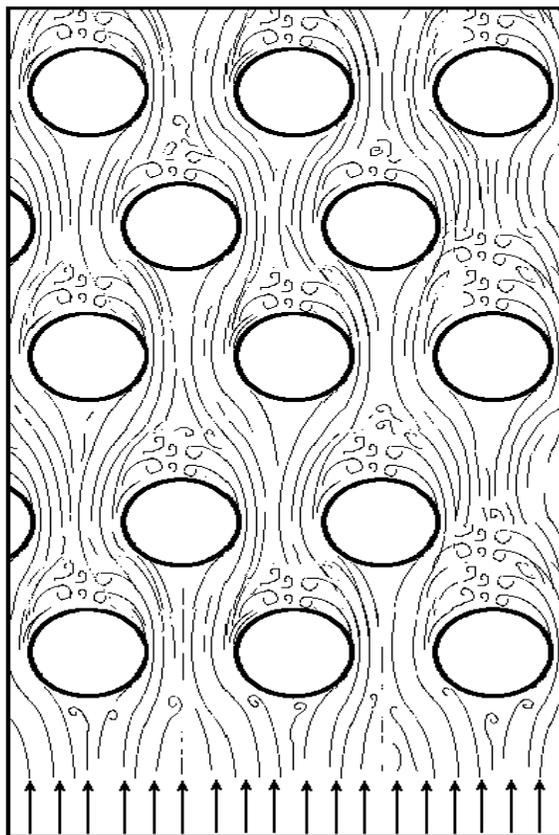


Figura 3.9. Flujo turbulento sobre ases de tubos.

Cuando el buque se encuentra en puerto o en navegación la carga de los gases de escape del motor son bajas, producto de una reducción de andar, entra en servicio la caldera de aceite térmico, la que suministra calor al aceite térmico a través de los gases de la combustión y la llama que genera el quemador.

En el caso de la caldera, el principio de transferencia de calor en el lado de fuego, es similar al del economizador, ya que, en este caso existe un flujo de los gases

de la combustión que genera el quemador, y además la fuente de calor que produce la llama. Pero al interior de la caldera existe una pared refractaria que produce una mayor transferencia de calor por radiación. Aunque el diseño de una caldera pretende absorber al máximo el efecto de la llama, y optimizar el menor flujo de gases, la convección de calor en los tubos se reduce.

En el caso de incendio en los tubos de la caldera por el lado de fuego, como los tubos del economizador por el lado de los gases, es importante evitar el sobrecalentamiento del aceite, ya que, un sobrecalentamiento cambiaría las propiedades físicas del aceite. Principalmente este efecto se debe que al encenderse la acumulación de hollín alrededor de los tubos, este exceso de calor extra que envuelve los tubos genera una conducción mayor sobre la pared de la tubería lo que aumenta la temperatura del flujo que se encuentra en la subcapa laminar (capa estacionaria de aceite que se genera por la rugosidad de la superficie de la tubería). Dentro del plan de mantención se explica como se mantiene limpia la superficie de las tuberías y así obtener un grado de ensuciamiento por hollín que no dañe las tuberías.

El proceso de transferencia de calor al interior de los tubos es por radiación, conducción y convección, al existir una circulación forzada del aceite térmico por las tuberías, el fluido toma un flujo turbulento el cual favorece la absorción de calor, ya que, se genera una subcapa laminar (de espesor de micras) producida por la rugosidad de la pared interna de la tubería y la turbulencia del fluido. Esta subcapa transfiere el calor por conducción al aceite y a su vez esta subcapa absorbe el calor radiado de la pared de la tubería. El principal suministro se produce por convección, se tiene un fluido en movimiento que va sumando temperatura a lo largo de la circulación por el serpentín, pero el cual va reduciendo el calor absorbido de la pared de la tubería. Un fenómeno que se observa en un sistema como este es la reducción de transferencia térmica cuando el aceite alcanza su temperatura de operación, esto es producto de que el diseño de esta planta permite cierta cantidad de absorción de calor de los gases de la combustión, que esta directamente relacionada con las características técnicas del aceite térmico escogido.

### **3.6 Pérdida de energía en el circuito de calefacción**

Cuando se coloca en contacto una superficie caliente con un medio frío, se presenta un flujo de calor; la superficie pierde energía interna, mientras que el ambiente la gana. Comúnmente se describe a esta interacción como pérdida de energía calórica de la superficie a la región que la rodea. En un circuito de calefacción existe una pérdida de energía calórica al medio que lo rodea, el objetivo de un diseño térmico es

reducir el flujo de calor al medio utilizando un aislamiento térmico, ya que, aún no es posible diseñar un sistema o proceso adiabático.

Otro factor de pérdida es producto del hollín que se acumula alrededor de los tubos de los serpentines, tanto de la caldera como el economizador, se genera un fenómeno de aislamiento, ya que las partículas de carbón y cenizas de los materiales no combustibles tienen una baja conductividad térmica, se está presente a una pérdida de absorción de calor. Por esta razón es muy importante remover el hollín de los tubos de los serpentines y así poder asegurar que la transferencia de calor en los tubos permanezca lo más cerca de los valores de diseño.

Los materiales de aislamiento térmico deben tener una baja conductividad térmica. En la mayoría de los casos esto se logra atrapando aire o algún otro gas en el interior de pequeñas cavidades en un sólido, aunque en ocasiones se obtiene el mismo efecto rellenando el espacio a través del cual se tiene que reducir el flujo de calor con pequeñas partículas sólidas y atrapando aire entre ellas. Estos materiales aislantes térmicos utilizan la baja conductividad térmica de los gases para inhibir el flujo de calor. Sin embargo al ser el gas un fluido está presente la transferencia de calor por convección natural y radiación entre las paredes sólidas que contienen al gas.

La conductividad térmica del aislamiento es un valor efectivo  $K_{eff}$  que no sólo cambia con la temperatura sino también con la presión y las condiciones ambientales, como la humedad. El cambio de  $K_{eff}$  con la temperatura puede ser bastante pronunciado, en especial a temperaturas elevadas cuando la radiación es el proceso de transferencia de calor más significativo.

En general existen 3 tipos de materiales aislantes:

- 1.- Fibrosos. Los materiales fibrosos se componen de filamentos con partículas de diámetro pequeño de baja densidad que se pueden colocarse en una abertura como "relleno suelto" o en forma de tablas, bloques o mantas. Los materiales fibrosos tienen una porosidad muy alta (90%). La lana mineral es un material fibroso común para aplicaciones a temperaturas por debajo de los 700 °C, y con frecuencia se utiliza fibra de vidrio con temperaturas por debajo de los 200 °C. Para temperaturas entre 700 y 1700 °C se puede utilizar fibras refractarias tales como alúmina ( $Al_2O_3$ ) o sílice ( $SiO_2$ ).
- 2.- Celulares. Los aislantes celulares son materiales que se encuentran en celdas cerradas o abiertas que suelen tener la forma de tableros extendidos flexibles o rígidos. Sin embargo, también es posible darles forma o rociarlos en el lugar para lograr las formas geométricas deseadas. El aislamiento celular tiene como ventaja una baja densidad, baja capacidad de calentamiento, y una resistencia a la compresión

relativamente buena. Como ejemplo se tiene el poliuretano y la espuma de poliestireno expandida.

3.- Granulares. El aislamiento granular consiste en pequeñas escamas o partículas material inorgánicos aglomeradas en formas prefabricadas o utilizadas como polvo. Ejemplo se tiene el polvo de perlita, sílice diatomáceo y vermiculita.

Para temperaturas criogénicas, los gases presentes en los materiales celulares pueden condensarse o congelarse y crean un vacío parcial, lo que mejora la eficacia del material aislante. La figura 3.9 se muestra los intervalos de conductividad térmica efectiva para un aislamiento al vacío y sin él, lo mismo que el producto de la conductividad térmica por la densidad de masa, lo que en ocasiones es importante en el diseño.

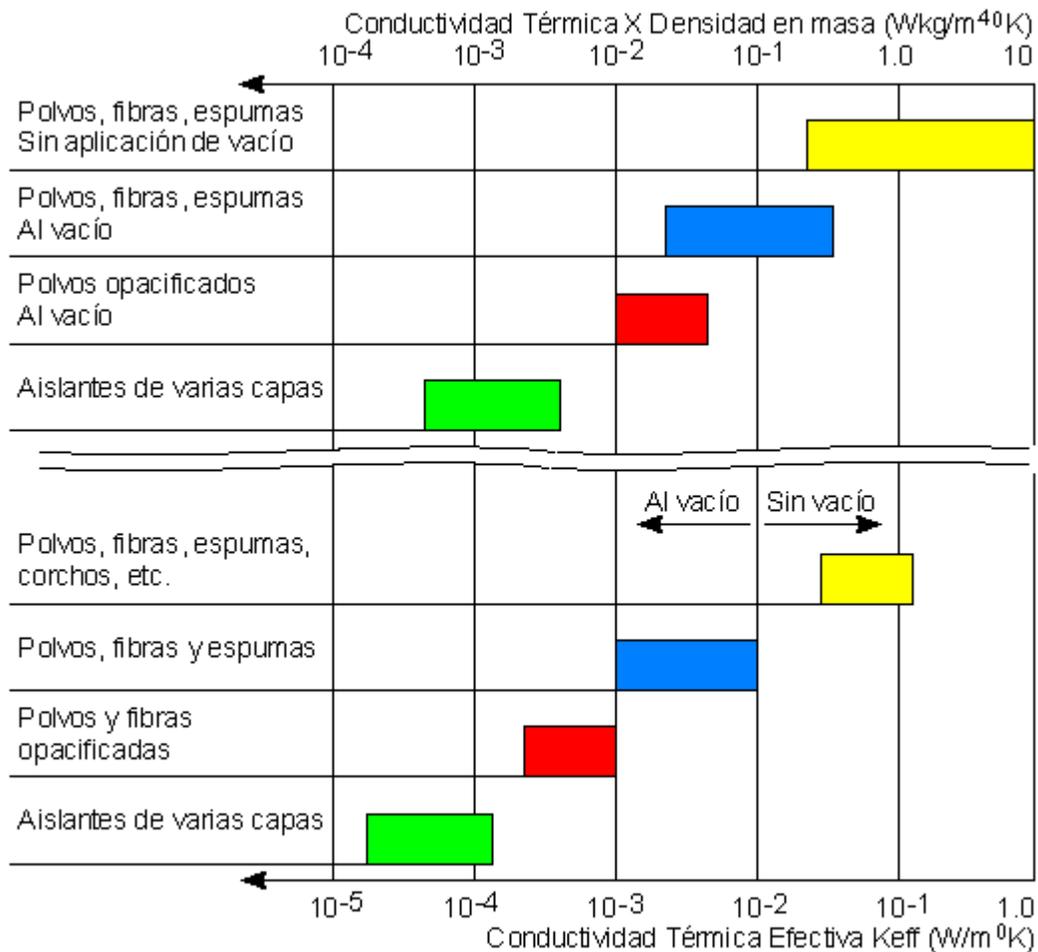


Figura 3.9. Intervalos de las conductividades térmicas de aislantes térmicos.

Lo más importante a considerar para elegir un material aislante es su propiedad de conductividad térmica, aunque la densidad, el límite superior de temperatura, la rigidez estructural, la degradación, la estabilidad química y el costo, desde luego, son factores que influyen en la elección de cada aislante térmico.

Las propiedades físicas del aislante en general las indica el fabricante del producto o es posible obtenerla en manuales. Aunque en general los datos suelen ser bastante limitados para el caso de temperaturas elevadas. En este caso sería necesario extrapolar un factor de seguridad en el diseño final.

En este circuito el uso de aislante fibroso como la fibra de vidrio es muy común, por su baja conductividad térmica, su fácil manipulación y bajo costo, además en caso de una filtración es de muy fácil detección y también es capaz de absorberla, cuando esta es en pequeñas cantidades previniendo un daño mayor.

En la figura 3.10 se muestran los intervalos de conductividad térmica de algunos materiales aislantes fibrosos y celulares para temperaturas. El valor inferior es para bajas temperaturas y el superior para temperaturas en el límite superior de uso permisible (todos los valores son para materiales nuevos). El poliuretano y el poliestireno en general pierden entre el 20% y el 50% de su calidad aislante durante el primer año de uso.

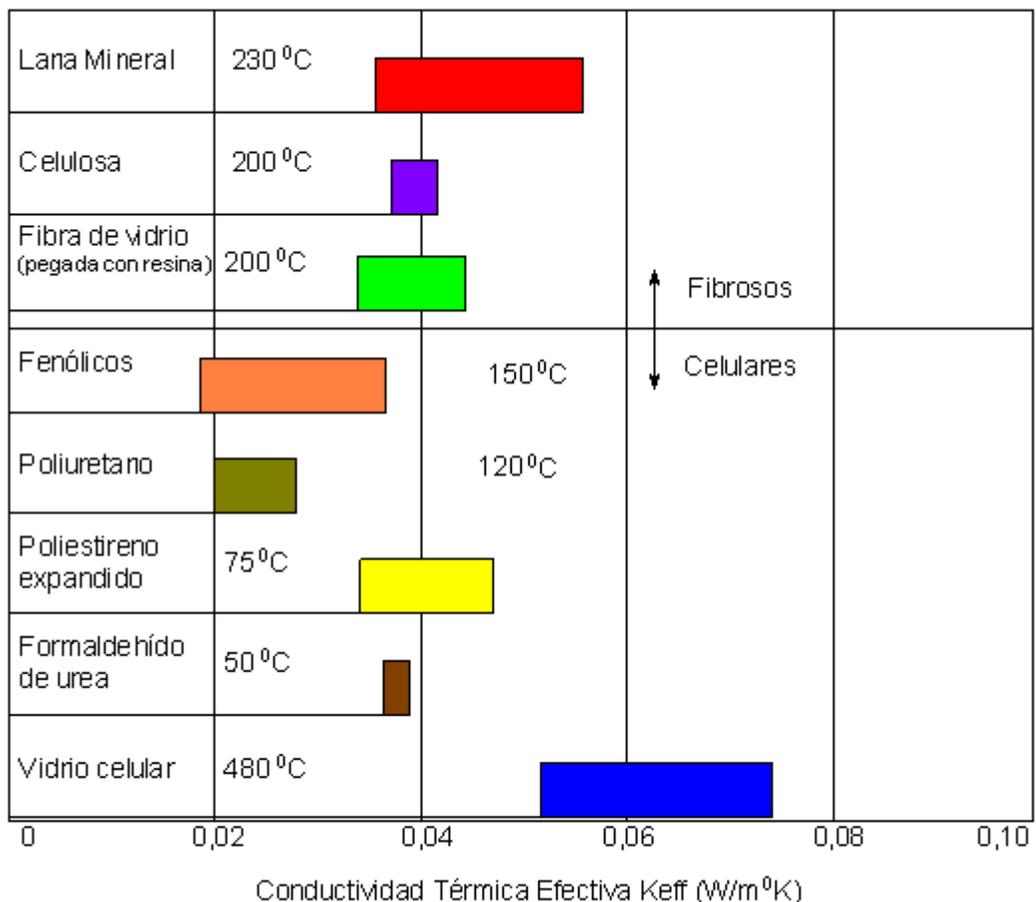


Figura 3.10. Intervalos de conductividad térmica de materiales aislantes fibrosos y celulares típicos.

Para altas temperaturas se utilizan los materiales refractarios, que vienen en forma de ladrillos y son capaces de soportar temperaturas hasta de 1700 °C. Ejemplo la arcilla refractaria tiene una conductividad térmica de 1.5 W/m °K, el circonio tiene una conductividad térmica de 2.5 W/m °K.

