



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

GUÍA DE UTILIZACIÓN DEL ACEITE TÉRMICO EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Ricardo Antonio Mendoza Sandoval

Asesorado por el Ing. Rodolfo Molina Castellán

Guatemala, abril de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA DE UTILIZACIÓN DEL ACEITE TÉRMICO EN UN
SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

RICARDO ANTONIO MENDOZA SANDOVAL
ASESORADO POR EL ING. RODOLFO MOLINA CASTELLÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR	Ing. David Enrique Aldana Fernández
EXAMINADOR	Ing. Jorge Chiló Siguere Rockstroh
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Durán
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA DE UTILIZACIÓN DEL ACEITE TÉRMICO EN UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica , el 23 de agosto de 2003.

Ricardo Antonio Mendoza Sandoval

AGRADECIMIENTO A:

DIOS Ser Supremo que en todo momento guía los pasos de mi vida.

MI MADRE Su esfuerzo siempre será parte importante en mi vida.

MI FAMILIA La razón de la superación constante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CALDERA DE ACEITE TÉRMICO	1
1.1. Descripción	1
1.2. Ventajas de un fluido térmico sobre el vapor y el agua caliente	3
2. COMPONENTES MECÁNICOS	7
2.1. Calentador	7
2.1.1. Tipos	7
2.1.1.1. Eléctricos	7
2.1.1.2. Con serpentín	9
2.1.1.3. Tipo vertical anular	11
2.2. Tanque para aceite	13
2.2.1. Tipos	15
2.2.1.1. Atmosféricos	15
2.2.1.2. Presurizado	15
2.2.2. Componentes del tanque de aceite	15
2.2.2.1. Intercambiador de calor	15
2.2.2.2. Deareador	16
2.2.2.3. Cámara de expansión	16
2.3. Bomba de recirculación	16
2.3.1. Tipos	16
2.3.1.1. Enfriadas por aire	16
2.3.1.2. Enfriadas por agua	17

3.	FLUIDOS TÉRMICOS	19
3.1.	Tipos	20
3.1.1.	Para altas temperaturas	20
3.1.2.	Para calentamiento y enfriamiento en un solo equipo	21
3.1.3.	Para bajas temperaturas	21
3.2.	Propiedades	22
3.2.1	Propiedades físicas de los fluidos térmicos para altas temperaturas	22
3.2.2.	Propiedades físicas de los fluidos térmicos para calentamiento y enfriamiento en un solo equipo	23
3.2.3.	Propiedades físicas de los fluidos térmicos para bajas temperaturas	24
3.3.	Aplicaciones	24
4.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FLUIDO TÉRMICO	27
4.1.	Equipo	27
4.1.1.	Calentador	27
4.1.2.	Tanque de expansión	30
4.1.3.	Bomba de recirculación	33
4.2.	Selección del aceite a utilizar	34
5.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO	37
5.1.	Transporte	37
5.2.	Ubicación	37
5.3.	Acceso	40
5.4.	Instalación	42
5.4.1.	Instalación de la bomba de recirculación del aceite	42
5.4.1.1.	Ubicación	42
5.4.1.2.	Conexiones de tubería	42
5.4.1.3.	Alineación	43
5.4.1.4.	Lubricación	44
5.4.1.4.1.	Sellos	44
5.4.1.5.	Bombas enfriadas por aire	45

5.4.1.6.	Bombas enfriadas por agua	45
5.4.2.	Tanque de expansión, deareador e intercambiador de calor	46
5.4.2.1.	Ubicación	46
5.4.2.2.	Conexiones	47
5.4.3.	Conexiones eléctricas	49
5.4.3.1.	Voltaje y frecuencia	49
5.4.4.	Calentador de aceite de fluido térmico con quemador	50
5.4.4.1.	Conexiones de combustible aceite	50
5.4.4.2.	Conexiones de combustible gas	51
5.4.4.3.	Chimeneas y gases de escape	51
5.4.4.3.1.	Condiciones	54
5.4.5.	Sistemas de tubería	54
5.4.5.1.	Equipo	55
5.4.5.2.	Tubería	56
5.4.5.3.	Conexiones del sistema	57
5.4.5.4.	Conexiones del calentador	58
5.4.6.	Manómetros y termómetros	59
5.4.7.	Válvulas	59
5.4.8.	Válvulas para control automático del fluido	61
5.4.9.	Válvulas de by-pass	61
5.4.10.	Comprobación de la instalación	61
5.4.11.	Aislamiento	62
5.5.	Arranque y operación del sistema	63
5.5.1.	Revisión previo al arranque	63
5.5.1.1.	Bomba de recirculación	64
5.5.1.2.	Llenado del sistema	66
5.5.1.2.1.	Preparación del sistema antes del llenado	67
5.5.1.2.2.	Procedimiento de llenado	68
5.5.2.	Arranque	68

5.5.2.1.	Recirculación en frío	68
5.5.2.2.	Filtrando el sistema	70
5.5.2.3.	Encendiendo el quemador del calentador	71
5.5.3.	Operación de rutina	73
5.5.3.1.	Caída de presión requerida dentro del calentador	73
5.5.3.2.	Arranque diario	74
5.5.3.3.	Apagado diario	75
5.5.3.4.	Verificación de seguridad	76
5.5.3.5.	Interruptor de nivel	76
5.5.3.6.	Interruptor de flujo	77
5.5.3.7.	Interruptores de alta y baja presión de aceite	77
5.5.3.8.	Interruptor de flujo de aire	78
5.5.3.9.	Arrancador magnético de la bomba de recirculación	78
5.5.3.10.	Interruptor de presión de gas en quemadores a gas	79
5.5.4.	Ajustes y calibraciones	79
5.5.4.1.	Interruptor de control de seguridad por alta temperatura	79
5.5.4.2.	Controles de la temperatura de operación	81
5.5.4.3.	Controles on/off (encendido/apagado)	81
5.5.4.4.	Controles high/low/off	82
5.5.4.5.	Controles modulados	83
5.5.4.6.	Interruptores de presión	83
5.5.4.7.	Bomba de recirculación de aceite con empaquetadura de <i>grafoil</i>	84
6.	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ACEITE	87
6.1.	Equipo mínimo necesario para arrancar y dar mantenimiento	87
6.2.	Mantenimiento general	87

6.2.1. Diario	87
6.2.2. Semanal	88
6.2.3. Mensual	88
6.2.4. Rutinario	89
6.3. Procedimientos de mantenimiento	90
6.3.1. Limpieza de ollín	90
6.3.2. Lubricación	91
6.3.3. Ajuste de la combustión	92
6.3.4. Análisis del fluido térmico	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ejemplo de aplicaciones de un sistema de fluido térmico	2
2.	Curva de presión / temperatura Vapor Saturado de agua vrs. fluido térmico	5
3.	Calentador de fluido térmico eléctrico	8
4.	Calentador de fluido térmico con serpentín	10
5.	Calentador de fluido térmico vertical diseño anular	12
6.	Tanque para aceite	14
7.	Curva de desempeño para una bomba centrífuga de recirculación de fluido térmico enfriada por aire Serie RA (2"x3"x10")	34
8.	Recomendación para la Instalación de una Chimenea	53

TABLAS

I.	Tanques de expansión de un fabricante de calentadores de fluido térmico	32
II.	Cargas a la que estará sometida la base donde se instale un calentador para diferentes modelos de un fabricante de calentadores de fluido térmico	38
III.	Tamaño de las ventanas superiores e inferiores que deberá preverse para los diferentes modelos de calentadores de un fabricante	39
IV.	Espacio libre mínimo necesario para remover el serpentín de varios modelos de un fabricante de calentadores de fluido térmico	41

GLOSARIO

BYPASS Un canal secundario, tubería o conexión para permitir un flujo cuando el canal o tubería principal esta cerrado o bloqueado.

COEFICIENTE DE EXPANSIÓN

TERMICA Cambio en densidad que ocurre mientras un material cambia de temperatura.

DAMPER Compuerta. Plancha ajustable para graduar un flujo.

EFICIENCIA TÉRMICA De una máquina térmica es la fracción de la energía térmica que esta máquina convierte a trabajo.

FDA

Food and Drug Administration (*Administración de Alimentos y Fármacos*, por sus siglas en inglés) es la agencia del gobierno de los Estados Unidos responsable de la regulación de alimentos (tanto para seres humanos como para animales), suplementos alimenticios, medicamentos (humanos y veterinarios), cosméticos, aparatos médicos (humanos y animales), productos biológicos y productos hemáticos.

FITTING

Cualquier accesorio que puede interconectar 2 partes más grandes de tubería o cañería.

FLANGE

Es una aleta o borde ya sea externo o interno que sirve para adherirse a otro objeto. Por ejemplo, se instala en una tubería para unir una válvula o algún tipo de accesorio.

FOTOCELDA

Célula fotoconductora, o foto detector es una resistencia, cuyo valor en ohmios varía ante las variaciones de la luz incidente. Están construidas con un material sensible a la luz, de tal manera que cuando la luz incide sobre su superficie, el material sufre una reacción física, alterando su resistencia eléctrica. Una fotocelda presenta un bajo valor de su resistencia ante la presencia de luz, y, un alto valor de resistencia ante la ausencia de luz. En calderas y calentadores de fluido térmico la fotocelda se emplea para detectar la llama de combustión.

GLICOL

El glicol es una sustancia ligeramente viscosa, incolora e inodora con un elevado punto de ebullición y un punto de fusión de aproximadamente $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (261 K). Se mezcla con agua en cualquier proporción. Por sus cualidades mezclado con agua puede ser utilizado como fluido térmico

para procesos que requieren enfriamiento y calentamiento en un mismo equipo.

GRAFOIL

Grafito flexible. Material con características esenciales del grafito pero con propiedades complementarias similares a las de los sellos mecánicos. Es un material de alto desempeño que su flexibilidad, compactabilidad y moldeabilidad lo hacen ideal para la fabricación de sellos y empaques.

MANIFOLD

Dispositivo mecánico que consiste en un tubo con una o varias entradas y varias salidas. Éste es utilizado para unificar un flujo para su consiguiente distribución a varios usuarios.

PUNTO DE AUTOENCENDIDO La temperatura más baja a la cual los vapores de un líquido calentado se auto encenderán y quemarán sin la exposición a una fuente de ignición

PUNTO DE FLUIDEZ La temperatura más baja a la que un aceite o un combustible pueden fluir, cuando son enfriados bajo condiciones establecidas por el método de prueba (ASTM D 97).

PUNTO DE INFLAMACIÓN La temperatura más baja a la cual los vapores de un líquido calentado, al mezclarse con el aire, pueden encenderse

(o destellar) por una llama, chispa u otra fuente de ignición.

TEMPERATURA DE PELÍCULA

Se define como la temperatura de la superficie calentada dentro de un calentador. Para los calentadores de gas, la temperatura de la película se mide dentro del tubo en la pared. Para los calentadores de inmersión eléctricos, se mide en la superficie del elemento. A causa de que el calor fluye de altas a bajas temperaturas, la temperatura de película, siempre será más alta que la temperatura del fluido circundante.

TERMOSTATOS

Es un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura

RESUMEN

En un mundo en el cual la energía es cada día más costosa, es necesaria la implementación de sistemas que contribuyan al ahorro de la misma.

Hablando en términos de combustible quemado versus energía aprovechada, la utilización de aceite térmico como medio de transferencia de calor, permite un ahorro sustancial de energía de al menos un 20% sobre el tradicional vapor.

Además, el aceite térmico ofrece un sin número de ventajas adicionales sobre el vapor y agua caliente como medio de transferencia de calor. Estas ventajas van desde una seguridad operacional, debido al no acompañamiento de presiones indeseadas como consecuencia de las altas temperaturas de trabajo. Esto permite que el sistema sea más seguro. También puede hablarse de una economía en la inversión inicial, ya que al no operar a altas presiones, los equipos usuarios no deberán ser fabricados en metal de alto calibre, como sucedería si operaran a altas presiones en sistema tradicionales de vapor. Si bien es cierto que los sistemas de vapor son de menor inversión, también lo es el hecho que los de fluido térmico son de mayor economía en la instalación, ya que el mismo no requiere de un sin número de trampas de vapor, filtros y válvulas especiales necesarias con el vapor. Así mismo, los equipos de fluido térmico representan un mantenimiento más económico, ya que no se produce oxidación, no necesita aplicación de químicos periódicamente y no necesita de purgas que generan pérdidas de calor.

Ya decidido por la opción del fluido térmico como medio de transferencia de calor, se debe seleccionar el equipo adecuado para satisfacer las necesidades dentro de las diferentes opciones que el mercado ofrece. Hay equipos eléctricos y los que queman hidrocarburos; los hay de tipo anular o de serpentín, dependiendo si se requiere de alta o baja capacidad. Finalmente, los hay horizontales o verticales, dependiendo del espacio disponible para la instalación del mismo.

Además de elegir qué clase de equipo es el más conveniente para el usuario, también debe evaluarse qué tipo de bomba de recirculación se deberá utilizar en el sistema, pues las hay enfriadas por aire o enfriadas por agua. Esta selección básicamente depende de la temperatura de trabajo del sistema.

De igual manera, el tanque de expansión se deberá seleccionar dependiendo si el mismo puede ser o no, el punto más alto de la instalación, es decir, atmosférico o con manto de nitrógeno.

Es importante decidir qué tipo de equipo de fluido térmico se utilizará con base a las opciones anteriores, para luego proceder a dimensionarlo. El calentador se seleccionará con base a la potencia de calor que de él se desee obtener y la temperatura a la que operará. La bomba de recirculación de aceite se dimensionará con base al flujo necesario en el sistema y la presión mínima necesaria en el mismo para vencer pérdidas dentro de los equipos y líneas de distribución. El tamaño del tanque de expansión está determinado por la cantidad total de aceite en el sistema, ya que con base al mismo se determina el volumen de expansión necesario para el mismo.

Una vez seleccionado y dimensionado el equipo a utilizar se debe de elegir el fluido térmico adecuado para el sistema.

El interés particular de este trabajo, son únicamente los aceites para altas temperaturas, aunque también los hay para calentamiento y enfriamiento en un sólo equipo y para bajas temperaturas.

Al seleccionar el aceite para altas temperaturas se deben tomar en cuenta factores como la materia prima básica, si son tóxicos o no, temperatura de película (máxima recomendada), punto de inflamación, punto de combustión, coeficiente de expansión térmica, presión de vapor a la temperatura en que operara el sistema, y otros factores más.

Una vez seleccionado todo el equipo y fluido a utilizar, se debe seguir una serie de normas para la instalación del mismo. Estas normas incluyen la selección del área adecuada, ya que se debe contar con el suficiente espacio, tanto para instalar el equipo como también para darle mantenimiento en el futuro. También deberá considerarse suficiente ventilación, piso adecuado para soportar el peso del equipo, utilización de tubería apropiada, uniones soldadas o con *flanges*, aislamiento correcto, etc.

Este trabajo incluye un programa de mantenimiento preventivo basado principalmente en las recomendaciones de fabricantes de los equipos.

OBEJETIVOS

Generales:

1. Presentación del aceite térmico como solución idónea en aplicaciones de transferencia de calor en las que el proceso requiere una alta temperatura, al representar este mayor seguridad e inversión inicial más baja.
2. También se pretende proporcionar una guía en el uso adecuado del mismo, mediante la orientación en la selección y dimensionamiento del sistema y el conocimiento y técnicas de instalación y mantenimiento que se deben seguir en su utilización.