En la practica en ingeniería el material aislante con frecuencia se describe con un término llamado valor R, el cual se establece por la razón entre el espesor de un hoja o capa de material y el valor efectivo de conductividad térmica del material.

$$\text{valor } R = \frac{\text{espesor}}{\text{promedio efectivo de conductividad térmica}}$$

El valor de R en general se da en unidades inglesas de hr °F ft<sup>2</sup>/Btu y en algunos casos el valor R se da “por pulgada”, es decir, hr °F ft<sup>2</sup>/Btu pulgada. Se debe tener cuidado al utilizar el valor R de los folletos del fabricante porque es posible que indique un valor por pulgada aun cuando la propiedad sea simplemente el valor R, por lo que es necesario examinar cuales son las propiedades del material independiente del espesor que se utilizara.

## Capítulo IV: Circuito de calefacción con aceite térmico

### 4.1 Generalidades

Para realizar un análisis adecuado de cómo es el funcionamiento de un circuito de calefacción de aceite térmico en buques porta-contenedores, se tomara como fuente de información el circuito del buque porta-contenedores “Mapocho” de la compañía naviera SAAM. A través de este se podrá tener una visión real de cual es la disposición de los distintos equipos y elementos que conforman el circuito. Conocer los procedimientos de control y la mantención establecida por el fabricante, que cumple con la normativa actual establecida por las casas clasificadoras.

La descripción del buque es la siguiente:

Nombre de la nave:	Mapocho
Señal de llamada:	C.B.M.P.
Numero oficial	3062
Numero IMO	9197351
Nacionalidad	Chilena
Puerto de matricula:	Valparaíso
Construido en astillero	Handin Heavy Industries Co Ltd. Korea
Fecha de construcción	Octubre 1999
Numero de registro	24280
Eslora:	168 m.
Manga:	27.20 m.
Puntal:	13.80 m.
Calado verano	9.215 m.
Desplazamiento:	28480.8 ton.
Peso muerto:	21184.4 ton.
T. registro grueso:	16986 ton.
T. registro neto:	7538 ton.
Motor principal:	Hyundai M.A.N.B.&W 7S60MC-C 15805KW/ 101.4 rpm
Velocidad de servicio:	20 nudos.
Tipo de combustible:	IFO –380.
Generadores:	3 - Hyundai B.&W 6I23/30H 1120KW / 900 rpm
Bow thruster	800 KW 1089 PS
Hélice	6800 diámetro, numero de palas 5
Tipo de carga	Containers
Numero de bodegas	7
Numero botes salvavidas:	2 (capacidad 28 personas c/u)
Balsas salvavidas:	5 (2 capacidad 16 personas, 1 por cada banda, 2 capacidad 12 personas, 1 por cada banda, 1 capacidad 6 personas en la proa.
Armadores:	Sud Americana de Vapores

Es importante destacar que M/N Mapocho es uno de los más modernos de la flota de esta compañía, fue adquirido el año 2002, sus equipos son de última generación y se encuentran operativos en perfectas condiciones, además la sala de máquinas con sistema UMS (Unattended Machine Space).

A bordo, un circuito de calefacción debe satisfacer las demandas de energía calórica del buque, que consiste en asegurar las temperaturas de servicio de los siguientes puntos:

- La temperatura del IFO – 380 (Fuel Oil) del motor principal (en maniobra de trasvasije, purificación y consumo).
- La temperatura del IFO – 380 (Fuel Oil) de los motores generadores.
- La temperatura del aceite lubricante del motor principal (para ser purificado).
- La temperatura del aceite lubricante de los motores generadores (para ser purificado).
- La temperatura del agua de chaqueta del motor principal (se mantiene a 80 °C cuando el motor esta fuera de servicio).
- La temperatura del agua de chaqueta de los motores generadores (cuando están fuera de servicio).
- Red de agua caliente para consumo del caserío (duchas, cocina, etc.)

La sala de máquinas abarca tres cubiertas, enumeradas desde la cubierta principal (cubierta A) hacia la quilla, además se considera una planta baja, que incluye todo lo que se ubica por debajo de la tercera cubierta y sobre los cofferdams y estanque de sentina (ver figura 4.a). Existen equipos que se ubican en el espacio destinado a la salida de la chimenea, el cual esta considerado al interior del caserío (línea roja de la figura), los equipos que allí se encuentran están a un nivel por sobre la cubierta principal, por lo que se dice que se ubican en la parte más alta de la sala de máquinas, estos se especifican al comienzo del siguiente listado.

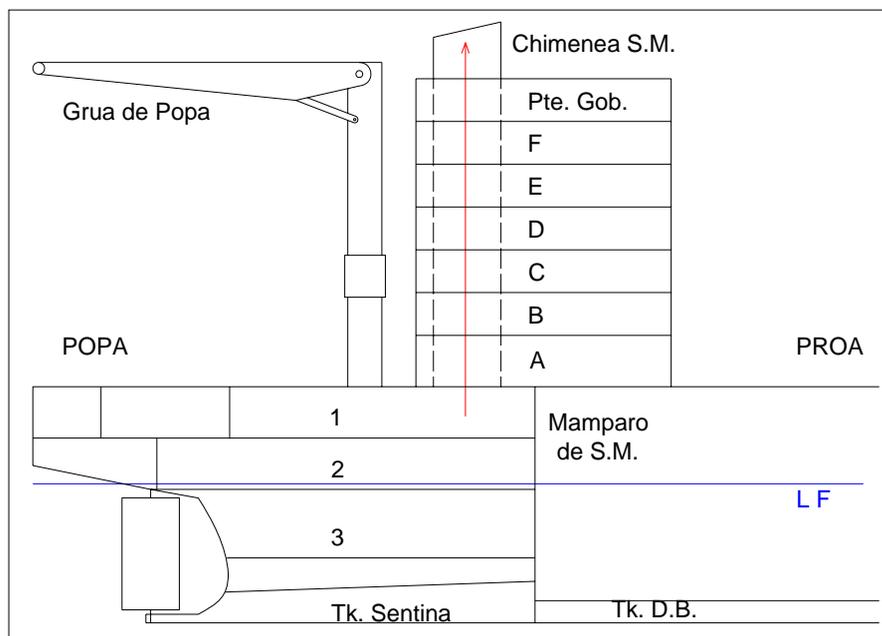


Figura 4.a. Esquema de disposición de sala de máquinas del buque Mapocho

Para especificar la disposición de los distintos equipos y elementos que componen la sala de máquinas se muestran los planos 001 y 002, y el siguiente listado corresponde a la especificación de cada elemento. Los primeros elementos se enumeran con letras ya que se ubican por sobre la cubierta principal.

Sector interior del caserío (sala de maquinas), plano 001:

- A. Economizador.
- B. Estanque de expansión del aceite térmico.
- C. Estanque de expansión de sistema de enfriamiento de alta y baja temperatura.
- D. Estanque de aceite lubricación de cilindros.

Cubierta 1, plano 001:

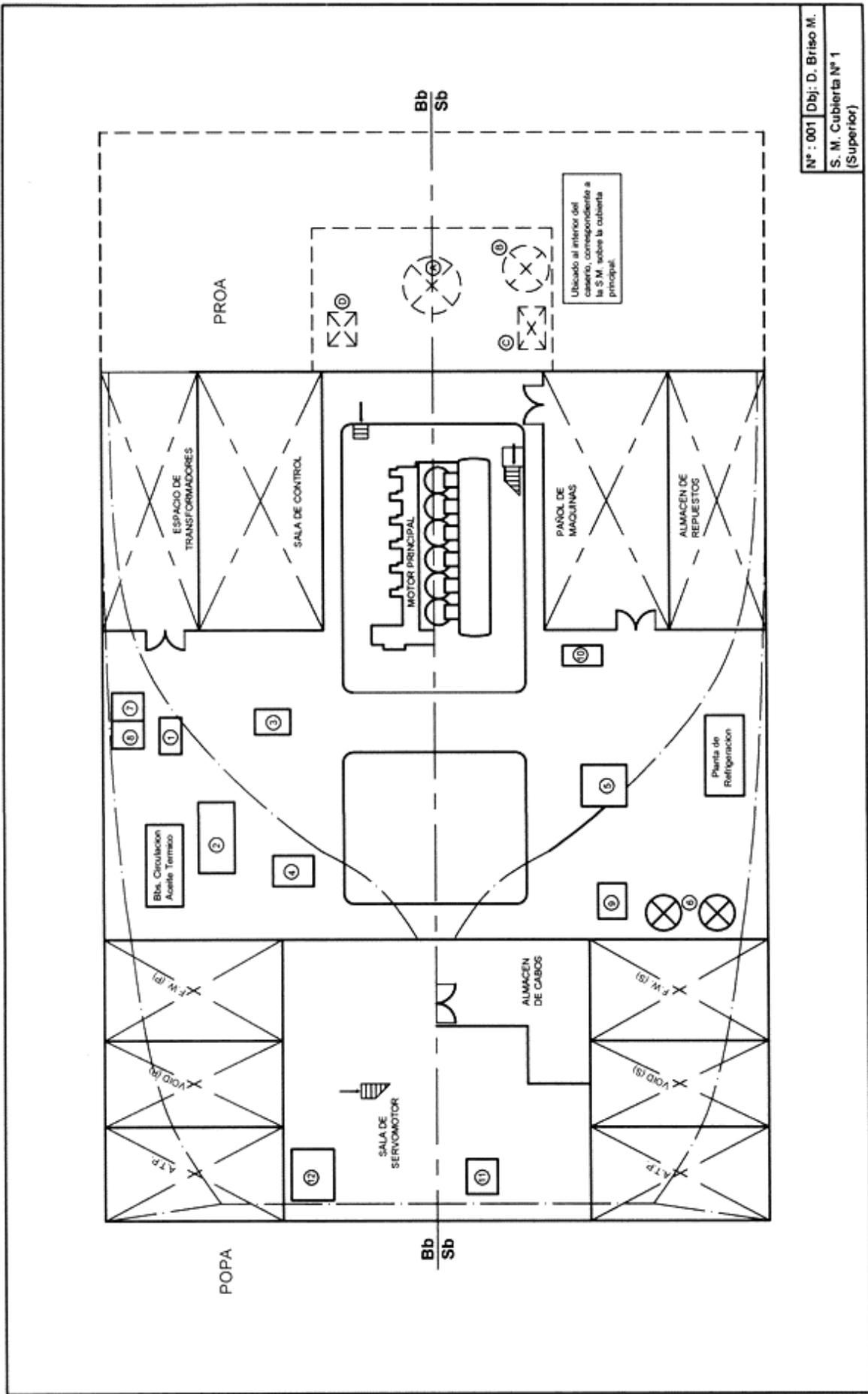
- 1. Incinerador.
- 2. Caldera de aceite térmico.
- 3. Equipo de aire acondicionado.
- 4. Planta de tratamiento de aguas servidas.
- 5. Compresores de aire principal.
- 6. Botellas de aire comprimido.
- 7. Estanque diesel para consumo del incinerador.
- 8. Estanque de aceite sucio.
- 9. Estanque gravedad de aceite del tubo codaste.
- 10. Esterilizador de agua dulce.
- 11. Estanque de aceite hidráulico para servomotor.
- 12. Estanque de almacenamiento de aceite hidráulico para servicios generales.

Cubierta 2, plano 002:

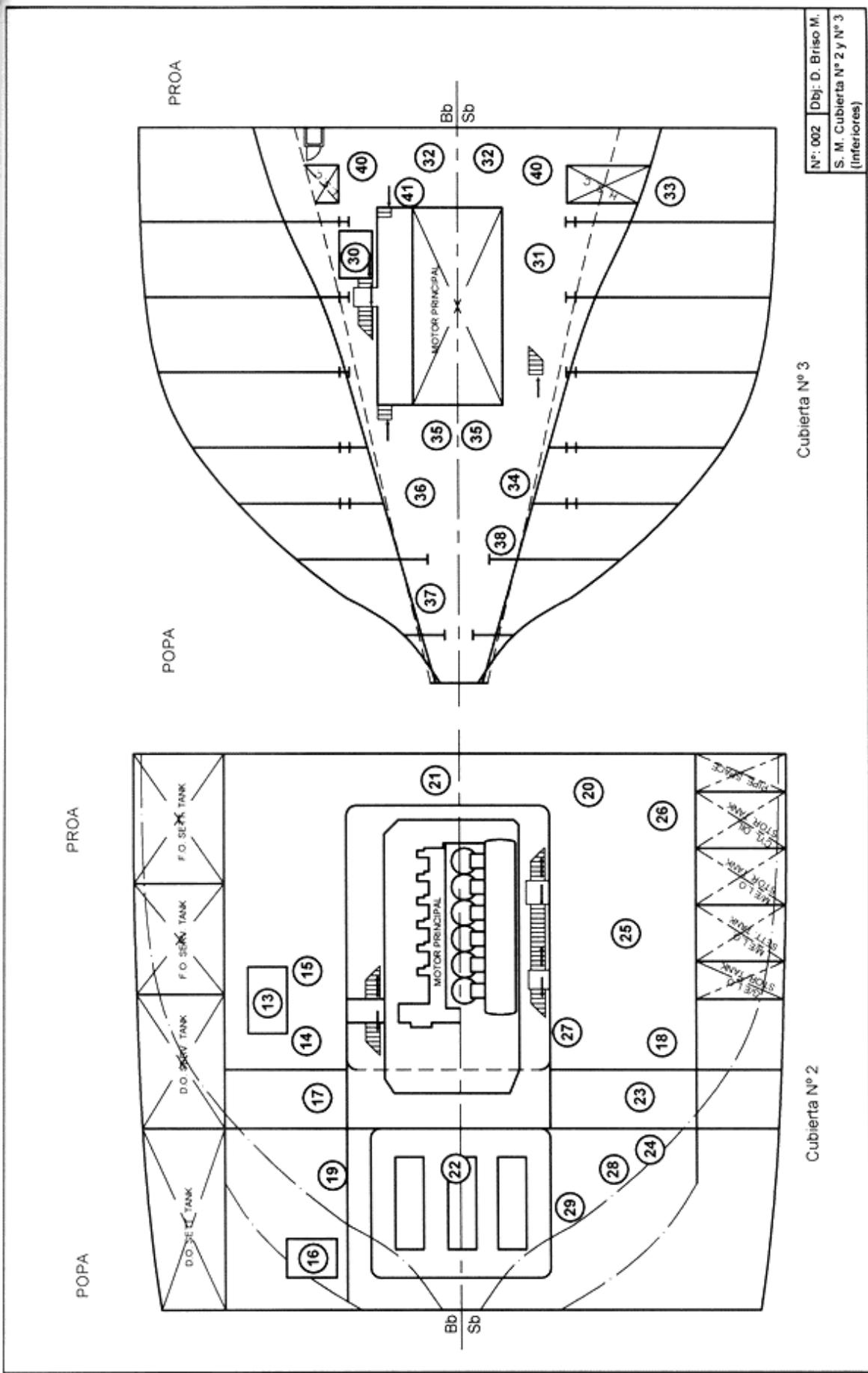
- 13. Estanque de fango de los purificadores de fuel oil.
- 14. Purificadores de fuel oil.
- 15. Purificador de diesel.
- 16. Estanque de drenaje aceite térmico.
- 17. Filtro automático y manual de fuel oil.
- 18. Filtro automático y manual de aceite lubricante del motor principal.
- 19. Enfriador de aceite térmico.
- 20. Enfriador de aceite Hidráulico de servicio general.
- 21. Bombas de aceite hidráulico para control de válvulas del circuito de lastre.
- 22. Generadores A/E1, A/E 2 y A/E 3.
- 23. Purificadores de aceite lubricante.
- 24. Estanque de fango de los purificadores de aceite lubricante.
- 25. Intercambiadores de calor de agua dulce de alta y baja temperatura.