Específicos:

1. Presentar el calentador de aceite térmico y las ventajas de su uso.
2. Indicar los componentes mecánicos del sistema de aceite térmico.
3. Tipos de aceite térmico y sus aplicaciones específicas.
4. Realizar una guía práctica para el dimensionamiento de los componentes del sistema de aceite térmico.
5. Proporcionar los lineamientos a seguir para la instalación de un sistema de aceite térmico.

6. Indicar de una forma concisa y clara el mantenimiento que se debe proporcionar a un sistema de aceite térmico.

INTRODUCCIÓN

En una época de globalización y apertura de mercados en que la supervivencia de las empresas depende del mejor uso de los recursos, se hace imprescindible que las empresas se abran a la posibilidad de trabajar con sistemas de transferencia de calor más eficientes, seguros y económicos en su operación.

Basado en lo anterior, este trabajo pretende presentar el sistema de fluido térmico como el medio idóneo de transferencia de calor cuando el sistema requiere de altas temperaturas, tanto por el ahorro energético y la seguridad industrial como ahorro en el costo de mantenimiento.

También se pretende describir de una forma breve y concisa la forma como deben de seleccionarse y dimensionarse los equipos básicos que conforman el sistema, parámetros a seguir para la correcta selección del fluido térmico a utilizar así como la forma en que deben de instalarse y mantenerse los equipos.

1. CALDERA DE ACEITE TÉRMICO

1.1 Descripción

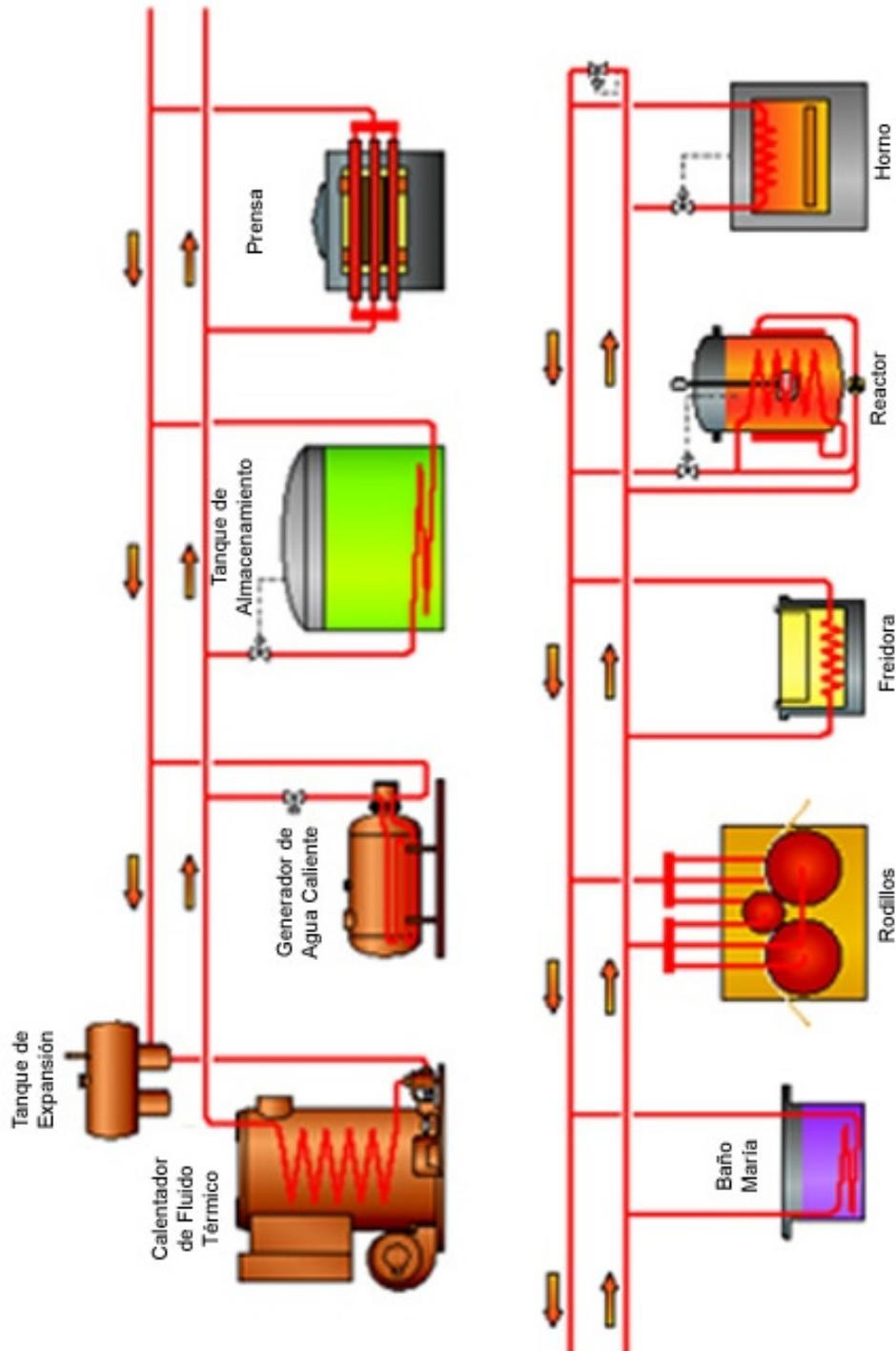
Los sistemas de calentamiento o transferencia de calor, mediante fluido térmico se utilizan en procesos que requieren temperaturas superiores a los 185 °C. y hasta 300 °C., empleando como medio de transferencia, aceites especiales de alta conductividad, ya que estos permiten trabajar en su fase líquida sin generar presión y adicionalmente nunca hierven. Esta característica los hace ideales para lograr altas temperaturas de proceso con un bajo margen de riesgo a las personas y equipos, superando en muchos aspectos al vapor.

Una central de fluido térmico se compone de:

- El calentador (caldera) con quemador a gas, diesel, bunker o combinación de dos combustibles. Además puede ser eléctrico (resistencias calefactores).
- Bombas para la recirculación del aceite en el sistema.
- Tanque de expansión, que por lo regular entre sus componentes cuenta también con un intercambiador de calor y un deaerador.

Una característica importante de los sistemas de fluido térmico es que son circuitos cerrados en el que no hay pérdidas del fluido de transferencia de calor como sucede con el vapor, en el que se debe reponer agua nueva al sistema periódicamente. La Figura 1 muestra un sistema de fluido térmico típico que ilustra esta característica.

Figura 1. Ejemplo de aplicaciones de un sistema de fluido térmico



Fuente: The Fulton Companies. **Calentadores de Fluido Térmico**. Págs. 2 y 3.

En los sistemas de fluido térmico, las redes de transportación del aceite, así como los elementos mecánicos de transferencia de calor (intercambiadores) son mucho más sencillos y económicos, ya que no están expuestos a presiones excesivas ni a corrosión, teniendo además todo el sistema una vida útil más larga y generando importantes economías al evitar paros por reparaciones y sustitución de elementos. Si es bien manejado, el aceite térmico trabaja por largo tiempo sin necesidad de reemplazarlo. (2)

Con el fluido térmico se puede calentar:

- Reactores de procesos químicos
- Mezcladores
- Secadores
- Planchas
- Hornos
- Calderas generadoras de vapor
- Recirculadores de aire para calefacción ambiental
- Rodillos, etc.

1.2. Ventajas de un sistema de fluido térmico sobre el vapor y el agua caliente.

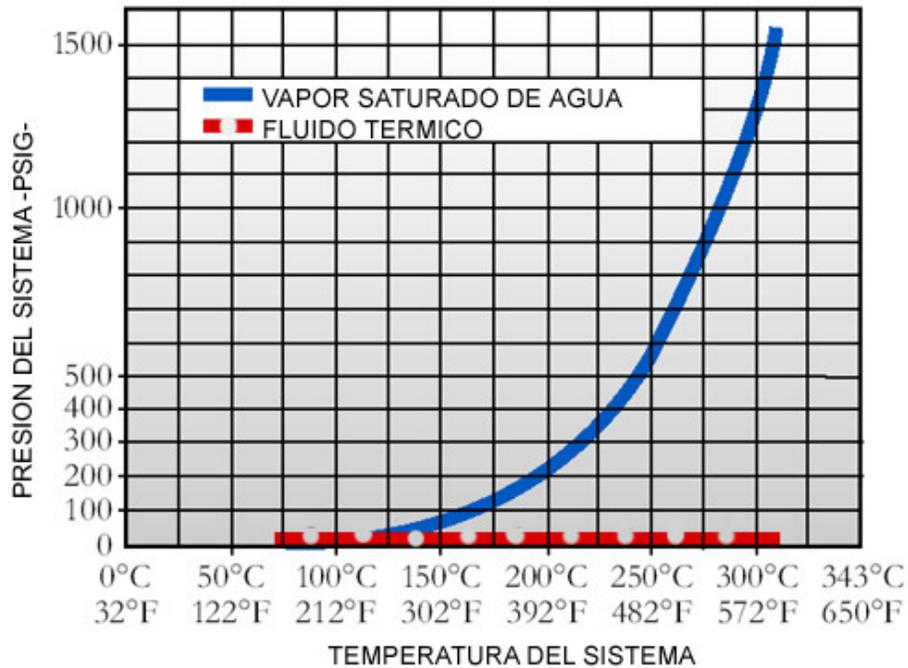
La selección entre un sistema de fluido térmico, un sistema de agua caliente y un sistema de vapor depende de los requerimientos del proceso. El rango de temperaturas de operación del proceso es un factor determinante. Si la temperatura de operación es de 0 a 100 grados Celsius, se recomienda utilizar agua, si es de 100 a 185 grados Celsius, el vapor; y de 185 a 345 grados Celsius, el fluido térmico.(8)

Comúnmente, el usuario del sistema al ver que el costo inicial del equipo de fluido térmico es mayor que el del equipo de vapor, descarta al primero como una opción de compra, sin tomar en cuenta que la instalación de un equipo a vapor es mucho más costosa debido a la utilización de un sin fin de válvulas y accesorios que no se utilizan en la instalación de fluido térmico. Así mismo, no se consideran los gastos adicionales de mantenimiento en los que incurre un sistema de vapor.

En términos generales, las principales ventajas se pueden resumir de la siguiente manera:

- **NO HAY CORROSION O CONGELAMIENTO.** El aceite térmico no causa corrosión y si es seleccionado adecuadamente no se congela. Por ser un circuito cerrado, el aceite no tiene mayor contacto con el ambiente evitando así su oxigenación; además, los sistemas de fluido térmico incluyen por lo general un deaerador para la remoción del oxígeno. (8)
- **BAJA PRESIÓN DE OPERACIÓN/MÁS SEGURO.** Con el incremento de temperatura del vapor se incrementa la presión del mismo. Esta presión en la mayoría de los casos es un efecto indeseable. Por ejemplo, el vapor a 170 °C esta acompañado de una presión de 100 psi. Si este mismo vapor se eleva a 300 °C, la presión subiría a 1500 psi. Con el fluido térmico, estas temperaturas son alcanzadas a baja presión ya que la única presión del sistema es la requerida por la bomba de recirculación para vencer las pérdidas en las líneas y equipos. Este comportamiento lo muestra la siguiente gráfica representada en la Figura 2. (8)

Figura 2. Curva de presión / temperatura. Vapor saturado de agua vrs. fluido térmico



Fuente: The Fulton Companies. **Calentadores de Fluido Térmico**. Pág. 2.

Las condiciones que muestra la gráfica 1, hace que un sistema de vapor se vuelva muy peligroso para altas temperaturas debido a las altas presiones que deben manejarse.

- **BAJO MANTENIMIENTO.** En un sistema de fluido térmico solo se requiere mantenimiento periódico en el quemador, en la bomba de recirculación, en los sistemas de control y una revisión anual del aceite. No hay trampas de vapor y el número de válvulas utilizadas en los sistemas es sustancialmente menor. (8)

No hay gastos por la utilización de aditivos químicos, ya que a diferencia de los sistemas de vapor donde constantemente hay que recuperar agua al sistema (con sus respectivos minerales disueltos), los sistemas de aceite son circuitos cerrados donde no se sufre de contaminación externa. Además, como se mencionará anteriormente, el aceite térmico no es corrosivo. (8)

- **SISTEMA MÁS EFICIENTE.** Un sistema de fluido térmico es más eficiente que un sistema de vapor, ya que en él no hay cambios de fase del medio de transferencia de calor como ocurre con el vapor, que después de utilizado debe condensarse (a través de trampas de vapor y líneas de retorno) para luego ser devuelto al sistema utilizando la bomba de alimentación de agua. Además, el aceite térmico no contiene sólidos que se puedan precipitar por consiguiente no hay necesidad de purgar el calentador como sucede en los sistemas de vapor. Si se compara un sistema de vapor con un sistema de fluido térmico en el que la caldera de vapor y el calentador tienen eficiencias térmicas similares (combustible/medio de transferencia de calor), el sistema de fluido térmico tendrá una economía en el consumo de combustible entre un 12% y un 25%. (8)
- **CONTROL DE TEMPERATURA MÁS EXACTO.** Los sistemas de fluido térmico son más precisos en el control de la temperatura del proceso. Esto se debe a que en ellos el parámetro a controlar es la temperatura y no como sucede en el caso del vapor donde el parámetro que generalmente se controla es la presión del vapor. (8)

2. COMPONENTES MECÁNICOS

2. 1. Calentador

Es el elemento principal en un sistema de fluido térmico. Este compuesto por un cuerpo de intercambio de calor, un quemador o fuente de calor (resistencias eléctricas), un sistema de control y un sistema de seguridad. El fluido térmico ingresa al calentador a una temperatura de retorno y éste mediante una fuente de calor, incrementará la temperatura de aceite un delta T establecido con el propósito de poder proporcionar calor a los usuarios.

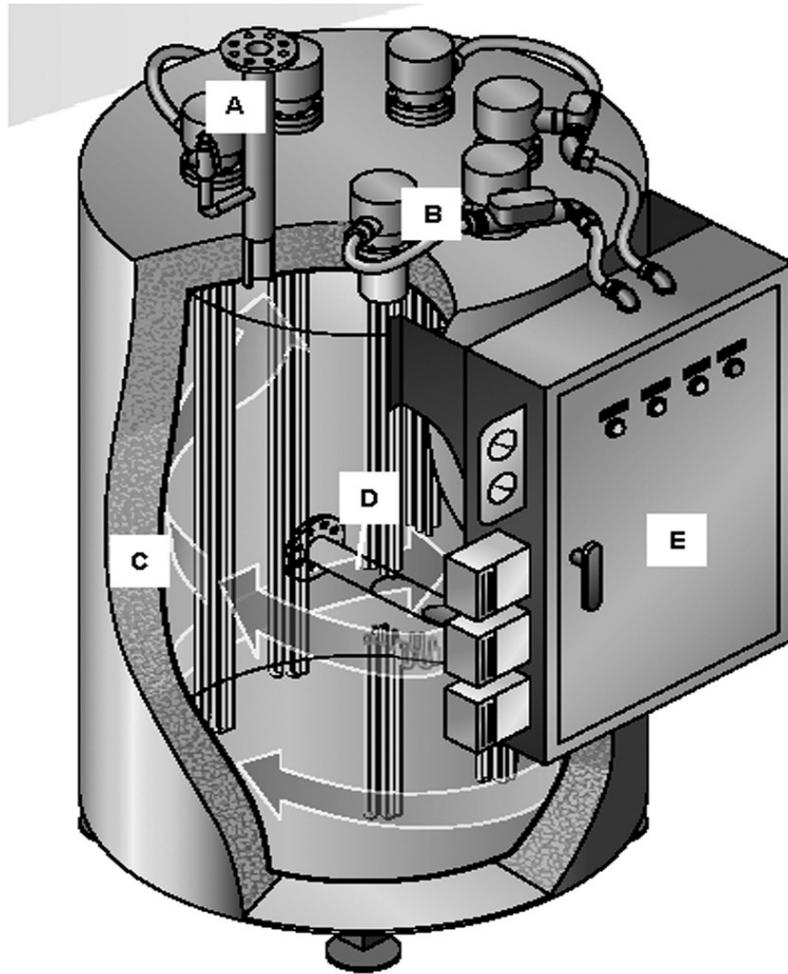
2.1.1. Tipos

2.1.1.1. Eléctricos

La fuente de calor son resistencias eléctricas distribuidas dentro del cuerpo del calentador.