26. Planta generadora de agua dulce.
  27. Bombas booster para el sistema de lubricación del motor principal.
  28. Hidróforo.
  29. Compresor de emergencia.
- Cubierta 3, plano 002:
30. Bombas principales de incendio.
  31. Bombas principales de enfriamiento de agua de mar.
  32. Bombas de lastre.
  33. Bomba de agua de mar para el generador de agua dulce.
  34. Bombas de alimentación de los purificadores.
  35. Bomba de trasvasije de aceite lubricante.
  36. Separador de aguas aceitosas.
  37. Bomba de achique sentina.
- Planta baja de sala de maquinas
38. Estanque de aceite del cárter del motor principal (sump tank).
  39. Estanque colector agua de sentinas.
  40. Estanque de almacenamiento de diesel (Bb / Stb).
  41. Estanque overflow de IFO.
  42. Espacio vacío entre estanques (cofferdam).
  43. Túnel de cañerías.

En el plano 003 se muestra el circuito de aceite térmico, en el se expresan donde están ubicados los distintos equipos, elementos de medición y control. Cada uno se definirá y explicará en los siguientes puntos.



N° : 001 | Dibj: D. Briso M.  
 S. M. Cubierta N° 1  
 (Superior)



Nº: 002    Dbj: D. Briso M.  
 S. M. Cubierta Nº 2 y Nº 3  
 (Inferiores)

**Diagrama de Sistema de calefacción de aceite térmico.**

En documento impreso. Biblioteca Miraflores, Universidad Austral de Chile.

## 4.2 Descripción del sistema de Calefacción (Plano Número 003)

En el capítulo II se describieron cuales son los equipos principales que participan en el suministro de calor al aceite térmico, en base a los datos obtenidos del buque Mapocho, se dimensionara cada uno de estos equipos. Para el control y manejo del circuito, incluyendo los elementos de seguridad, existe una variedad de interruptores que actúan de acuerdo a las mediciones de termostatos, manómetros, alarmas indicadoras de nivel, etc. La acción combinada de estos elementos permite que el circuito pueda estar en servicio en forma automática y con una pequeña asistencia de un operador. Se debe recordar que este tipo de sistema es de asistencia indirecta. El operador debe estar consiente de que su rol principal es el de aportar con sus conocimientos en la operación, mantención y reparación del sistema de aceite térmico.

Cuando el sistema esta en servicio existe una modalidad de funcionamiento normal en navegación y una en puerto. Las cuales se describen de la siguiente forma:

### a) La modalidad de funcionamiento normal en navegación

Esta modalidad considera una de las bombas de circulación en servicio (la segunda bomba esta en stand-by y se pondrá en servicio automáticamente), de esta forma se esta forzando el aceite térmico hacia el economizador, enfriador de descarga, la caldera y los consumidores de calor.

Después de pasar por las tuberías de los consumidores de calor, el aceite retorna al sistema, entra a la tubería de aireación, que esta conectada al lado de la succión de la bomba de circulación, pasa por la bomba y es forzado hacia el economizador

El economizador esta instalado antes de la caldera de aceite térmico y recupera el calor de los gases de escape del motor propulsor cuando el buque esta en navegación. El economizador esta provisto con dos interruptores indicadores de presión para chequear el flujo a través de este calentador. Además esta provisto de un termostato de máxima temperatura para el aceite térmico y un termostato de máxima temperatura para los gases de escape, los cuales ayudan regular la temperatura del aceite térmico. En la línea de salida del economizador existe un orificio donde esta instalado un indicador de flujo. En el caso que el flujo este bajo solamente se registrará una alarma.

Luego el aceite es forzado hacia el enfriador de descarga, en la línea de suministro antes de la caldera y después del enfriador, esta instalado un termostato, que esta conectado con un controlador de temperatura que actúa sobre una válvula de tres vías, que cuida que la temperatura del aceite sea constante para los consumidores de calor.

Luego el aceite es forzado hacia la caldera, que para prevenir golpes del aceite térmico y daños en los tubos de la caldera, cuando no esta en servicio, es necesario mantener una cantidad de flujo mínimo a través del calentador de 0,22 bar.

Después el aceite se dirige hacia la línea de suministro de los consumidores de calor, en esta línea de suministro están montados termostatos de máxima y mínima temperatura y un controlador de flujo mínimo, que asegura un flujo de acuerdo a los requerimientos de los calentadores.

En el caso que el motor propulsor no este en servicio o esta en una marcha lenta, con una reducida salida de gases de escape, la cantidad y la capacidad de calor será reducida, por lo que la demanda de calor de los consumidores será más que el calor producido en el economizador, para satisfacer la demanda la caldera se pondrá en servicio automáticamente. De esta forma se pasa a la modalidad de funcionamiento normal de puerto.

b) La modalidad de funcionamiento normal en puerto.

Para esta modalidad el sistema, al igual que su funcionamiento en navegación, considera una de las bombas de circulación en servicio y la otra en stand-by, de tal forma de asegurar que el aceite sea forzado hacia el economizador, el enfriador de descarga, la caldera y los consumidores de calor.

El aceite retorna de los consumidores de calor y pasa por la tubería de aireación, que esta conectada a la succión de la bomba de circulación, pasa por la bomba y es forzado hacia el economizador y después hacia el enfriador de descarga, al no estar en servicio el economizador, el flujo pasa directo a través del enfriador.

Al pasar por la caldera, se activa el controlador de temperatura al detectar una baja en la temperatura de servicio, este controla el encendido del quemador. Una vez en servicio la caldera, los termostatos de máxima temperatura para el aceite como para los gases de la combustión del quemador, comienzan a chequear las temperaturas correspondientemente.

En la línea de salida de la caldera de aceite térmico hay un orificio en donde un interruptor indicador de flujo controla la presión del fluido. El sistema de seguridad del interruptor de flujo interrumpe el calentamiento cuando la cantidad de flujo del aceite térmico cae por debajo del mínimo permitido, es decir, la cantidad de flujo no alcanza el flujo nominal (esta diferencia de presión se fija en 0,4 bar).

Cuando el aceite térmico esta frío la viscosidad es tan alta que no se obtiene la cantidad de flujo mínimo en la caldera. En estas condiciones el segundo contacto del interruptor de flujo mínimo esta desviado y temporalmente remplazado por el termostato de entrada de temperatura mínima (montado en la línea de suministro de los consumidores) en combinación con el primer contacto del interruptor de flujo mínimo

que es ajustado más bajo a 0,05 bar. Mientras la cantidad de flujo mínimo a través de la caldera no se obtenga el quemador permanecerá en la posición de carga mínima.

En cualquier caso un flujo de aproximadamente 0,05 bar (el interruptor 1 del interruptor de flujo) debe estar disponible. Esto será necesario para evitar daños del aceite térmico y serpentines de la caldera. En el caso que después de cierto tiempo sea alcanzada la temperatura de apagado de aproximadamente 80 °C (el interruptor 2 del interruptor de flujo se cerrará), la caldera operará completamente automática y el quemador podrá correr en máxima carga. Además se debe tener el flujo más alto a través de la caldera que es la indicación más alta del interruptor diferencial de presión.

### 4.3 Componentes principales del sistema

De acuerdo al sistema del buque Mapocho, se describen sus componentes principales y se entregan las características de los equipos, las cuales son las siguientes:

Bombas de circulación

Fabricante	ALLWEILER
Tipo	NTT 40 – 250
Capacidad	42 m <sup>3</sup> /h
Presión	85 mlc
Motor eléctrico	21 kW
Corriente	3x440 volt – 60 Hz
Transmisión	Rotor
Principio de funcionamiento	Centrifuga

Las bombas de circulación son dos bombas centrifugas conectadas en paralelo, permiten mantener el flujo forzado del aceite térmico a través del sistema. Al estar en servicio el sistema, siempre estará una bomba en servicio y la segunda en una posición de stand-by, la que se pondrá en servicio automáticamente cuando el controlador de presión ubicado en la línea de descarga detecte una baja de presión en el sistema.

En la línea de succión de cada bomba esta instalado un filtro para captar posibles impurezas que se pueden generar al estar en servicio la planta.

## Economizador

Fabricante	WIESLOCH
Tipo	EXV7-67-43-57.0-600
Superficie de calefacción	189 m <sup>2</sup>
Lado de gases de escape a 90% de las rpm del motor principal	
Capacidad	900 kW
Cantidad	119.700 kg/h
Temperatura de entrada	250 °C
Temperatura de salida	225 °C
Presión mínima	1.199 Pa
Al interior de los tubos	
Flujo	42 m <sup>3</sup> /h
Temperatura de entrada	140 °C
Temperatura de salida	180 °C
Presión mínima	14,2 mlc
Dimensiones	
Diámetro sin aislamiento D	2046 mm
Altura del serpentín S	2650 mm
Altura total	3100 mm
Peso Neto	9000 kg
Líquido contenido	2052 lt
Rectificación de flujo	DN 100 – PN40

El economizador esta instalado en el sistema antes de la caldera de aceite térmico y su objetivo es el de recupera el calor de los gases de escape del motor propulsor cuando el buque esta en navegación. Para evitar golpes del aceite térmico por calor latente en el economizador, es necesario circular el aceite durante 10 – 15 minutos aproximadamente después de parar este calentador. Cuenta con termostatos de máxima temperatura para el aceite térmico y para los gases de escape del motor propulsor.

Además esta provisto de toberas extintoras en la parte superior y toberas de lavado en la parte inferior. Estas toberas de extinción pueden ser abiertas desde un lugar seguro y podrían enfriar la superficie de transferencia durante 30 minutos. Es importante mencionar que para evitar la corrosión por sulfuros es importante que el economizador se mantenga caliente, y solo se debe usar agua dulce para el limpiado y extinciones.

También en la salida de los gases de escape un segundo termostato esta montado después del economizador, el que esta instalado para la alarma de incendio.

Un detector de fugas (válvula de sobre llenado) se ubica en la tubería de filtración, montada en la parte inferior del economizador.

## Caldera

Fabricante	WIESLOCH
Tipo	25 – HO – 08
Capacidad	900 kW
Temperatura de abastecimiento	180 °C
Temperatura de retorno	140 °C
Flujo nominal	42 m <sup>3</sup> /h
Presión de diseño	10 bar
Temperatura de salida de gases	220 °C
Consumo de combustible	90 kg/h
Corriente	3x440 volt – 60 Hz
Dimensiones	
Diámetro	1586 mm
Largo incluido el quemador	3370 mm
Largo sin el quemador	2556 mm
Peso neto	2700 kg
Líquido contenido	619 lt

La caldera tiene como objetivo satisfacer la demanda de calor de los consumidores cuando el calor producido en el economizador es insuficiente, producto de que el motor propulsor no este en servicio o esta en una marcha lenta (donde se reduce la carga de la salida de gases de escape), esta se pondrá en servicio automáticamente. Una vez en servicio la caldera cuenta con termostatos de máxima y mínima temperatura para el aceite, los que actúan sobre el quemador, y termostatos para los gases de la combustión, alarmas de nivel e indicadores de presión.

## Enfriador de descarga

Es un intercambiador de calor a contra corriente que enfría por agua de mar, esta instalado después del economizador y antes de la caldera. Este enfriador se utiliza para entregar una correcta temperatura del aceite térmico hacia los consumidores de calor en el caso de que el calor producido en el economizador sea más que el calor demandado por los consumidores de calor. En el caso de una sobreproducción de calor en el economizador actuara un controlador de temperatura en combinación con la válvula de mando eléctrico de tres vías, este controlador esta ubicado en la línea de suministro de la caldera. La válvula de tres vías mezcla el fluido térmico caliente con el fluido térmico enfriado en el enfriador de descarga para entregar la así el aceite a la temperatura de servicio requerida. La temperatura puede ser chequeada antes y después del enfriador a través de termómetros, además cuenta con líneas de drenaje.

El sistema cuenta con elementos que no cumplen una función de control de temperatura o de control de flujo, sino que son elementos que sirven para asegurar un correcto funcionamiento del sistema. Se explicará su disposición y función a continuación:

#### Tubería de aireación

Esta tubería esta conectada a la línea de retorno del aceite térmico desde los consumidores de calor, tiene una conexión a la línea de expansión, a la línea de aireación y una a la línea de succión de las bombas de circulación, su objetivo es eliminar fragmentos livianos o vapores que puede generarse al estar la planta en servicio.

Para que estos posibles vapores o componentes volátiles escapen en el estanque de expansión a la atmósfera, la velocidad del aceite se reduce en esta tubería, de tal forma que fluyan a través de la línea de aireación que esta conectada en lo alto del estanque de expansión, como también pueden hacerlo por las tuberías de aireación del estanque de expansión y el estanque colector de drenaje. Una segunda conexión (línea de expansión) esta conectada con el sistema de expansión.

#### Tuberías de expansión

Esta tubería conecta el estanque de expansión con la tubería de aireación, permite al aceite térmico la posibilidad de expandirse y es el suministro de calor del estanque de expansión, a través de la circulación interna en las tuberías de expansión, que son cerradas por un sistema de bloqueo. Este sistema de bloqueo de temperatura esta montado en la línea de expansión para asegurar que la temperatura en el estanque de expansión no suba continuamente sobre los 70 °C durante el servicio.

#### Estanque de expansión

El estanque de expansión absorber cualquier exceso de aceite térmico generado por la expansión de este con la temperatura, esta instalado en el punto más alto de la sala de maquinas (al costado de donde pasa la chimenea del M/E y A/E) y esta conectado a la planta por medio de las tuberías de expansión, el sistema de bloqueo de temperatura y la tubería de aireación.

Al entrar en servicio el sistema comienza a calentarse el aceite térmico por lo que habrá un aumento en su volumen que será compensado a través de la tubería de expansión del estanque de expansión. Este esta provisto con un indicador de nivel magnético, como también dos interruptores de nivel, uno para indicar el bajo nivel y el otro para indicar el alto nivel. El interruptor de alto nivel también esta conectado con el

bloqueo del quemador, y el interruptor de bajo nivel apagará el quemador de la caldera y las bombas de circulación.

El estanque de expansión está también provisto con una válvula neumática de apertura rápida de emergencia con interruptor de límite, que drenará el aceite al estanque de drenaje. Esta válvula tiene que ser operada solamente en caso de incendio y a distancia tirando un cable de acero, debe ser operada desde un lugar seguro.

Es muy importante mantener el estanque de expansión tan frío como se posible, ya que, la calidad del aceite térmico se reducirá fuertemente en el caso que el fluido esté en contacto con oxígeno (o aire) por alta temperatura. Por lo tanto se debe asegurar que la temperatura no suba aproximadamente sobre los 70 °C en este estanque.

#### Tubería de hervido

La tubería de hervido está montada con una conexión directamente antes del economizador y otra después de la caldera a través del aireador. Esta tubería está provista con válvulas de seguridad que están conectadas a la línea de hervido que llega a lo alto del estanque de expansión.

La mayor parte de los fragmentos livianos y componentes volátiles que se generan por el calentamiento del aceite durante la primera puesta en servicio. Además puede ocurrir que algo de agua halla dentro de la instalación, que sería evaporada en el calentador, la salida de estos gases y vapores de la instalación, tan pronto como sea posible, se hace a través de esta tubería. Es importante destacar que solo se permite abrir la tubería de hervido durante el periodo de puesta en servicio, hasta que los gases escapen a la atmósfera.