El cuerpo o cámara de presión de estos calentadores está formada por un cilindro de acero con sus respectivas tapaderas. La Figura 3 ilustra un calentador de fluido térmico con sus principales elementos.

Figura 3. Calentador de fluido térmico eléctrico



Fuente: The Fulton Companies. **Calentadores de Fluido Térmico.** Pág. 2.

Algunas de las características de estos calentadores son:

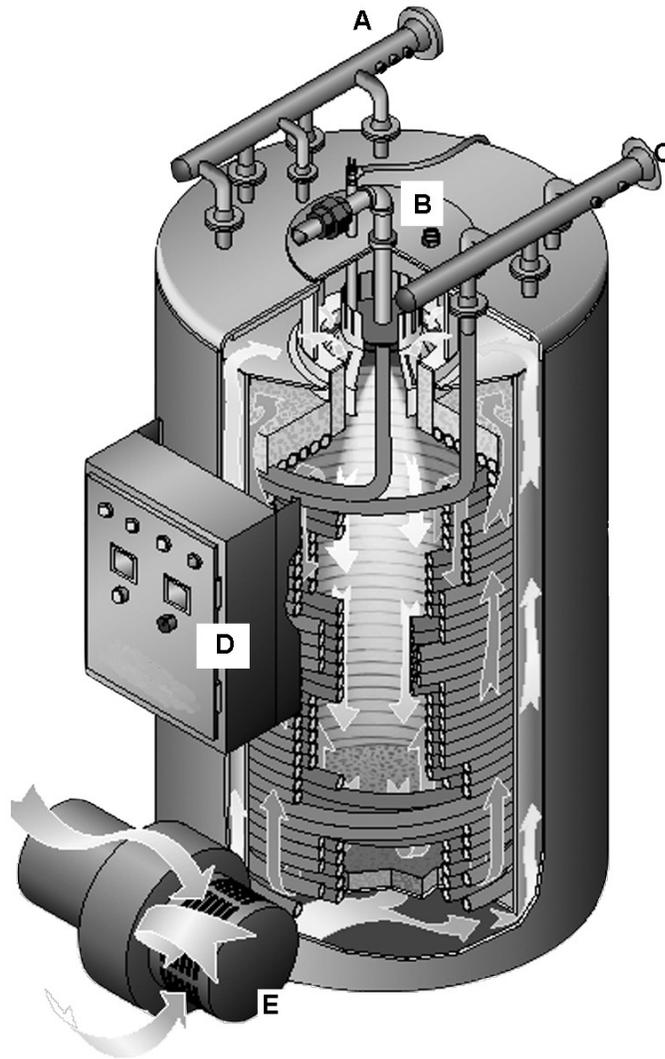
- Pequeñas capacidades: 75,000 Btu/h a 1, 720,000 Btu/h
- Aplicaciones donde no puede haber combustión, como por ejemplo ambientes explosivos, minas, laboratorios, etc.

2.1.1.2. Con serpentín

Es el diseño de calentador más utilizado. La fuente de calor en estos calentadores son los hidrocarburos, pudiendo ser GLP, Gas Natural, Búnquer y Diésel.

En estos calentadores, el aceite circula adentro de un serpentín helicoidal colocado dentro del cuerpo del calentador. La llama fluye por el centro de este serpentín para chocar en el refractario ubicado en el fondo del calentador, para luego subir y hacer los 4 pasos de flujo de gases. La Figura 4 muestra este proceso.

Figura 4. Calentador de fluido térmico con serpentín



- A: Entrada de Fluído Térmico
- B: Quemador
- C: Salida de Fluído Térmico
- D: Panel de Control Eléctrico
- E: Motor del Ventilador para la Combustión

Fuente: The Fulton Companies. **Calentadores de Fluido Térmico.** Págs. 5.

El calentador de serpentín puede ser horizontal o vertical. El horizontal es un equipo de 3 pasos y su eficiencia es alrededor de un 81%. Ocupa más espacio (huella de instalación más grande). El vertical es un equipo de 4 pasos y su eficiencia es alrededor de un 84%. Ocupa menos espacio (huella de instalación más pequeña).

Los calentadores de serpentín son los calentadores más eficientes del mercado en la categoría de los que funcionan con hidrocarburos. Las capacidades de estos equipos alcanzan los 20,000,000 Btu/h.

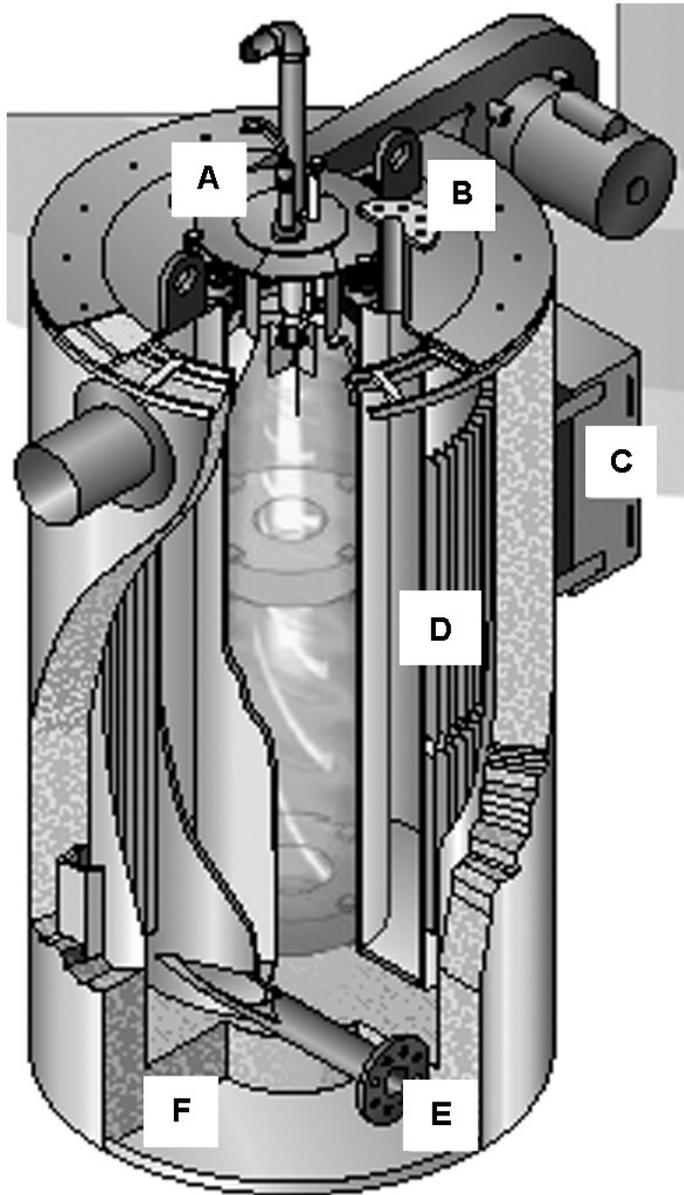
2.1.1.3. Tipo vertical anular

La fuente de calor en estos calentadores son los hidrocarburos, pueden ser GLP, Gas Natural o Diesel.