#### Estanque almacenamiento y de drenaje de aceite térmico

La instalación está provista con un estanque almacenamiento y de drenaje que permite la posibilidad de alimentar la instalación mediante una bomba de alimentación eléctrica. Además el estanque de drenaje está provisto con una bomba manual, esta bomba se instala para remover posibles condensaciones producidas en el estanque. La línea de succión de esta bomba manual es más larga que la eléctrica. Se debe asegurar que no se transportara agua por la bomba manual, ya que, no se puede meter agua al circuito de aceite térmico. En cualquier caso se aconseja alimentar la instalación por el estanque de expansión, ya que, por una sobre alimentación en el estanque el agua se hundirá hasta el fondo del estanque y ahí puede ser drenada.

Las válvulas de drenaje del estanque de expansión, el economizador y la caldera del buque están conectadas también al estanque de drenaje, para que en el caso de tener que vaciar el economizador o la caldera por alguna mantención, este aceite pueda ser reutilizado.

Las válvulas de las bombas eléctricas de alimentación están conectadas de tal manera que las siguientes maniobras se pueden realizar:

- Alimentar la instalación desde el estanque de expansión.
- Vaciar el estanque colector al costado del buque.
- Vaciar la instalación al costado del buque.

#### **4.4 Elementos de control**

Como se nombro anteriormente cada modalidad de funcionamiento esta controlada de acuerdo a la acción de distintos interruptores, sin embargo existe una modalidad de control preventivo y otra de control correctivo, es decir, que existen indicadores para chequear la temperatura, presión e indicadores de nivel, pero de acuerdo a estas mediciones actúan los interruptores o controladores, los que generen una respuesta al alcanzar los valores a los cuales se programan.

Para explicar esto se describen primero los elementos que actúan como elementos de control preventivo, cuya función es mantener el sistema en servicio en forma automática y dentro de los valores correctos de funcionamiento, nunca se debe permitir anular estos equipos cuando la planta este en servicio.

##### **a) Elementos de control preventivo.**

Las bombas de circulación tienen instalados manómetros en la succión y descarga, para chequear el correcto funcionamiento de estas. En la línea de suministro del economizador esta instalado un controlador de presión, el que pone en servicio la bomba de circulación en stand – by cuando existe una caída de presión.

El economizador cuenta con elementos de control para el lado de aceite como para el lado de gases. En el lado del aceite tiene montado un termómetro y un manómetro en la línea de suministro, en línea de salida esta montado un segundo termómetro y manómetro junto con un termostato de máxima temperatura del aceite, al activarse el termostato la alarma de luz roja se encenderá en el panel de control. La señal de entrada de este termostato será aproximadamente 20°C superior que la temperatura máxima de servicio. Se tiene que poner atención a que la señal de entrada no sea superior que la magnitud de la temperatura permisible del aceite térmico en uso (ver características técnicas del aceite).

En la línea de salida del economizador esta montado un interruptor indicador de flujo, el que debe indicar aproximadamente una diferencia de presión de 0,4 bar sobre

el orificio en el que esta instalado. En el caso de que el flujo sea insuficiente, solamente se encenderá una alarma luminosa en el panel de control.

En el lado de los gases de escape, a la salida del economizador esta montado un termostato de máxima temperatura. A este termostato se le tiene que ajustar la señal de entrada en un 10% superior que la temperatura de los gases de escape en máxima carga para la temperatura fijada del aceite térmico en servicio. Para un buen ajuste de este termostato se tiene que pasar la temperatura del interruptor del termostato por encima de la temperatura de servicio y volver a bajarla, repetir otra vez lentamente con varios intervalos de tiempo. En un cierto momento se activa el termostato y entonces se asume este valor de la escala del termostato como de un 10% superior. Después de activarse el termostato solamente se encenderá una alarma luminosa en el panel de control. Al resetear esta alarma en el panel de control, el botón de reset en el termostato se reseteará el mismo.

Un segundo termostato de máxima temperatura en la chimenea de gases de escape, instalado después del economizador, se utiliza como alarma de incendio, la que solamente actúa en caso de incendio en el economizador independiente de otras alarmas de incendio. Una vez extinguido el incendio se debe resetear la alarma en el panel del control, el botón de reset del termostato se reseteará el mismo

En el caso que ocurra una filtración en el economizador se activará la alarma de filtración, que sacara de servicio las bombas de circulación y bloqueara eléctricamente el encendido del quemador. Después anulada la alarma se puede resetar el bloqueo para drenar la tubería de filtración.

En el enfriador de descarga, el controlador de temperatura opera una válvula de tres vías por medio de un termostato ubicado en la línea de suministro de la caldera, dependiendo de esta temperatura, permite el paso de un flujo a recirculación en el caso de exceso de temperatura o permitir el paso directo cuando esta es deficiente. La señal de entrada del termostato puede ser ajustada en el controlador de temperatura, instalado en el panel del interruptor. Además esta instalado un termómetro en la entrada y la salida del aceite al enfriador para así chequear la temperatura de servicio. Nunca se cierran las válvulas del lado de agua del enfriador si esta en servicio la planta, utilizando los termómetros de entrada y salida del agua se puede chequear una correcta temperatura.

Un controlador de temperatura esta montado en la línea de suministro de la caldera, y es un interruptor que utiliza un termostato y un transmisor. Este controlador comanda al quemador (por lo que el quemador se define como un quemador controlado), la señal de entrada de este controlador de temperatura puede ser ajustada con la pantalla del interruptor. Un manómetro, antes del controlador, indica la presión

de entrada del fluido a la caldera. Un segundo termostato que esta conectado al controlador, medirá la temperatura que va hacia los consumidores de calor.

Una vez ajustada la temperatura correcta de suministro, se permite el encendido del quemador. El quemador se encenderá automáticamente cumpliendo el siguiente procedimiento:

- Se debe asegurar que una de las bombas de transferencia de combustible este en servicio.
- El ventilador y la bomba de combustible estén en servicio.
- Las válvulas solenoides de seguridad estén abiertas y circule combustible por el atomizador y el precalentador eléctrico de combustible.
- Cuando la temperatura del combustible sea suficiente se abrirán las lampas de aire durante 60 segundos aproximadamente para ventilar la caldera auxiliar.
- Las lampas de aire van en la posición de encendido.
- Se comienza la inyección.
- Las válvulas solenoides se abrirán y el combustible será inyectado.
- Después aproximadamente tres segundos, una llama tiene que aparecer. El quemador se enciende en la posición de baja. En el caso que después de estos tres segundos no se registre llama o el quemador diera una llama fallada, corte las válvulas del combustible y bloquee eléctricamente la instalación.

El controlador esta provisto con un segundo interruptor manual. Que al prenderlo indica la temperatura de entrada del fluido térmico a la caldera y permite encender el quemador.

En la línea de salida de la caldera esta montado un interruptor indicador de flujo y se ajusta a una medición aproximada de 0,35 bar de la diferencia de presión sobre el punto de instalación. En el caso que este valor se alcance, el interruptor del quemador automáticamente pasara a la posición de carga máxima.

Con un encendido en frío no habrá flujo suficiente y el quemador permanecerá en posición de carga mínima hasta que la temperatura de retorno del aceite térmico este bajo la de la señal de entrada mínima del termostato. Después que el flujo mínimo a través del calentador sea obtenido el interruptor del quemador que esta en la posición de máxima carga operará automáticamente. En cualquier caso un flujo aproximado de 0,05 bar debe estar disponible (flujo mínimo de encendido). Este será el necesario para evitar daños del aceite térmico y el serpentín por temperatura.

En todo caso si se ajusto de la manera correcta, el quemador mantendrá la temperatura adecuada del aceite. Después de un control de parada del quemador, este se encenderá automáticamente otra vez si así se requiere.

Se debe asegurar que la medición en el interruptor diferencial de presión sea el máximo flujo indicado a través del calentador.

En la línea de salida de la caldera existe un termostato de máxima temperatura, el valor de ajuste será aproximadamente 10% sobre la temperatura de servicio (esta temperatura no puede sobrepasar la temperatura máxima permitida para el aceite térmico). Al activarse el termostato de máxima temperatura, el quemador estará parado y la alarma estará bloqueada eléctricamente, se desbloquea en el panel de control.

En la conexión de la chimenea de gases de la caldera esta montado un termómetro y un termostato de máxima temperatura, la señal de entrada se ajusta un 10% superior que la temperatura de los gases en la chimenea con el quemador a máxima carga para la temperatura del aceite térmico en servicio. En caso que esta temperatura sea excedida el termostato apagará el quemador y será bloqueado eléctricamente. Para un buen ajuste de este termostato se tiene que pasar la temperatura del interruptor del termostato por encima de la temperatura de servicio y volver a bajarla, repetir otra vez lentamente con varios intervalos de tiempo. En un cierto momento el quemador se apagará y entonces se asume este valor de la escala del termostato como de un 10% superior. Es posible que después de pocas semanas este termostato de la chimenea de gases se active. Esto no mide que la caldera esta extremadamente sucia, por lo que el termostato tiene que ser ajustado otra vez como se menciono antes.

En el caso de existir una filtración de aceite en la caldera, se activará la alarma de filtración, que apaga y bloquea eléctricamente las bombas de circulación y/o el quemador. Después de activarse el bloqueo se puede resetear la alarma para drenar la filtración.

El quemador de la caldera tiene incorporado dos alarmas, la primera es por alta temperatura del combustible, que al activarse parará y bloqueará eléctricamente el quemador. La segunda alarma es por baja temperatura del combustible al activarse el quemador esperará hasta que se alcance la temperatura correcta del combustible para encenderse. Esta alarma es solamente registrada en el panel del interruptor pero no causa parada.

El estanque de expansión tiene dos alarmas por bajo nivel de aceite, la primera esta montada en el fondo del estanque y evita que el estanque quede completamente vacío, al activarse esta alarma saca de servicio las bombas de circulación y bloquea el encendido del quemador. El interruptor de esta alarma estará bloqueado eléctricamente hasta que no se corrija la avería. La segunda alarma por bajo nivel es un interruptor de nivel (flotador de contacto) es ajustable y esta montado en el indicador de nivel del estanque (más arriba que la alarma anterior). La alarma tiene un tiempo de

retraso por el balanceo del buque, por lo que tiene que ser ajustada de tal manera que en servicio normal el interruptor sensor de nivel indique justo el bajo nivel en el estanque de expansión antes de activar la primera alarma de bajo nivel antes mencionada.

La segunda alarma puede ser accionada por dos razones:

- Poco aceite térmico en el sistema.
- La instalación esta por debajo de la temperatura de servicio.

Este estanque también tiene una alarma de sobre nivel, que tiene un tiempo de retraso por el balanceo del buque.

Esta alarma puede ser activada por las siguientes causas:

- Alto nivel de llenado.
- Filtración en un intercambiador de calor donde la presión en el segundo lado es superior que en el lado del aceite térmico.
- Agua en el circuito que causa la generación de vapor. El vapor con un gran volumen de agua esta presionando el aceite térmico en el estanque de expansión.

En el caso que uno de los mecanismos de seguridad este actuando, el quemador será apagado y bloqueado eléctricamente. La instalación tiene que ser reseteada presionando el botón de reset en el panel de control y el quemador puede ser encendido otra vez. En el caso que el termostato de la chimenea de gases del economizador este activado, primero se tiene que presionar el botón reset en el termostato.

#### b) Elementos de control correctivo

Anteriormente se dijo que este sistema requiere de un flujo forzado del aceite térmico para su óptima transferencia de calor, pero producto de una avería o falla en el sistema, que reduzca el flujo, se debe asegurar un flujo mínimo para los calentadores.

Por lo que sistema cuenta con un controlador de flujo mínimo, este controlador parte de las mediciones que entregan los interruptores diferenciales de flujo que están montados en el economizador y la caldera, para evitar que se accione la alarma de bajo flujo. Este controlador de flujo mínimo esta instalado entre la tubería de suministro y la línea de retorno de los consumidores de calor, y su función es asegura que siempre sea suficiente el flujo de aceite térmico a través de los calentadores. Para ello debe ser reducida la cantidad de flujo de entrada hacia los consumidores, como resultado del cerrado automático de las válvulas controladoras de temperatura o de las válvulas operadas manualmente de los consumidores de calor, con esto la presión antes del controlador de flujo mínimo subirá y la válvula de control de flujo mínimo se abrirá hasta que se mantenga el flujo mínimo a través de los calentadores.

El procedimiento para ajustar el controlador de flujo mínimo es el siguiente:

- Cerrar todos los consumidores de calor y ajustar la señal de entrada del controlador de presión en el equipo controlador de flujo mínimo de tal manera que fluya la cantidad mínima flujo a través de los calentadores.
- La señal de entrada del controlador de presión del equipo de flujo mínimo debe estar ajustada de tal manera que el interruptor indicador de flujo de la válvula de registro del calentador se aproxime a 0,4 bar.

Cada calentador posee un interruptor indicador de flujo con una medida de seguridad, esta señal de entrada al interruptor es de 0,25 bar. Cuando se presenta una diferencia de presión de 0,4 bar, el controlador de flujo mínimo mantendrá a los calentadores bajo un flujo nominal.

Durante la primera puesta en servicio, la señal de entrada del controlador de presión eléctrico se determina a través de pruebas experimentales, es decir, haciendo variaciones de presión.

El equipo controlador de flujo mínimo esta equipado con una línea de by-pass con una válvula de regulación manual. Si el controlador de flujo mínimo esta fuera de servicio, el flujo mínimo a través del calentador tiene que ser regulado lo mejor posible por medio de la válvula del by-pass, abriendo la válvula del by-pass y chequeando la presión a través de los manómetros hasta que se mantenga un flujo nominal a través de la caldera y el economizador, recordando que los consumidores de calor deben estar cerrados.

En caso de emergencia el estanque de expansión puede ser vaciado rápidamente por la válvula neumática de vaciado rápido. El contenido del estanque será drenado al estanque de drenaje de aceite térmico. Superada la emergencia se pueden activar los elementos de control del estanque y la válvula de vaciado es cerrada. Así el estanque puede ser alimentado por la bomba eléctrica de alimentación.

El enfriador de descarga cuenta con una válvula de control en la tubería de by-pass, la que se ajusta por medio de manómetros, de manera tal de obtener una baja presión en la tubería de by-pass que sea igual a la baja presión de la válvula de control de tres vías en el enfriador. Esta válvula de control se utiliza cuando el enfriador se encuentra fuera de servicio.

#### **4.5 Irregularidades graves que se puede presentar durante la operación**

La principal irregularidad que se puede presentar al estar en servicio el sistema es un incendio en los calentadores. Cada calentador posee un sistema de detección de incendio independiente, así también su sistema de extinción. Las causas que pueden generar un incendio son dos:

- Exceso de acumulación de hollín en los tubos del serpentín.
- Inflamación de una filtración de aceite térmico, producto de la rotura de algún tubo del serpentín.

En el caso de ocurrir un incendio en el economizador, este es detectado por la alarma de incendio ubicada en la salida de los gases de escape (mencionada anteriormente), si el incendio se inicia por una acumulación excesiva de hollín, la principal causa se debe a una mala mantención o un lavado incorrecto del calentador.

La segunda causa, que ocurra una filtración en el economizador, se puede deber principalmente a fallas del material (al estar expuesto a cambios de temperatura), para esta situación el sistema cuenta con una alarma de filtración. Esta alarma actúa con un detector de fugas, que es una válvula de sobre llenado que está instalada en el tope de la tubería de filtración, es necesario realizar un test de funcionamiento de esta válvula. Además se tiene que prestar atención que en la primera puesta en servicio la tubería de filtración está llena con aceite térmico, de tal manera que la trampa en U está llena también. Después de llenarse la tubería tiene que ser drenada (usar su diagrama de tuberías).

Activada la alarma de incendio en el economizador, se debe cortar el flujo de aceite a través del calentador, utilizando la válvula de by – pass que se encuentra en un área segura. Para extinguir el incendio se utiliza el método de asfixiar el fuego, a través de las toberas de extinción se introduce agua en forma parcial, de tal forma de generar una cortina de vapor, el agua debe ser dulce y estar por sobre los 70<sup>0</sup> C, esta maniobra se realiza con una válvula que se abre con un mando a distancia, el que debe encontrarse en un lugar seguro. Como ayuda a la extinción se debe permanecer con el motor propulsor en servicio, porque la alta temperatura de los gases de escape ayuda a la formación de vapor y el aporte de CO<sub>2</sub> facilita la asfixia del fuego.

De presentarse un incendio en la caldera se activará la alarma de máxima temperatura de los gases de escape, la que pone fuera de servicio las bombas de circulación y bloquea eléctricamente el encendido del quemador. Se corta el flujo de aceite a través de la caldera utilizando una válvula de by – pass que se ubica en un lugar seguro. Además se deben cerrar las lampas de aire del quemador y cortar la línea de suministro de combustible. En el caso que no se extinga (por asfixia) se debe vaciar el aceite de la caldera al estanque de drenaje.

Otro caso de irregularidad es un retroceso de llama en la caldera, para este tipo de quemador la causa es una mala mantención del inyector de combustible, que producirá que la llama se genere muy cerca de la atomización o que se inflamen remanentes de combustibles de cuando la caldera no está en servicio, lo que presionará el aire caliente y la llama hacia el ventilador de tiraje forzado (VTF). Para evitar generar

daños al exterior del quemador, el VTF tiene un bloqueo del suministro de aire (un cierre de las lampas de aire) y un corte del suministro de combustible. Una vez reparada la avería, el quemador tiene que ser desbloqueado manualmente y después es conectado al panel de control para que pueda entrar en servicio automáticamente (se recomienda hacer una partida del quemador a modo de prueba antes de conectarlo al sistema).

#### **4.6 Prescripciones de seguridad**

El diseño de este sistema considera el paro de los calentadores en caso de reparación o emergencia, para esto es necesario que los operarios prevean alguna situación anormal y/o tomen las medidas pertinentes de prevención de un accidente al momento de intervenir el sistema. El paro de los calentadores se realiza de acuerdo al siguiente procedimiento:

##### **Parado de la caldera**

Cuando la caldera es puesta fuera de servicio por emergencia, reparaciones o actividades de limpiado, se debe:

- Cerrar la válvula de corte antes y después del calentador.
- Abrir la válvula de by-pass con el cuidado de mantener la circulación a través del economizador y los consumidores de calor. En este paso se debe prevenir que, debido a lo lejana de la posición de apertura de la válvula de by – pass, la cantidad de flujo que esta pasando aumente bruscamente causando fallas de calentamiento del motor de la bomba de circulación en servicio.
- Después debe ser bloqueado eléctricamente el encendido del quemador y desconectado del panel de control.

##### **Parado del economizador**

Cuando en caso de emergencia o reparaciones, el economizador tiene que ser parado de la siguiente forma:

- La válvula de corte antes y después del economizador debe ser cerrada.
- La válvula de by-pass debe ser abierta, de tal forma de asegurar un flujo hacia la caldera y los consumidores de calor. Evitando que el flujo sobre cargue el motor de la bomba de circulación en servicio.

En caso de filtraciones de aceite térmico, el aceite debe ser descargado desde el economizador de acuerdo a las indicaciones anteriores y abriendo la válvula de descarga que conecta con el estanque de drenaje de aceite térmico, el aceite caerá por gravedad. Además con nitrógeno presurizado el aceite térmico puede ser sacado del calentador, para esto se utiliza una línea que esta conectada a la línea de alimentación.

Este procedimiento con nitrógeno presurizado es solamente aplicable para calentadores de ejecución horizontal donde el aceite no caería por gravedad.

Cuando a causa de trabajos de reparación o actividades de limpieza (depósitos en el lado de agua) el enfriador tiene que ponerse fuera de servicio, se debe:

- Cerrar la válvula de corte antes y después del enfriador en la línea de aceite y abrirse la válvula de control en el by - pass.
- Cerrar la válvula de corte antes y después del enfriador en la línea de agua.
- Drenar el aceite al estanque de drenaje y el agua al estanque de sentina.

De acuerdo a la normativa vigente, en cumplimiento con las enmiendas del convenio SOLAS de 1974, existen medidas relativas con respecto a la utilización de aceites inflamables, las que son aplicables a la utilización de aceite térmico como fluido de calefacción.

Estas medidas consideran que los medios de almacenamiento, distribución y consumo de aceites inflamables utilizados a presión en sistemas de calefacción serán tales que garanticen la seguridad del buque y de las personas a bordo. Se colocarán medios adecuados de recogida del aceite procedente de fugas para válvulas y equipos.

No se instalará ningún estanque de aceite donde sus fugas o derrames pueden constituir un peligro al caer sobre una superficie caliente. Como también tener medios seguros y eficaces para determinar la cantidad de aceite existente en el estanque.

Se deben diseñar medidas para evitar una sobre presión en todo estanque o elemento del sistema, incluidas las tuberías de llenado alimentadas por las bombas de a bordo. Las tuberías de ventilación y rebose y las válvulas de desahogo descargarán en un lugar en que no haya riesgo de incendio o explosión debido a la llegada del aceite, y no se conducirá a espacios para la tripulación, espacios para pasajeros ni espacios de categoría especial, espacios cerrados de carga rodada, espacios de máquinas u otros espacios análogos.

Las tuberías de aceite, sus válvulas y accesorios serán de acero u otro material aceptado (ver capítulo 5, pto. 5.2), el uso de tuberías flexibles esta limitado solo a consideraciones especiales y sus extremos serán de materiales piro-resistentes. El número de uniones de tuberías del sistema se reducirá al mínimo indispensable.

Las tuberías de aceite no estarán situadas inmediatamente encima o en las proximidades de instalaciones de temperatura elevada, y si la superficie que esté a una temperatura superior a 220°C y sobre la que pueda proyectarse aceite debido a una falla del sistema se hallará debidamente aislada. También se tomarán precauciones para evitar que el aceite a presión que pueda escapar de una bomba, un filtro o un calentador entre en contacto con superficies calientes. Siempre que sea posible, las

tuberías de aceite se encontrarán alejadas de superficies calientes, instalaciones eléctricas u otras fuentes de ignición y estarán apantalladas o debidamente protegidas por algún otro medio para evitar, que se proyecten chorros o fugas de aceite sobre las fuentes de ignición.

#### 4.7 Aceite térmico

El aceite térmico utilizado en este buque es fabricado por FAMM del tipo Texatherm 32, este aceite esta formulado para tener una alta transferencia de calor y alcanzar los estrictos requisitos de funcionamiento del sistema, incluso en sistemas con una circulación que caliente el fluido a temperaturas de hasta 210 °C.

La producción se basa en un proceso de alto refinado de aceite de base de parafina, esencialmente con una buena estabilidad térmica, el Texatherm 32 contiene aditivos seleccionados para proteger contra oxidación o corrosión el acero y cobre de las tuberías, y prevenir el espumado (Air Entrainment).

Características típicas

Código	21159
Color	1.0
Densidad (kg/l)	
a 15°C	0.857
a 100°C	0.799
a 200°C	0.733
a 300°C	0.666
Punto de inflamación (°C)	210
Horas para un TAN = 2.0 mgKOH/g	10.000
Punto de escurrimiento (°C)	- 21
Prueba de oxidación (Agua mar sintética)	Aprobado
Viscosidad, Cinemática, mm <sup>2</sup> /s (cSt)	
a 0°C	325
a 40°C	32
a 100°C	5,4
a 200°C	1,2
a 300°C	0,69
Índice de Viscosidad	110
Agua según Karl-Fischer, mg/kg	<50

Usos recomendados

El Texatherm 32 se recomienda calentar, como fluido de transferencia de calor, en un rango de temperatura sobre 15 °C hasta una temperatura máxima de carga de 320 °C. La capa de temperatura máxima recomendada es de 340 °C. (La capa de temperatura máxima se refiere a la temperatura que puede llegar a tener la superficie que esta en contacto directo con el lado externo de los tubos del serpentín en el calentador)

Los beneficios desarrollados del Texatherm 32 reúnen los requerimientos de los estándares de DIN 51522 - Q para los aceites de transferencia de calor, los cuales son:

- 1- Estabilidad térmica y baja oxidación permitiendo operar a altas temperaturas por periodos extendidos.
- 2- Excelente transmisión de calor en los procesos de buques o instalaciones que permitan el uso de un pequeño sistema de bombas de circulación, válvulas y serpentines (calentadores en espiral).
- 3- Alta conductividad térmica y la baja viscosidad, en las temperaturas relativas de operación, aseguran la alta razón de transferencia de calor con una limitada energía de bombeado.
- 4- La baja presión de operación a temperaturas elevadas minimiza la evaporación, la circulación del Texatherm 32 traba el vapor generado y evita la cavitación (este vapor es eliminado del sistema por los métodos antes mencionados), y elimina la necesidad de usar tuberías y equipos de alta presión.

#### **4.8 Tratamiento y mantención del aceite térmico**

El circuito consta de varios elementos que previenen los posibles cambios de las propiedades físicas del aceite producto de un sobrecalentamiento, pero producto de una filtración de agua hacia el sistema o contaminación con otro fluido (posible daño en un intercambiador de calor o filtración en alguna tubería en estanques de almacenamiento de combustible y aceite de lubricación) es difícil de detectar inmediatamente.

Existe un análisis de aceite que se realiza a bordo y otro que se envía a un laboratorio, este análisis incluye todos los aceites que se utilizan en el buque, estos análisis se realizan para determinar el desgaste que tiene el aceite al estar en servicio.

Cuando se realiza el análisis del aceite térmico del circuito debe ser posteriormente comparado con el análisis que se realiza en un laboratorio en tierra, este laboratorio no necesariamente tiene que ser el laboratorio del fabricante del aceite.

El análisis de aceite térmico se realiza anualmente y tiene como objetivo determinar la viscosidad, gravedad específica, TAN (Total Acid Number) y contenido de agua (se expresa en porcentaje).

Para realizar el análisis a bordo se utiliza un kit de Martechnic Hamburg. Los métodos de medición de este kit son realizados automáticamente, los instrumentos de medición están integrados a cada equipo por lo que los valores se observan en una pantalla digital. Esto asegura que los valores obtenidos tengan un margen de error del 3%. Además puede ser utilizado por personas sin capacitación, siendo un análisis simple, rápido y seguro.

A continuación se explica como se realiza un análisis de aceite utilizando el kit Martechnic Hamburg, el primer instrumento a utilizar es el Viscomar (ver figura 4.1).

El cual incluye un tubo de prueba, un hidrómetro y una bola de acero. El equipo mide 160x260x240 mm, pesa 15 kg y se conecta a red eléctrica de 220 volt.



Figura 4.1. EL Viscomar es un equipo electrónico de Martechnic Hamburg diseñado para realizar análisis de aceite a bordo del buque.

El primer paso es determinar la gravedad específica (GE) del aceite y se procede de la siguiente forma:

Se toma una muestra de aceite (200 ml aproximadamente) la que se utilizara para cada prueba (no se debe cambiar), para determina la gravedad especifica (GE) a la temperatura de 50 °C, para se debe seguir el siguiente procedimiento

- 1) Rellenar  $\frac{3}{4}$  del tubo del kit con aceite de la muestra (120 ml aproximadamente).
- 2) Introducir el tubo en el Viscomar y calentar el aceite hasta los 50 °C (El equipo tiene incorporado un calentador)
- 3) El equipo indica cuando el aceite alcanza la temperatura y se procede a introducir el hidrómetro al tubo, este se hundirá hasta una cierta profundidad, se extrae del tubo y se lee el valor de la GE. Ver figura 4.2



Figura 4.2. Hidrómetro y bola de acero

Obtenida la GE, el siguiente paso es determinar la viscosidad del aceite a 40 °C, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1) La misma muestra de aceite en el tubo, que se utilizo para determinar la GE, se le introduce la bola de acero de diámetro  $d = 30$  mm, se rellena de aceite el tubo y se tapa.
- 2) Se introduce el tubo en el Viscomar para calentarlo hasta los 50 °C, luego se ventea (con una válvula que trae la tapa, el tubo debe quedar sin aire).
- 3) Se le digita la GE obtenida anteriormente en el equipo, luego se saca el tubo del Viscomar, se invierte y rápidamente se vuelve a introducir en el Viscomar, de esta forma el sensor comienza a medir el tiempo que demora la bola en llegar al fondo.
- 4) El equipo entrega un valor automáticamente en la pantalla, pero como existe un margen de error por el tiempo que se invierte el tubo y comienza medir se recomienda repetir el paso anterior cuatro veces seguidas y así el equipo entrega un valor promedio.
- 5) El valor obtenido es la viscosidad a 50 °C, para obtener el valor de la viscosidad a 40 °C el equipo interpola automáticamente entregando así un valor final

El kit incluye una maleta con distintos accesorios (ver figura 4.3-a), los que se utilizan para realizar los análisis de TAN y % de agua.



a)



b)

Figura 4.3. a) La maleta de Martchnic Hamburg incluye todos los elementos necesarios para manipular las muestras de aceite y realizar los análisis de TAN y % de agua. b) Soluciones que se utilizan en los análisis.

Para determinar el TAN del aceite se utiliza un frasco metálico compacto con dos orificios en su interior, en su tapa tiene una pantalla digital en donde se leen los valores,

sus dimensiones son  $d = 73 \text{ mm}$ ,  $h = 113 \text{ mm}$  y peso 500 gr (ver figura 4.4). Usando el aceite de la muestra inicial (no la que se utilizo en el tubo) se sigue el procedimiento siguiente:

- 1) En el orificio más chico del frasco se colocan 10 ml de aceite.
- 2) En el segundo orificio se coloca solución ACID (botella roja de la figura 4.3-b) hasta la ranura que indica el orificio.
- 3) Se tapa el frasco y se agita durante 20 segundos para que reactive la solución.
- 4) Se presiona el botón de OK y en la pantalla se entrega el valor final.



Figura 4.4. Frasco para análisis de TAN del aceite.

En el análisis de % de agua se utiliza un segundo frasco de iguales características que el de TAN (ver figura 4.5), este instrumento además puede entregar el grado de agua en el aceite (escala de 0 – 1,0) pero la escala de medición más utilizada es de % de agua.



Figura 4.5. Frasco para análisis de % de agua del aceite.

El procedimiento de análisis de % de agua es el siguiente:

- 1) En el orificio más chico del frasco se colocan 10 ml de aceite de la muestra inicial.
- 2) En el segundo orificio se coloca solución WATER (botella azul figura 4.3-b) hasta la ranura que indica el orificio.
- 3) Se tapa el frasco y se agita durante 20 segundos para que reactive la solución.
- 4) Se presiona el botón OK y en la pantalla se entrega el valor final, con los botones con flechas se cambia al valor de grado de agua en el aceite.