El cuerpo o cámara de presión de estos calentadores está formada por dos cilindros de acero concéntricos de diferentes diámetros con sus respectivas tapaderas.

La llama del quemador circula por el centro de estos cilindros para chocar en el refractario ubicado en el fondo del calentador, para luego subir y hacer los 2 pasos de flujo de gases. La figura 5 ilustra este proceso.

Figura 5. Calentador de fluido térmico vertical diseño anular



A: Quemador

B: Salida de Fluido Térmico de Calor

C: Panel de Control Eléctrico

D: Aletas para Transferenci

E: Entrada de Fluido Térmico

F: Refractario de Alta

Densidad

Fuente: The Fulton Companies. **Calentadores de Fluido Térmico.** Pág. 8.

Estos calentadores son de 2 pasos de flujo de gases por lo que no son muy eficientes. Su eficiencia ronda por un 79%. Así mismo, las capacidades son pequeñas, hasta 1, 740,000 Btu/h.

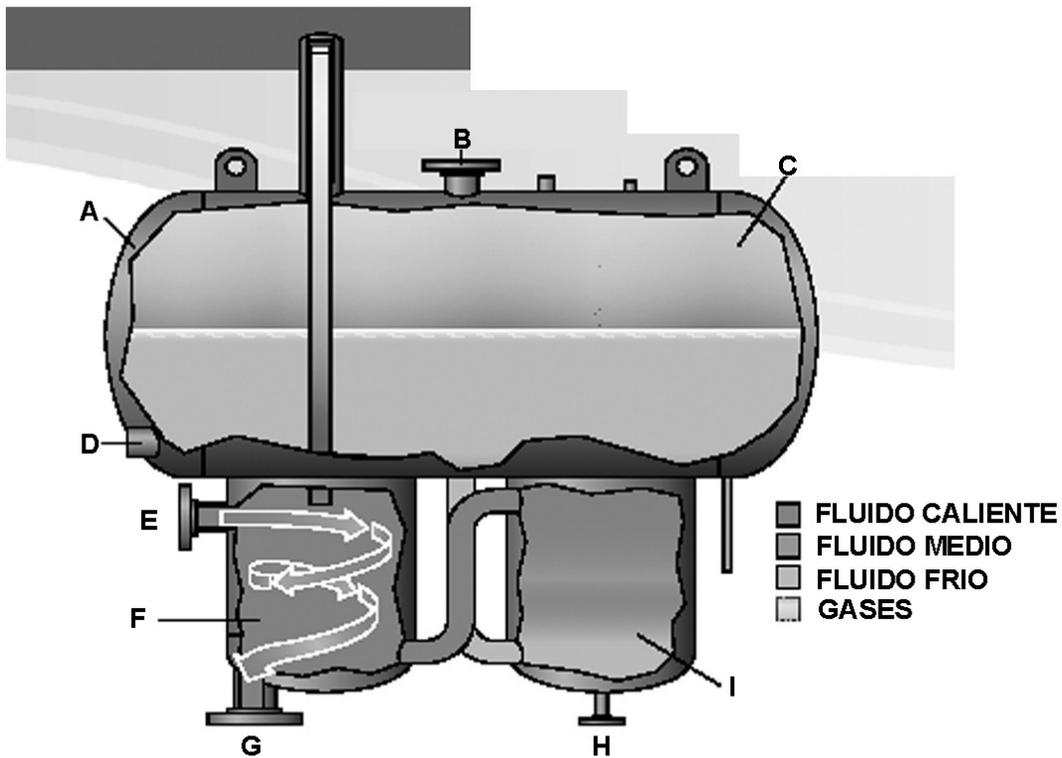
La caída de presión del aceite en estos calentadores es menor que en los de serpentín y son más económicos que los otros diseños.

2.2. Tanque para aceite

Es una parte indispensable del sistema de fluido térmico y cumple básicamente 3 funciones:

- Absorber la expansión del fluido térmico al calentarse.
- Deaerear el aceite con la finalidad de evitar al máximo corrosión en el sistema.
- Favorecer el hecho que el aceite más frío del sistema sea el que entre en contacto con el ambiente dentro del tanque de expansión atmosférico y así evitar que el mismo vuelva a capturar oxígeno. La Figura 6 muestra como se distribuyen los aceites en el tanque de expansión dependiendo de su temperatura.

Figura 6. Tanque para aceite



- A: Tanque de Expansión
- B: Venteo
- C: Volumen disponible para Expansión
- D: Interruptor de Nivel
- E: Entrada de Fluido Térmico
- F: Zona de Deaeración
- G: Salida de Fluido Térmico
- H: Drenaje
- I: Zona de Intercambio de Calor

Fuente: The Fulton Companies. **Calentadores de Fluido Térmico.** Pág. 6.

2.2.1. Tipos

2.2.1.1. Atmosféricos

Esta abierto al ambiente, por lo que es no presurizado. Es el más económico y se utiliza cuando:

- El tanque puede ser el punto más alto de la instalación y así evitar rebalses.
- El tanque estará ubicado bajo techo.
- La presión de los vapores del aceite térmico a temperatura de operación es menor a la presión atmosférica.

2.2.1.2 Presurizado

Cuando alguna de las condiciones descritas con anterioridad no se cumplen, entonces el tanque deberá estar sellado y normado para así ser presurizado con un manto de nitrógeno.

2.2.2. Componentes del tanque de aceite

2.2.2.1 Intercambiador de calor

Esta es una sección en la parte inferior del tanque cuya función consiste en conseguir que el aceite que está más frío sea el que vaya a la sección de expansión del tanque, con la finalidad que el aceite no vuelva a capturar oxígeno.

2.2.2.2. Deaerador

Esta sección también está en la parte inferior del tanque de aceite. Su función consiste en deaerear el aceite para extraerle algún remanente de oxígeno y enviarlo al exterior.

2.2.2.3. Cámara de expansión

Es simplemente la sección destinada a dar cabida al incremento de volumen que sufre el aceite térmico por el fuerte calentamiento. Debe estar correctamente dimensionado con base al volumen total de aceite que tendrá el sistema para evitar derrames por rebalse.

2.3. Bomba de recirculación

Bomba centrífuga utilizada para forzar la circulación del aceite térmico por todo el sistema. Debe de estar dimensionada para satisfacer el flujo mínimo de aceite requerido tanto por los usuarios como por el calentador de aceite mismo a una presión suficiente para vencer las pérdidas de todo el sistema.

2.3.1 Tipos

2.3.1.1 Enfriadas por aire

Son la opción más económica y tienen las siguientes características:

- Aplicable cuando la temperatura de trabajo del aceite térmico es inferior o igual a los 600° °F (315 °C).
- Sellos mecánicos lubricados por el mismo aceite térmico por lo que nunca deberán ser operadas en seco.

- Requieren lubricación periódica.
- La temperatura del cuarto de máquinas donde esta instalada nunca deber ser superior a los 100 °F (38 °C).

2.3.1.2 Enfriadas por agua.

Tienen las siguientes características:

- Aplicable cuando la temperatura de trabajo del aceite térmico es superior a los 600 °F (315 °C).
- Poseen una aceitera para una lubricación continua.
- Además de ser más costosas que las enfriadas por aire, su instalación requiere una línea de suministro de agua con un flujo entre 2-5 GPM a 40 °F a un mínimo de 40 psi.

3. FLUIDOS TÉRMICOS

Los fluidos térmicos son utilizados como medio de transferencia de calor en procesos industriales que requieren calentamiento o enfriamiento. Los mismos a su vez, tienen aplicación únicamente en sistemas recirculantes cerrados. (4)

En este capítulo se hará referencia a aceites para calentamiento y enfriamiento, aunque los de interés en el tema son únicamente los empleados para calentamiento.