#### **4.9 Mantención del sistema**

La mantención del sistema esta definida por el fabricante, la cual esta incluida en el manual de instrucción, este especifica que revisión debe ser realizada y se procede siguiendo los siguientes puntos:

Diario

1. Caldera
  - a. Exterior (posibles filtraciones)
2. Aceite Térmico
  - a. Nivel estanque de expansión
  - b. La temperatura en el estanque de expansión (no debe exceder los 70 °C continuos)
3. Quemador
  - a. Exterior de la instalación
  - b. Presión del combustible
  - c. Filtraciones
  - d. Filtro
  - e. Nivel del estanque de combustible
  - f. Mangueras
4. Caldera y Economizador
  - a. Chequear los interruptores de flujo por posible cierre de la válvula después de los calentadores. Tan pronto como la diferencia de presión en el interruptor de flujo comience a bajar su entrada, el quemador tiene que ser apagado automáticamente.
  - b. Los gases de escape que estén saliendo de la chimenea tienen que ser incoloros. Si no, el quemador tiene que ser ajustado otra vez para lograr una buena llama.
5. Estanque de expansión
  - a. Chequear nivel en el estanque de expansión

6. Bombas
  - a. Chequear filtraciones en las bombas de circulación
  - b. Chequear ruidos

7. Tuberías

- 7.1. Chequear todos:

- a. Flanges
- b. Juntas
- c. Compensadores
- d. Válvulas

#### Filtraciones de la instalación

En el caso que el aislamiento térmico este absorbiendo aceite térmico, el aislamiento tiene que ser removido inmediatamente y reemplazado por uno nuevo.

7.2. Chequear los filtros en el sistema de aceite térmico (solamente la primera semana después de la instalación; después de esta semana cada tres meses)

8. Panel de control

- a. Prueba de alarmas

9. Sistema de combustible

- a. Chequear contenidos del estanque de combustible
- b. Chequear filtraciones de las bombas de trasvasije de combustible
- c. Chequear ruidos

#### Cada mes

1. Quemador

- a. Limpiar inyector

2. Tuberías

- a. Limpiar filtros del sistema de aceite térmico

3. Caldera y Economizador

- a. Chequear el termostato de máxima temperatura del aceite térmico. Con este propósito se disminuye la señal de entrada del termostato mientras esta en servicio. Si la instalación tiene una parada y se encienden las luces de alarma de "máxima temperatura del aceite térmico". Volver el botón de ajuste del termostato al valor de la señal de entrada original.
- b. Chequear el termostato de máxima temperatura de los gases de escape. Con este propósito se disminuye la señal de entrada del termostato durante la operación. Si la instalación tiene una parada y se encienden las luces de alarma de "máxima temperatura de los gases de escape". Volver el botón de ajuste del

termostato al valor de la señal de entrada original. No olvidar presionar el botón de reset en el termostato.

#### 4. Bombas

- a. Lubricación bombas de circulación
- b. Chequear la función de stand-by automático de la bomba de circulación cerrando lentamente la válvula en el lado de presión de la bomba en servicio. La segunda bomba debe entrar en servicio automáticamente.
- c. Poner en servicio la bomba de abastecimiento y asegurar por si mismo un buen funcionamiento.
- d. Poner en servicio la segunda bomba de trasvasije de combustible y asegurar por si mismo un buen funcionamiento.

#### Cada tres meses

##### 1. Quemador

- a. Chequear o medir los gases de escape

CO<sub>2</sub> – aproximadamente 9 – 12 %

La acumulación de hollín de acuerdo con Bacharach máximo 1 – 2

La capacidad de la instalación es 350 kW. Sobrecarga del economizador (intercambiador de calor) puede causar golpes del aceite térmico y dañar los serpentines.

##### 2. Estanque de expansión

- a. Puede ocurrir que por condensación del agua y vapores en el aire, entre agua al sistema de aceite térmico. Para remover esta agua, abrir la válvula de drenaje del estanque de expansión y asegurar que no salga más agua.

##### 3. Filtros

- a. Limpiar los filtros del sistema de aceite térmico
- b. Limpiar los filtros del sistema de combustible
- c. Limpiar los filtros de las bombas de trasvasije de combustible

##### 4. Sistema de combustible

- a. Chequear que no exista agua en el estanque de suministro de combustible

#### Cada año

##### 1. Aceite Térmico

- a. Tomar una muestra de aceite térmico y chequear sus condiciones

Importante: Esta muestra tiene que ser tomada en una parte de la instalación que este principalmente en movimiento, Ej.: en la válvula de drenaje de la bomba de circulación o en un grifo de un indicador de presión de las bombas.

2. Instalación del quemador
  - a. Limpiar el impulsor del soplador
  - b. Reemplazar los electrodos de encendido
  - c. Reemplazar el visor de llama
  - d. Chequear el servomotor del regulador de aire
  - e. Reemplazar las fotoceldas
  - f. Limpiar la entrada de aire

El ingeniero a cargo de la mantención debe estar conciente de que debe cumplir con los pasos antes mencionados y además anotar en la bitácora de sala de máquinas cualquier anomalía o reparación realizada, con la finalidad de poder tener un historial de la mantención del sistema.

Aunque no viene indicado dentro de la mantención periódica, si puede ser necesario realizar un limpiado del serpentín tanto de la caldera como el del economizador, cuando la acumulación de hollín es excesiva en los tubos, y este no puede ser removido de otra forma.

Si se procede a realizar un lavado, este se realiza siguiendo el siguiente procedimiento:

#### Limpiado del serpentín de la caldera

Con una caldera pequeña normalmente no es necesario el limpiado del serpentín, pero en el caso de que este sucio, se debe limpiar con agua con un aditivo alcalino, vapor de limpieza o agua jet a alta presión.

En el exterior en el fondo de la caldera, hay dos conexiones roscadas las que tiene que estar abiertas para que el agua con remanentes de suciedad pueda ser drenada por aquí.

La carcasa puede ser removida fácilmente sin herramientas especiales, teniendo cuidado con el peso de la carcasa, porque esta provista de un revestimiento refractario, por lo que se recomienda el uso de tecles en la maniobra. Después de remover la carcasa se puede limpiar las partes de radiación y convección. Cuando se monta la carcasa se debe tomar el cuidado del buen estado de las juntas para evitar filtraciones de los gases de escape.

Es importante que después del limpiado se encienda el quemador lo más pronto sea posible y poner la instalación en servicio a la temperatura de operación para así evitar corrosiones sulfúricas.

### Limpiado del economizador

El economizador tiene una alta velocidad de gases de escape y tuberías lisas, esto genera un muy buen efecto de autolimpiado. También al limpiar el turbo sobrealimentador del motor principal con agua, se produce como resultado un aumento de la velocidad de los gases en el economizador que genera un efecto de limpieza.

Para realizar el lavado del economizador este tiene una tubería de agua de lavado en la parte inferior, y para prevenir corrosiones sulfúricas en el economizador, este debe ser lavado lo menos posible y no se recomienda que el agua utilizada en el lavado este en contacto frecuente con los materiales del economizador. Como método de prevención, y que evita el lavado excesivo del calentador, este modelo permite que con el uso de un aditivo químico en polvo (que remueve el hollín) se mantengan las superficies parcialmente limpias. Este aditivo se aplica diariamente a través de un by-pass en la tubería de agua de lavado, aunque no esta dentro del plan de mantención establecido por el fabricante, es un método seguro de prevenir la acumulación de hollín en el serpentín.

Cuando se limpia del economizador, por un exceso de acumulación de hollín, la tubería de drenaje debe ser abierta para prevenir que con el lavado con agua un flujo vuelva al turbo, esta tubería llega al estanque de fango.

Para obtener buenos resultados de limpiado, el limpiado con agua debe satisfacer las siguientes condiciones:

- La presión del agua debe estar entre 2 y 4 bar.
- La temperatura del agua debe ser entre 50 °C y 70 °C.
- El agua debe ser alcalina con un valor de Ph sobre 11. Cuando no es posible obtener la cualidad antes mencionada el agua de lavado puede usarse en su lugar agua fresca.
- El motor principal debe correr a una velocidad normal.
- La temperatura mínima del aceite térmico debe ser de 140 °C.

El intervalo de tiempo entre los lavados con agua debe ser determinado empíricamente. Un buen indicador puede ser obtenido por la medición de la temperatura de los gases de escape con una caldera limpia, y entonces haciendo una nota del aumento diario. Asumiendo que la temperatura de los gases de escape es de 350 °C, el motor principal tiene un suministro calórico aproximado de 630 kW por cada inyector en servicio.

#### 4.10 Hervido del sistema

El concepto de hervido de un sistema de aceite térmico se refiere al procedimiento al que se somete un planta nueva o a la que se le a realizado alguna modificación importante de alguno de sus equipos, la finalidad del hervido es el de remover todos los materiales extraños que puedan existir en el sistema como grasa, compuestos preservantes, residuo de gases o agua y fragmentos livianos.

Cuando es necesario realizar un hervido del sistema:

- Durante la primera puesta en servicio.
- Cuando la instalación a tenido una parada por un largo periodo (más de 4 semanas).
- Después de reemplazar el aceite térmico.
- Después de cambiar algún equipo o tubería dañada.

El procedimiento para realizar el hervido es el siguiente:

- Abrir las válvulas necesarias en el circuito para que este se pueda poner en servicio.
- Chequear el nivel en el estanque de expansión, el nivel tiene que estar aproximadamente 100 mm sobre el nivel de la alarma de bajo nivel.
- Chequear el nivel del aceite térmico en los cojinetes de las dos bombas de circulación de aceite. El cojinete del eje de la bomba es lubricado con aceite térmico, chequear que la alineación de las bombas sea la correcta (servicio y stand-by).
- Chequear la válvula de ajuste mínimo del interruptor diferencial de flujo (FIA) la señal de entrada se ajusta en 0,22 bar. Chequear la señal de entrada mínima del segundo control del mismo interruptor diferencial de flujo la señal de entrada debe ser de 0,05 bar (solamente para iniciar proceso con un aceite térmico bajo la temperatura de 70 °C)
- Ajustar la carga parcial del controlador de temperatura en 100 °C. Ajustar la máxima carga del controlador de temperatura sobre 10 °C bajo esa carga parcial (para evitar un calentamiento brusco del sistema que produzca golpes del aceite al dilatarse).
- Ajustar el termostato de máxima temperatura (TA) de la caldera en 220 °C.
- Ajustar el termostato de la chimenea de gases de la caldera en 280°C para el tiempo de inicio. Cuando la caldera esta en servicio su temperatura operacional se ajusta en el termostato de la chimenea de gases en un valor que es 50 °C superior que la temperatura medida en la chimenea de gases.

- Ajustar el interruptor de presión que ejecuta el cambio automático de las bombas de circulación cuando una tuvo que ser sacada de servicio en 4 bar.
- Ajustar el termostato de máxima temperatura (en el lado del aceite) del economizador en 220 °C.
- Chequear el funcionamiento del controlador de temperatura (TIC) y de la válvula de tres vías (enfriador).
- Ajustar el controlador de temperatura del enfriador de descarga en 205 °C.
- Chequear el funcionamiento del controlador de presión (PIC) y la válvula de control (controlador de flujo mínimo).
- Ajustar el controlador de presión en 2,4 bar sobre la presión estática del sistema para un tiempo de partida. Cuando la planta tiene que alcanzar su temperatura de operación, para alcanzar el valor correcto, el controlador de presión se ajusta con el siguiente procedimiento:
  - a) Suprimir todos los consumidores de calor.
  - b) Ajustar la señal de entrada de manera tal de asegurar un flujo mínimo a través de la caldera y el economizador.
- Chequear el circuito de combustible del quemador.
- Poner en servicio la bomba de circulación de agua del enfriador y chequear la temperatura de descarga del agua de enfriamiento, no debe haber un aumento de temperatura.
- Chequear la posibilidad de suministro de calor a los consumidores de calor durante el proceso.
- Activar el interruptor de encendido de la caldera.
- Poner en servicio las bombas circulación del aceite térmico.
- Activar el interruptor de encendido del quemador.

Necesariamente se activará el sistema de seguridad y el manejo automático del quemador. Así el quemador se encenderá automáticamente y permanecerá en su posición de baja carga mientras la temperatura de retorno del aceite térmico este más baja que la señal de entrada ajustada como temperatura mínima del termostato.

Después de ser obtenido el flujo mínimo a través del calentador el interruptor del quemador pasará a su posición de máxima carga.

El quemador tiene la siguiente secuencia de encendido automatico:

Purgar la cámara de combustión – ignición – operación.

Se debe mantener la temperatura del aceite térmico en 100 °C por media hora. El hervido del sistema se realiza con las válvulas de hervido de la caldera y economizador abiertas para arrojar el aire a través del estanque de expansión y el

estanque colector de drenaje. También permitir la desaireación del sistema con las válvulas disipadoras de aire si las hay.

Cuando no se ven fluctuaciones de presión en los indicadores de presión de las bombas de circulación y el manejo de flujo es estable, la temperatura del sistema se subirá en aproximadamente 10 °C. El controlador de temperatura se ajusta entonces en el valor de 110 °C y se mantiene esta temperatura por más o menos 15 minutos.

Cuando no hay más fluctuaciones de presión vistas, se sube la temperatura otra vez en 10 °C y se prueba la planta en la nueva temperatura ajustada por más o menos 15 minutos. Se debe repetir este proceso hasta que la temperatura de operación de 185 °C sea alcanzada. Mantener el sistema en 185 °C hasta que no se vean fluctuaciones de presión en los indicadores de presión de las bombas de circulación y el flujo seguro se mantenga por si solo.

Estas graduaciones de temperatura y los tiempos indicados son valores de referencia. El hervido del sistema debe ser hecho lentamente y cuidadosamente.

Si hay agua en el sistema, y la degradación de temperatura tomada es también grande, puede de repente ocurra una vaporización. La presión del vapor empujará el aceite térmico en el estanque de expansión. Cuando el estanque de expansión no puede recibir esta presión sobre en el aceite térmico, el aceite sale del estanque a través de la tubería de sobre flujo hacia el estanque colector de drenaje, el vapor es liberado a la atmósfera. Es por este fenómeno que es llamado hervido. Es necesario descargar este escape de aceite térmico caliente hacia un lugar seguro, por ejemplo en este caso colectando este aceite en el estanque de drenaje localizado en un nivel inferior, ya que, un exceso de presión puede activar los sistemas de seguridad que interrumpirán el proceso de hervido.

Para acelerar el proceso de hervido, se recomienda que los calentadores y los consumidores de calor deban ser hervidos uno por uno, es decir, al encender la caldera se recomienda mantener incomunicado el economizador y los consumidores de calor, cuando se alcanza la temperatura de operación se comunica el economizador, existirá una baja de temperatura y presión, estabilizado el sistema se procede a entregar calor a paulatinamente a cada uno de los consumidores.

Durante el proceso de hervido el agua presente en el estanque de expansión debe ser drenada.

Los filtros de las bombas de circulación posiblemente deban ser limpiados después del hervido, un filtro sucio puede ser comprobado por la reducida diferencia de presión y por la reducción de la cantidad de líquido que pasa a través del calentador (flujo metro FIA).

Si es necesario regularmente abrir las válvulas de by-pass de la caldera, el economizador, el enfriador, el controlador de flujo mínimo y los consumidores de calor por un momento durante el hervido para descargar el agua presente.

Una vez terminado el hervido se deben cerrar y bloquear las válvulas de hervido. Esto lo establece el fabricante para una larga vida útil del aceite térmico.

Cuando el sistema ya ha alcanzado la temperatura operacional los siguientes componentes deben ser ajustados:

Ajustar la válvula de control en la cañería de by-pass de la caldera. Esta tubería de by-pass tiene un doble propósito:

- 1) Admitir parte de la cantidad de aceite térmico en circulación cuando el calentador esta en operación. Esto ocurre cuando una gran cantidad de aceite térmico esta fluyendo a través del economizador más de lo que a través de la caldera.
- 2) Mantener la cantidad de circulación por el economizador, cuando la caldera esta fuera de servicio.

La posición de la válvula de control debe ser como para realizar un flujo nominal del aceite térmico a través de la caldera. La indicación del interruptor diferencial de presión de la caldera debe estar 0,4 bar.

Ajustar el economizador, ya que, la caldera y el economizador están conectados en serie. Por lo que en un flujo nominal la diferencia de presión de la válvula de control de flujo (FIA) es de 0,4 bar. Es importante que por medio de una válvula de control común o por medio de una válvula de control separadora, el valor antes mencionado sea obtenido.

Ajustar el controlador de flujo mínimo y el procedimiento es el siguiente:

- 1) Suprimir todos los consumidores de calor.
- 2) La señal de entrada tiene que ser ajustada de manera tal de mantener el flujo mínimo a través de la caldera y el economizador.

Ajustar la válvula de control en la tubería de by-pass para la válvula de control de tres vías en el enfriador, por medio del manómetro de manera tal de obtener un descenso de presión en la tubería de by-pass que sea igual que el descenso de presión del enfriador.

Ajustar los consumidores de calor para cumplir un triple propósito:

- 1) Prevenir un corto circuito (en el lado del flujo).
- 2) Mantener una temperatura de suministro constante del aceite térmico a los consumidores de calor.

- 3) Prevenir que la temperatura de retorno del aceite térmico sea menor que 140 °C. Una temperatura menor de 140 °C ocasionaría corrosiones sulfúricas en el calentador.

Los consumidores de calor, con la excepción de los estanque (estanques de bunker, estanques de aceite lubricante, y así sucesivamente) deben ser ajustado por medio de la válvula de control en la línea de retorno, en una diferencia de temperatura entre el suministro y la línea de retorno de 40 °C. Los estanques deben ser ajustados de manera tal de crear la posibilidad de transferir el calor requerido y prevenir la caída de la temperatura común de retorno para el calentador por debajo de 140 °C. La diferencia de temperatura entre el suministro y la temperatura de retorno es en general graduada en 40 °C.

## **Capítulo V: Análisis de antecedentes**

### **5.1 Generalidades**

Presentado el funcionamiento del sistema de calefacción con aceite térmico en un buque porta contenedores, cuales son sus principales equipos y elementos de control, explicar como se genera la transferencia de calor al fluido térmico, las características del aceite térmico y cuales son las mantenciones que se deben seguir para lograr un funcionamiento en optimas condiciones, se explicaran los aspectos y factores a considerar al diseñar una planta de aceite térmico, y que especifican las casa clasificadoras para construir dicha planta. Para así determinar las principales ventajas y desventajas de utilizar este sistema de calefacción a bordo. La forma de establecer estas ventajas y desventajas es estableciendo un nexo comparativo con una caldera a vapor, ya que, el aceite térmico es la alternativa actual del vapor. Además, se explicaran algunas características que deben cumplir los operarios del circuito, como también entregar una información del campo de aplicación que puede tener el uso de aceite térmico.

### **5.2 Aspectos a considerar al momento de diseñar una planta de aceite térmico**

Desafortunadamente, el diseño de una planta de aceite térmico no es tan sencillo debido a la variedad de sistemas de transferencia térmica existentes, siendo de suma importancia no diseñar o especificar, un equipo más grande de lo requerido, y por ningún motivo, uno inferior a los requerimientos. Para un adecuado diseño las casas clasificadoras establecen valores de presión y temperatura de diseño y dimensiones permitidas. A continuación se dan varias reglas a tener en cuenta, que facilitarán el diseño y que se complementaran con las normas vigentes:

1.- Conocer los requerimientos energéticos. Escoger el calentador correcto para una aplicación específica depende de los requerimientos de energía para el proceso. La caldera y/o economizador no debe ser más grande que los requerimientos, pero definitivamente tampoco debe ser inferior. Por consiguiente, una vez realizado los cálculos asesorado por el fabricante del equipo, es importante agregar un margen del 15 a 20%.

2.- Configuración del serpentín. Los serpentines más frecuentes de una caldera son del tipo helicoidal. El emplear varios serpentines helicoidales en un calentador es mejor que un serpentín solo, ya que serpentines múltiples tienen una superficie de transferencia de calor mayor. Los gases de la combustión en un sistema de doble serpentín pasan por tres superficies de los tubos antes de ser evacuado a la atmósfera.

Esta configuración permite tener un salto térmico menor en la pared del tubo, prolongar la vida útil del aceite y también reducir el consumo de combustible. Por ejemplo, un sistema del doble serpentín llega a ser del 5 a 10% más eficaz que el de calentadores con un solo serpentín.

3.- Volumen de la cámara de combustión. La cámara de combustión de la caldera o calentador del aceite térmico se debe diseñar según las dimensiones de la llama del quemador instalado para el combustible seleccionado. La cámara de combustión previene que la llama arda muy cerca del serpentín y permite que la llama se extinga completamente antes del final de la cámara. De esta forma se logra que la temperatura en la película del aceite sea la adecuada, extendiendo de esta forma la vida útil del aceite térmico.

4.- Temperatura de la película de aceite. La temperatura de la película de aceite se refiere a la temperatura del aceite en la superficie (o pared) de los tubos del serpentín. Esta temperatura se calcula basándose en la temperatura de salida de los gases, la temperatura del aceite y el calor específico del aceite. Si la cámara de combustión es demasiado pequeña (o si el flujo del aceite no es turbulento), la temperatura de la película puede ser entre 38 a 93 [°C] más alta que la temperatura del aceite. Esta situación causa una degradación rápida y acorta la vida útil del aceite.

5.- Cálculo del área de calefacción. Calderas de igual tamaño comercializadas por fabricantes diferentes no tienen necesariamente la misma área de calefacción. Los cálculos del área de la superficie son importantes cuando se trata de un calentador de aceite térmico, ya que tienen un efecto significativo en la temperatura final del aceite, la temperatura de película y la eficiencia térmica (rendimiento térmico).

6.- Tomar en cuenta la temperatura de diseño. Se debe seleccionar la temperatura del aceite térmico basado en la temperatura del proceso y en las demandas de energía, la temperatura de diseño permitido no debe exceder los 400 °C. Operar con el aceite a temperaturas elevadas acortaría significativamente la vida útil del aceite térmico y reemplazar el aceite térmico antes de tiempo en una instalación es un proceso caro y que involucra tiempo. Dado que existe una gran variedad de aceites térmicos en el mercado, cada uno con sus propias características típicas, se debe estudiar muy bien el campo de aplicación y comparar con las condiciones operativas. La temperatura máxima que puede alcanzar el aceite debe estar por sobre la temperatura máxima de la operación, de forma tal de minimizar la degradación del aceite térmico.

7.- Bombas, válvulas, filtros y ajustes deben estar bien especificados. En una condición de bajo flujo, el serpentín y aceite sufren un recalentamiento, ocasionando un deterioro tanto en la caldera como en el aceite.

8.- No olvidar aspectos de seguridad. Diferentes sistemas de calefacción del aceite térmico no requieren contar con un operador de jornada completa, pero se debe tener el cuidado y ejercer el mantenimiento preventivo, para un funcionamiento seguro.

9.- Control de flujo. Cada calentador de aceite térmico debe emplear un controlador de flujo como instrumento de seguridad para proteger el calentador. En una condición de bajo flujo, el serpentín y aceite sufren un recalentamiento, ocasionando un deterioro tanto en la caldera como en el aceite. Otra forma de controlar el flujo es medir la presión diferencial, método que involucra un menor costo, pero que también puede ser menos exacto.

10.- Control del quemador. Un encendido controlado del quemador mantiene la temperatura del aceite dentro de los rangos deseados. Sin embargo, una sobre temperatura del aceite térmico puede ser descubierta mediante un termostato instalado en la chimenea de escape de los gases de la combustión. Si existe un aumento en la temperatura de los gases, inmediatamente debe ser cerrada la fuente de energía. El quemador también debe equiparse con un explorador de llama, para descubrir fallas en la formación de la llama.

11.- Estanque de expansión. Debe estar localizado en el punto más alto del sistema y absorber cualquier exceso de aceite térmico generado por la expansión de este con la temperatura. Para evitar la oxidación, se debe mantener la temperatura del aceite en el estanque de expansión por debajo de 50 °C y nunca superar los 70 °C. Los circuitos de aceite térmico cerrados están sujetos bajo presión y el estanque debe ser diseñado por lo menos para 8 bar, usando cabezas cóncavas. También debe ser equipado, por lo menos con un interruptor de bajo nivel, para descubrir cualquier pérdida de aceite.

12.- La tubería de aireación es una opción útil para separar el aire o el vapor del agua del aceite circulante. Esto puede ser crítico durante la primera puesta en servicio del sistema cuando el circuito contiene aire y agua condensada.

13.- Fabricación bajo normas. Asegúrese de que la caldera esté diseñada bajo normas establecidas por las casas clasificadoras. Cuando se compra una caldera, el fabricante debe incluir los aspectos de seguridad requeridos en el sistema, estando bajo norma se puede asegurar que se obtendrá una vida de servicio más larga para la caldera y el aceite térmico.

14.- Otras consideraciones. Los combustibles utilizados en los sistemas de calefacción del aceite pueden ser variados, pero en uso naval es recomendable utilizar el que más fácil acceso se pueda tener. Cuando la calidad del combustible disminuye, se requiere diseñar la caldera con tapas de fácil desmontaje para una adecuada limpieza y mantención. Es importante para el usuario tomarse algo de tiempo antes de adquirir una caldera averiguando proveedores potenciales, reputación, referencias y habilidades de

diseño, todos factores importantes. Un sistema eficaz de aceite térmico debe operar por 20 a 30 años, lo que justifica por sí solo la dedicación en tiempo para adquirir y/o diseñar un sistema eficiente, el que se pagará por sí mismo en ahorro del combustible, calidad y bajo nivel de mantenimiento.

15.- Con respecto a los materiales de las tuberías y accesorio, las casas clasificadoras permiten para este sistema de calefacción las clase I y la clase II, con la precaución de que la clase II tiene un rango de diseño que no debe exceder los 7 bar de presión y no someterse a temperaturas superiores a los 150 °C. Se especifica que para tubos del calentador se pueden utilizar aleaciones de acero-carbono, acero carbono-manganeso y acero cromo-molibdeno, la utilización de acero inoxidable se permite solo si cumple con los estándares establecidos por la casa clasificadora. Recordar que la máxima temperatura de diseño es de 400 °C por lo que la selección ira de acuerdo a la temperatura de diseño del sistema. Las tuberías y tubos pueden ser soldados o sin costuras, y las uniones se deben reducir al mínimo requerido. El material de las tuberías puede ser cualquiera de las aleaciones antes mencionadas.

La utilización de aleaciones de acero-carbono u otra aleación permitida, cumple con las pruebas de fabricación, supervisión y certificación establecida por la casa clasificadora (la que regula % de contenido en la aleación, métodos de fabricación y test de resistencia)

### **5.3 Ventajas**

La manera de poder apreciar las ventajas del uso de aceite térmico como medio de calefacción es realizando una comparación con sistema de calefacción por vapor, el cual es la alternativa real de uso a bordo para satisfacer la demanda energética.

Al no utilizar vapor, se disminuye la producción de agua dulce lo que implica reducir el tamaño de la planta evaporadora y estanques de almacenamiento de agua dulce. En la práctica al producir agua dulce a bordo, en base a agua de mar, es imposible remover la totalidad de los elementos sólidos, por lo que el agua para la caldera a vapor tendrá un número de impurezas conocido a los cuales habrá que agregar las impurezas que se arrastran desde los estanques de almacenamientos.

Estas impurezas se acumularan en la caldera y es imposible que estas abandonen, por si mismas, el sistema en servicio con un ciclo de vapor. El tratamiento del agua de la caldera es inevitable y si no se realiza correctamente producirá daños en el sistema.

La utilización de aceite térmico evita problemas de tratamiento de agua como:

- Descalcificación.
- Corrección de Ph.
- Purgas continuas.
- Extracciones de lodos.
- Exceso de alcalinidad.
- Oxidación.
- Corrosión.
- Exceso de oxígeno.
- Ahorro en combustible (Por ausencia de corrosiones e incrustaciones)
- No existe relación Presión – Temperatura.
- No hay pérdidas energéticas por cambio de fase.

En una caldera marina se realizan purgas y extracciones, estas obligan a rellenar la caldera para que mantenga su nivel de servicio. El sistema de aceite térmico no requiere de purgas ni extracciones, por lo que el sistema no necesita ser rellenado continuamente.

Se tiene un mayor grado de seguridad por ser un sistema que opera automáticamente, los equipos de control pueden prevenir situaciones de emergencia.

Su simple operación de encendido y apagado facilita su puesta en servicio.

Otra ventaja de este sistema ocurre en los estanques de doble fondo de almacenamiento de IFO del buque (los que son de difícil acceso e inspección), ya que, en el caso de producirse pequeñas fugas de aceite en estos estanques, no se genera contaminación del combustible y a su vez puede ser quemado en la combustión.

Para cuantificar la mayor eficiencia del uso del sistema de aceite térmico, se evaluarán dos calderas de igual capacidad y utilizando el mismo modelo de quemador (figura 5.1).

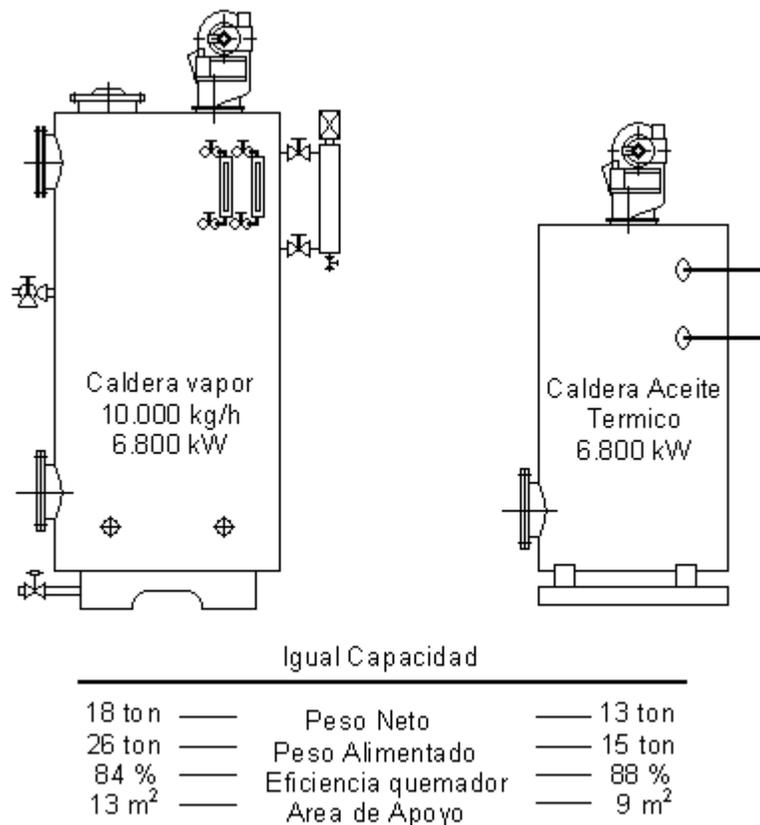


Figura 5.1.

Una caldera a vapor utiliza mucho más espacio del que ocupa una caldera de aceite, al existir una circulación constante del aceite, no se requiere una gran cantidad de fluido contenido en la caldera y el volumen requerido es proporcional a la superficie de calefacción.

La superficie de calefacción se optimiza al no existir un cambio de fase, no existen pérdidas por evaporización, el vapor incluso requiere ser recalentado en algunos sistemas de mayor demanda energética.

En el siguiente cuadro se aprecia una diferencia de un 10% en la eficiencia térmica de una caldera a vapor y una caldera de aceite.