Al igual que el vapor, el aceite es un medio de transporte de energía del punto de generación (calentador) a los diferentes equipos que requieran de la energía en forma de calor (usuarios).

Su materia prima es mineral e hidrocarburo ya sea natural, parafínico o sintético.

Como se explica en el capítulo 1, algunas de las ventajas de la utilización del fluido térmico sobre el vapor son las siguientes:

- El sistema como un todo es entre 12-25% más eficiente.
- No hay corrosión o congelamiento.
- Es seguro, ya que al calentarse no se volatiliza y por consiguiente no genera presión.
- Posee un control de temperatura más exacto en el sistema.
- Requiere menos mantenimiento.
- Se evita el tratamiento de agua que es indispensable con el vapor.
- La instalación del sistema es más económica, ya que son necesarios menos válvulas y accesorios.

- Se pueden encontrar aceites completamente no tóxicos aprobados y certificados por la FDA por lo que son seguros para la utilización en procesos alimenticios.

3.1. Tipos

3.1.1. Para altas temperaturas

Las características que hacen de un fluido térmico ser la elección ideal para altas temperaturas son:

- Temperaturas de alcance efectivo o temperaturas, a las cuales puede operar sin degradarse: 49 °C – 316 °C (120 °F- 600 °F).
- La presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura es de un máximo de 4.720 psia a 315°C (600°F).
- La temperatura de película (máxima temperatura) es de 343°C (650°F).
- Son no carbonizantes.
- Tienen una larga vida útil a altas temperaturas.
- Poseen un bajo punto de fluidez.
- Baja viscosidad a temperatura ambiente para reducir el tiempo de puesta en marcha requerido en los arranques en frío.
- Altos puntos de inflamación para áreas críticas.
- Resistencia a la oxidación.
- Previene lodos y sedimentos que se presentan cuando el fluido caliente se expone al aire.
- Los hay certificados por la FDA no tóxicos si entran en contacto con los alimentos. (4)

3.1.2. Para calentamiento y enfriamiento en un solo equipo

Las características que hacen de un fluido térmico ser la elección ideal para sistemas donde hay que calentar y enfriar el producto en un mismo equipo son:

- Son capaces de funcionar en un solo equipo tanto para calentamiento, como para enfriamiento.
- Las temperaturas de alcance efectivo o temperaturas a las cuales puede operar sin degradarse son -40°C a 288°C (de -40°F a 550°F).
- La presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura tiene un máximo de 15.1 psia a 204°C (400°F).
- La temperatura de película (máxima temperatura) es de 316°C (600°F)
- Punto de fluidez (punto de cristal) ocurre a temperaturas menores a los -60°C (-76°F).
- Son un sustituto ideal a la mezcla glicol/agua donde la contaminación por el agua presenta problemas de calidad y seguridad del producto durante el proceso.
- Los hay certificados por la FDA no tóxicos si entran en contacto con los alimentos. (4)

3.1.3. Para bajas temperaturas

Las características que hacen de un fluido térmico ser la elección ideal para sistemas donde hay que enfriar el producto a temperaturas bajas extremas son:

- Fluidos sintéticos ultra fríos.
- Usados en aplicación de procesos conducidos criogénicamente.
- Ideal en procesos químicos finos, en producción farmacéutica y cámaras

de atmósfera controlada.

- Las temperaturas de alcance efectivo o temperaturas a las cuales puede operar sin degradarse van de: $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $204\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $-175\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $400\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- La presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura tiene un máximo de 18.4 psia a 204°C (400°F).
- El punto de fluidez (punto de cristal) ocurre a temperaturas menores a los -120°C (-184°F).
- La viscosidad es de 20 centipoises a -96°C (4)

3.2. Propiedades

3.2.1. Propiedades físicas de los fluidos térmicos para altas temperaturas

- La materia prima es hidrocarburo natural, hidratado o parafínico.
- Apariencia: usualmente son transparentes blancos o amarillo pálido.
- Sabor y olor: ninguno, aunque a veces puede tener un olor débil aceitoso.
- Temperaturas de alcance efectivo o temperaturas a las cuales puede operar sin degradarse: de $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $316\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $120\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $600\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- Temperatura de película (máxima temperatura): 343°C (650°F).
- Presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura: un máximo de 4.720 psia a 315°C (600°F).
- Punto de inflamación (coc) ASTM D-92: 174°C (345°F) – 227°C (440°F).
- Punto de combustión (coc) ASTM D-92: 196°C (386°F) – 260°F (500°F)
- Auto-encendido ASTM D-2155: 332°C (630°F) – 371°C (700°F).
- Coeficiente de expansión térmica: $0.0005472/^{\circ}\text{C}$ – $0.0007/^{\circ}\text{C}$
- Densidad, lb./gal. a 75°F (24°C): 7.22- 7.25
- Capacidad de bombeo: Centrífuga a 2000 centipoise: -25°C - -7°C

- Calor de vaporización en Btu/lb.: 90.72 – 93 (4)

3.2.2. Propiedades físicas de los fluidos térmicos para calentamiento y enfriamiento en un solo equipo

- La materia prima es Hidrocarburo.
- Apariencia: transparente agua blanca brillante.
- Sabor y olor: ligero olor.
- Temperaturas de alcance efectivo o temperaturas a las cuales puede operar sin degradarse: de -40 °C a 288 °C (de -40 °F a 550 °F).
- Temperatura de película (máxima temperatura): 316°C (600°F)
- Presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura: un máximo de 15.1 psia a 204°C (400°F).
- Punto de fluidez (punto de cristal): temperaturas menores a los -60°C (-76°F).
- Punto de inflamación (coc) ASTM D-92: mayor a los 60°C (140°F),
- Punto de combustión (coc) ASTM D-92: 60°C (140°F) – 163°F (325°F)
- Auto-encendido ASTM D-2155: 260°C (500°F) – 327°C (621°F).
- Coeficiente de expansión térmica: 0.00038/°C – 0.0009/°C
- Densidad, lb./gal. a 75°F (24°C): 6.51- 6.7
- Capacidad de Bombeo: Centrifuga a 2000 centipoise: -85°C - -63°C
- Calor de vaporización en Btu/lb.: 113 – 126.42 (4)

3.2.3. Propiedades físicas de los fluidos térmicos para bajas temperaturas

- La materia prima es Hidrocarburo sintético.
- Apariencia: Transparente agua blanca brillante.
- Sabor y olor: Ligero olor.
- Temperaturas de alcance efectivo o temperaturas a las cuales puede operar sin degradarse: -115 °C – 204 °C (-175 °F- 400 °F).
- Presión de vapor o presión que genera al calentarse hasta cierta temperatura: un máximo de 18.4 psia a 204°C (400°F).
- Punto de fluidez (punto de cristal): temperaturas menores a los -120°C (-184°F).
- Viscosidad de 20 centipoises a -96°C
- Punto de inflamación (coc) ASTM D-56: 43°C (110°F),
- Punto de combustión (coc) ASTM D-92: 49°C (120°F)
- Auto-encendido ASTM E659-78: 221°C (430°F).
- Coeficiente de expansión térmica: 0.00056/°C
- Densidad, lb./gal. a 75°F (24°C): 6.9
- Calor de vaporización en Btu/lb.: 147.8 (4)

3.3. Aplicaciones

Como se explicó a principios de este capítulo, las aplicaciones de los diferentes tipos de aceite térmico están relacionadas con los rangos de temperatura a los cuales se va a trabajar en el proceso.

Si únicamente se va a calentar un producto, se utilizará un fluido térmico que cae en la categoría de los exclusivos para altas temperaturas. Dentro de los fluidos que caen en esta categoría se deberá poner especial atención en las propiedades de temperatura de alcance del aceite, presión de vapor a la temperatura a la cual se pretenden de operar el sistema, temperatura de auto-encendido, calor de vaporización y coeficiente de expansión térmica.