Vapor		Aceite Térmico	
Eficiencia de la caldera	84 %	Eficiencia del calentador	88 %
Perdida por purgas	5 %		
Perdidas por evaporación	1%		
Eficiencia térmica	78 %	Eficiencia térmica	88 %

Un sistema de aceite térmico asegura una transferencia de calor a alta temperatura y baja presión. Si se considera que la presión de servicio del sistema no variara a pesar del aumento de temperatura del aceite, ofrece un factor de seguridad mucho mayor que un sistema de vapor, en la figura 5.2 se puede apreciar que el vapor

tiene un gran aumento de presión cuando este alcanza temperaturas críticas, no así el aceite mantendrá su presión aunque este alcanzando su temperatura crítica (340 °C).

Además no tiene problemas de congelación en las temporadas de invierno.

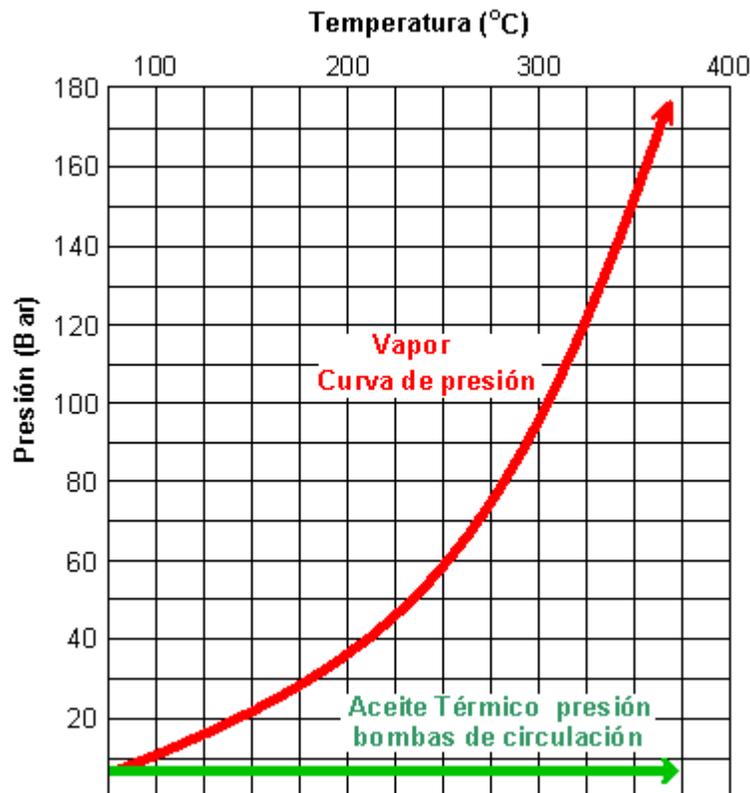


Figura 5.2. Cambio de presión con el aumento de temperatura.

Un menor mantenimiento del sistema, ya que las tuberías, válvulas, filtros, etc. tienen un menor desgaste por efecto de corrosión y oxidación, tampoco se presentaran incrustaciones al interior de los tubos de los serpentines.

Otro factor importante es la reducción de los costos de mantención, los cuales se observaran a lo largo de la vida útil de este sistema. En la figura 5.3 se muestra el aumento de los costos de mantención de un sistema a vapor, principalmente porque al correr de los años, algunos elementos de este sistema deberán ser reemplazados por uno nuevo.

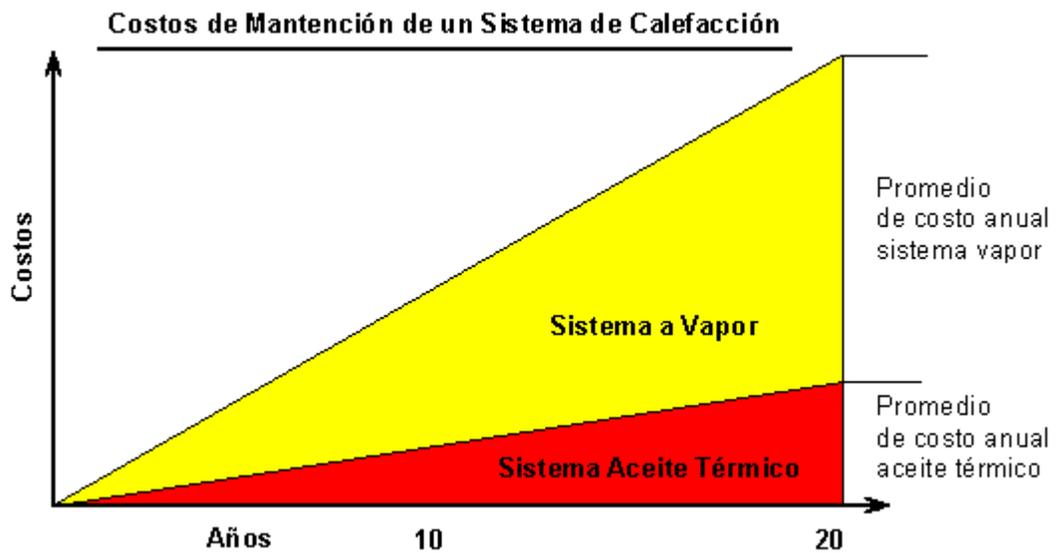


Figura 5.3. Comparación de los costos de mantenimiento de cada sistema.

#### 5.4 Desventajas

Se necesitan enormes cantidades de aceite para ser bombeado debido a la baja transferencia de calor apreciada al estar en servicio la planta, a altas temperaturas se minimiza el calor recuperador de los gases de escape en el economizador.

Se debe asegurar una circulación forzada del aceite, es necesario contar con doble equipos de circulación del fluido (bombas de circulación). Una avería en las bombas producirá un paro de emergencia del sistema, impidiendo su puesta en servicio hasta reparar la falla.

El controlador de temperatura del flujo del aceite es complicado y costoso, el sistema no puede operar si no funciona correctamente.

El aceite térmico es costoso y tiene que ser remplazado frecuentemente si los operarios no cumplen con las normas de mantenimiento del sistema. Se debe recordar que el sobrecalentamiento del aceite térmico varía las características físicas de este.

Existe riesgo de corrosión por alta temperatura al momento de calentar ácidos en los aditivos químicos que pueda contener el aceite.

Maniobrar una fuga en un tubo dentro de la caldera resulta un proceso complejo, que puede requerir incluso la asistencia técnica del fabricante.

El costo inicial de instalar un sistema de aceite puede llegar a superar el 20% comparado con un sistema de vapor de iguales características.

#### 5.5 Los operadores

Es verdad que este es un sistema que está en servicio automático y que no requiere de la asistencia de un operador de jornada completa. El plan de mantenimiento especificado por el fabricante, es una mantenimiento preventiva, por lo que si no es

cumplida se puede estar presente a fugas de aceite, fallas en los elementos de medición y control, exceso de acumulación de hollín en los serpentines, tanto de la caldera como economizador, que claramente aumenta las posibilidades de sufrir una avería o un incendio con las consecuencias que este traería, como una pérdida total del equipo.

Es por estas razones que un operario del sistema debe estar calificado, tener el criterio suficiente del riesgo que corre él como sus compañeros de trabajo, y estar consiente de que a pesar de contar con un plan de mantenimiento, es también muy importante comprender y entender como funciona cada equipo y elemento que compone este sistema.

Asumir posibles riesgos y utilizar los elementos de seguridad que se dispongan antes realizar cualquier trabajo de mantenimiento es una responsabilidad personal, manejar las herramientas adecuadas y prestar especial atención tanto al despiece como armado de cualquier equipo, ayuda considerablemente a reducir fallas y accidentes por errores humanos.

## **5.6 Campo de aplicación**

En un comienzo la utilización de un aceite térmico produjo muchas dudas, principalmente por el hecho de operar un fluido combustible como transportador de calor, en la actualidad con las tecnologías desarrolladas el manejo del aceite térmico se ha vuelto más seguro.

La industria del petróleo y del gas requiere el uso de un sistema de fluidos de transferencia de calor en varias áreas.

Los fabricantes Therminol producen un aceite térmico para las plataformas marítimas, utilizado para la calefacción de las instalaciones y la regeneración de los glicoles que se usan para extraer el agua del gas natural producido.

Algunas refinerías usan aceite térmico de alta transferencia de calor para calentar los hervidores y las columnas para la destilación del petróleo y de los productos de petróleo. Las estaciones de bombeo ubicadas a lo largo de los oleoductos usan sistemas de calefacción de aceite para controlar la viscosidad del petróleo que pasa por la línea.

Las compañías que reprocesan y luego reciclan los aceites lubricantes usan el aceite térmico en las operaciones de destilación a alto vacío y a muy alta temperatura.

Un sistema de calefacción por aceite térmico es una parte integral de todo el sistema de procesamiento de petróleo y gas, tanto en la producción inicial, como en el transporte, la refinería y el reciclaje.

A modo de ejemplo: Las plataformas marinas usan generalmente el Therminol 55 (rango de operación -26 °C a 287 °C) debido a su costo económico y a su larga duración. Para climas de bajas temperaturas, tales como en el Mar del Norte, el Canadá o Alaska, usan Therminol 59 (rango de operación -45 °C a 315 °C) debido a sus excelentes características de bombeo a baja temperatura. El Therminol 66 (rango de operación -1 °C a 343 °C) y el Therminol 75 (rango de operación 79 °C a 385 °C) se usan cuando se requieren muy altas temperaturas de procesamiento y un fluido con estabilidad térmica superior de larga duración.

Existen buques tanques que ya utilizan sistemas de calefacción con aceite térmico, como el buque "Nivaria", cuyos datos se dan a continuación:

#### Datos Generales

Productos petroleros, doble casco, matrícula de Santa Cruz de Tenerife, indicativo de llamada: E.H.K.O.

Número IMO: 7424231

Construido en: Astilleros del Cantábrico (Gijón)

Número de construcción: C-126

Fecha de entrega: 16-10-1987.

Sociedad De Clasificación: Lloyd's Register of Shipping Clase: +100 A1 OIL TANKER, ESP +LMC UMS

#### Dimensiones principales

Eslora total:	112,22 m
Eslora entre Pp:	103,70 m
Manga de trazado:	16,90 m
Puntal de trazado:	8,00 m

Información de franco bordo de verano:

Calado:	6,732 m
PM:	6.454 ton
Desplazamiento:	8.783 ton

Calefacción de la carga: una caldera de aceite térmico vertical, marca: WANSON, capaz de mantener la temperaturas en los tanques de crudo a 160 °C y en los tanques de Fuel Oil a 60 °C.

La barcaza autopropulsada Spabunker Veinte de suministro de combustible a buques (productos IFO, DO y GO) con punto de inflamación mayor de 60 °C (figura 5.5).



Figura 5.5.

Esta construida de acuerdo con la normativa española y de acuerdo con la Sociedad de clasificación BV I 3/3 E, +OIL TANKER ESP – Flash point above 60°C, Coastal Waters, +AUTMS, +MACH.

Fecha de entrega: 15-02-2002.

Sus dimensiones y características principales son:

Eslora Total:	82,07 m
Eslora entre Pp:	76,77 m
Manga:	16,25 m
Puntal:	7,60 m
Calado de carga:	6,35 m
Peso muerto máximo:	4.999 ton
Capacidad de HFO:	4.325 m3
Capacidad de MDO/GO:	720 m3
Capacidad de Agua Dulce:	40 m3

Los tanques de HFO están equipados con serpentines para calefacción de la carga. El buque para este servicio cuenta con una caldera de aceite térmico de aproximadamente 575.000 Kcal/h de capacidad.

## 6. Conclusiones

La base de esta tesis se planteo con el objetivo de dar a conocer que es un sistema de calefacción mediante aceite térmico en un buque porta contenedores, y cuya función es satisfacer la demanda de energía calórica requerida por el buque en sus distintos procesos. Por esta razón se planteo un análisis teórico del proceso de transferencia de calor al cual esta sometido el aceite térmico al estar en servicio el sistema, de este análisis se puede concluir que:

- Para plantear una solución para un problema diseño térmico, es necesario considerar los procesos de transferencia de calor desde un punto de vista macro, por lo que es necesario cuantificar los procesos de conducción, radiación y convección. Siendo los dos primeros de resultados confiables, no así el último, cuyos resultados dependerán de la metodología de cálculo utilizada.
- La importancia de una circulación forzada del fluido sumidero de calor. Al circular por una tubería expuesta a altas temperaturas, se observará una mayor cantidad de calor absorbido por convección si el fluido tiene un comportamiento de flujo turbulento.
- El coeficiente de transferencia de calor por convección  $h_c$  depende fuertemente de la velocidad y débilmente del diámetro. Otras propiedades del fluido que interviene en la relación, además de la conductividad térmica, son: la viscosidad cinemática, la densidad y el calor específico.
- El efecto de factores externos que influyan en el proceso de transferencia de calor puede ser controlado por la utilización de elementos aislantes que reducirán las pérdidas energéticas presentes en todo diseño.

Posteriormente se realizo una exposición del sistema de calefacción del buque porta contenedores “Mapocho”, el cual se análisis con la finalidad de que los próximos ingenieros de la marina mercante conozcan como se opera este sistema al estar en servicio y cual es la mantención que este requiere. De este análisis se concluye:

- Que los distintos equipos que conforman este sistema están diseñados para que su operación y puesta en servicio pueda ser controlada automáticamente.
- La importancia de los controladores de flujo mínimo que permiten que el sistema pueda seguir en funcionamiento a pesar de sufrir alguna avería que produzca una caída de presión.
- Que los controladores de temperatura de los calentadores aseguran una temperatura de servicio del aceite correcta hacia los distintos consumidores de calor, como también previenen posibles variaciones en las propiedades del

aceite producto de un sobrecalentamiento, bloqueando el quemador de la caldera o cortando el flujo a través del economizador.

- El ajuste de cada uno de los elementos de control debe estar directamente relacionado con las características técnicas del aceite térmico utilizado en el sistema.
- Para que el sistema opere en forma correcta y sin inconvenientes es muy importante seguir un plan de mantenimiento de acuerdo a lo especificaciones del fabricante, como también realizar mantenciones preventivas de acuerdo a las necesidades del buque.
- Que la puesta en servicio del sistema sea una maniobra simple no implica que la supervisión no sea rigurosa y detallada.

Como punto final se puede decir que un sistema de calefacción mediante aceite térmico es más eficiente que un sistema a vapor similar, la reducción del tamaño de los equipos permite disponer de un mayor espacio en la sala de máquinas, la utilización de aceite como fluido de transporte de calor es más seguro (trabaja a una presión constante), permite una operación y control de forma automática, una mantención a largo plazo más económica y que puede ser aplicable en cualquier tipo de buque sin importar la carga que este transporte.

**Bibliografía**

- Principios de transferencia de calor  
Frank Kreith & Mark S. Bohn  
Ed. Thomson Learning, 2001
- Transferencia de calor aplicada a la ingeniería  
James R. Welty  
Ed. Limasa, 2000
- Boilers and Burners, Design and theory  
Basu Kefa Jestin  
Mechanical engineering series, 2000
- Bombas, selección, uso y mantención  
Kenneth J. McNaughton  
Ed. McGraw – Hill, 1989
- Mécanica de fluidos  
Victor L. Streeter & E. Benjamin Wylie  
Ed. McGraw – Hill, 2000
- Manual information  
Wiesloch, Marine and industries BV, 1997
- Rules for Building and Classing, Steel Vessels  
ABS American Bureau of Shipping & affiliated companies
- Rules for the Classification of Steel Ships  
BV Bureau Veritas
- URL1 <http://www.martechinc.com>
- URL2 <http://www.aalborg-industries.com>
- URL3 <http://www.steamesteem.com>
- URL4 <http://www.fammlc.com>