Si se va a calentar y enfriar un producto dentro del mismo equipo como es común en procesos de laboratorios farmacéuticos, se deberá seleccionar un fluido térmico exclusivo de la categoría de los utilizados para calentamiento y enfriamiento en un mismo equipo. Dentro de los fluidos que caen en esta categoría se deberá poner especial atención a las propiedades mencionadas para fluidos de altas temperaturas en el párrafo anterior; además, del punto de fluidez y capacidad de bombeo. (4)

4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FLUÍDO TÉRMICO

Primero. Se debe determinar si es una aplicación de fluido térmico. Para ello, se debe conocer la temperatura necesaria en el proceso. Si esta temperatura es superior a los 350 grados °F (equivalente en vapor a 120 psi), entonces si es aplicable el uso de fluido térmico. Ahora bien, en la industria en general, se considera la utilización de fluido térmico en temperaturas de sistema superiores a los 380 °F (equivalentes en vapor a 180 psi) ya que en temperaturas superiores a este límite se requiere el uso de calderas de vapor con presiones de diseño superiores a los 200 psi, las cuales son bastante caras y peligrosas en su manejo. (1)

Segundo. El equipo usado debe ser compatible con fluido térmico.

4.1. Equipo

4.1.1. Calentador

En la mayoría de los casos se conoce el requerimiento térmico del sistema. Si no se conoce el requerimiento térmico del sistema se aplicará la fórmula:

$$Q = m \times C_p \times dt$$

Q= Carga de calor.

m= Masa

C_p=Calor específico.

dt= Variación de temperatura.

Ejemplo:

Se desean calentar dos platinas fabricadas de acero al carbón para un proceso de laminado de *plywood*. El tamaño de las platinas es de 2" x 60" x 120". Estas platinas se desean llevar de 60 grados Fahrenheit a 500 grados Fahrenheit en 1.5 horas.

$$Q = M \times CP \times dt$$

Densidad del acero al carbón: 0.284 lbs/plg³

Cp del acero al carbón: 0.12 Btu/(lb x F)

Masa = volumen x densidad.

$$= (2" \times 60" \times 120") \times 0.284 \text{ lbs/plg}^3$$

$$= 4,089.6 \text{ lbs}$$

$$dt = 500 \text{ }^\circ\text{F} - 60 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$dt = 440 \text{ grados Fahrenheit.}$$

$$Q = 4,089.6 \text{ lbs} \times 0.12 \text{ Btu}/(\text{lbs} \times \text{ }^\circ\text{F}) \times 440 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q = 215,931 \text{ Btu/h}$$

Como se deberá de alcanzar la temperatura de 500 grados Fahrenheit en 1.5 horas, entonces se divide entre 1.5

$$Q = 143,954 \text{ Btu/hr}$$

Luego se multiplica por 2, ya que son 2 platinas.

$$Q = 287,908 \text{ Btu/h.}$$

Ahora se deberán asumir pérdidas en el sistema. Es una buena práctica el asumir pérdidas entre el 15 y 25% dependiendo de la situación. La capacidad del calentador deberá de ser de 350,000 Btu/h.

En la mayoría de los casos el flujo estándar recomendado por un fabricante para el calentador dimensionado (en base a las necesidades de calor) es suficiente para satisfacer el flujo mínimo requerido por los usuarios del sistema.

Si el usuario desea para su sistema un flujo menor al estándar requerido por el calentador, entonces deberá instalar un *by-pass* alrededor de los equipos consumidores. Si el usuario desea para sus sistemas un flujo mayor al estándar requerido por el calentador, entonces deberá instalar un *by-pass* alrededor del calentador.

En muchos casos, el usuario necesita una caída específica de temperatura en su equipo. Esto determinará el flujo requerido en el sistema. (7)

Ejemplo:

Siguiendo con el ejemplo anterior, el usuario necesita que la caída de temperatura a través de la platina no exceda los 10 grados Fahrenheit. Se puede asumir que cuando la platina alcanza la temperatura de operación, la caída de temperatura del fluido térmico será igual a la caída de temperatura a través de la platina. Se puede utilizar la fórmula:

$Q = m \times C_p \times dt$ para determinar el flujo.

$Q = 143,954$ Btu/h para una platina.

$C_p = 0.655$ Btu/(lb x F) para el aceite Paratherm NF a 500 grados Fahrenheit.

dt = 10 grados Fahrenheit.

$$143,954 \text{ Btu/hr} = M \times 0.655 \text{ Btu}/(\text{lb} \times \text{F}) \times 10 \text{ F}$$
$$m = 21,978 \text{ lbs/hr}$$

Dividiendo este resultado entre 60 min/h y 6.45 lbs/gal para el Paratherm NF se obtiene un flujo de 57 GPM por platina. Como son dos platinas, el flujo necesario será de 104 GPM.

Ahora se tienen los dos parámetros necesarios para seleccionar un calentador que son:

Requerimiento térmico: $Q = 350,000 \text{ Btu/hr}$

Flujo requerido por el sistema: 104 GPM

Observando las características de los equipos de un fabricante, podemos notar que el modelo que es capaz de proporcionar los 350,000 Btu/hr puede manejar un flujo máximo de 90 GPM. Esto hace necesario instalar un *bypass* para 14 GPM al calentador. (5)

4.1.2. Tanque de expansión

En la mayoría de los casos, el usuario de los equipos utiliza el tamaño de tanque de expansión que el fabricante ha dimensionado para cada uno de los tamaños de calentador.

Ahora bien, si el usuario desea dimensionar él mismo, deberá conocer los siguientes datos:

A = Coeficiente de Expansión térmica del fluido a utilizarse.

B = Temperatura máxima de operación del fluido.

C = Volumen del fluido en el sistema a temperatura ambiente.

Ta= Temperatura ambiente.

VOLUMEN DE EXPANSIÓN NECESARIO = $A \times (B - T_a) \times C$

El volumen de expansión es el volumen dentro del tanque de expansión que corresponde a la diferencia entre el llenado inicial que es aproximadamente 4" de altura de aceite en el tanque (suficiente para pasar el interruptor de bajo nivel) y el nivel máximo de llenado (por razones de seguridad para evitar rebalses).

Ejemplo:

Un sistema de fluido térmico contiene 175 galones incluyendo el calentador pero no el tanque de expansión.

Tabla I. Tanques de expansión de un fabricante de calentadores de fluido térmico

Modelo	Capacidad (galones)	Llenado Inicial (galones)	Disponible para Expandir a (galones)	Volumen Máximo del Sistema
FT-200-L	52	25	46	184
FT-500-L	132	40	121	525
FT-1000-L	264	80	232	1000
FT-1500-L	397	90	380	1400
FT-2000-L	528	145	444	1700
FT-3000-L	793	215	717	2600
FT-5000-L	1310	300	1168	4600

Fuente: The Fulton Companies. **Calentadores de Fluido Térmico**. Pág. 7.

De acuerdo a la Tabla I, si se elige el tanque de expansión FT-200-L de un fabricante, entonces se deberá agregar 25 galones a los 175 galones del sistema para así llenar las 4" necesarias del tanque.

Luego, se busca el coeficiente de expansión del fluido térmico que se va a utilizar. En este caso se asume un 25% (no es necesario aplicar la fórmula de volumen de expansión ya que para este aceite el porcentaje lo proporciona).

$$200 \text{ galones} \times 1.25 = 250 \text{ galones.}$$

$$250 \text{ galones} - 200 \text{ galones} = 50 \text{ galones de expansión.}$$

Como se puede ver en Tabla en referencia, el tanque FT-200 solo tiene 46 galones disponibles para expansión, por lo que la selección correcta es el modelo que le sigue en tamaño que es el FT-500-L.

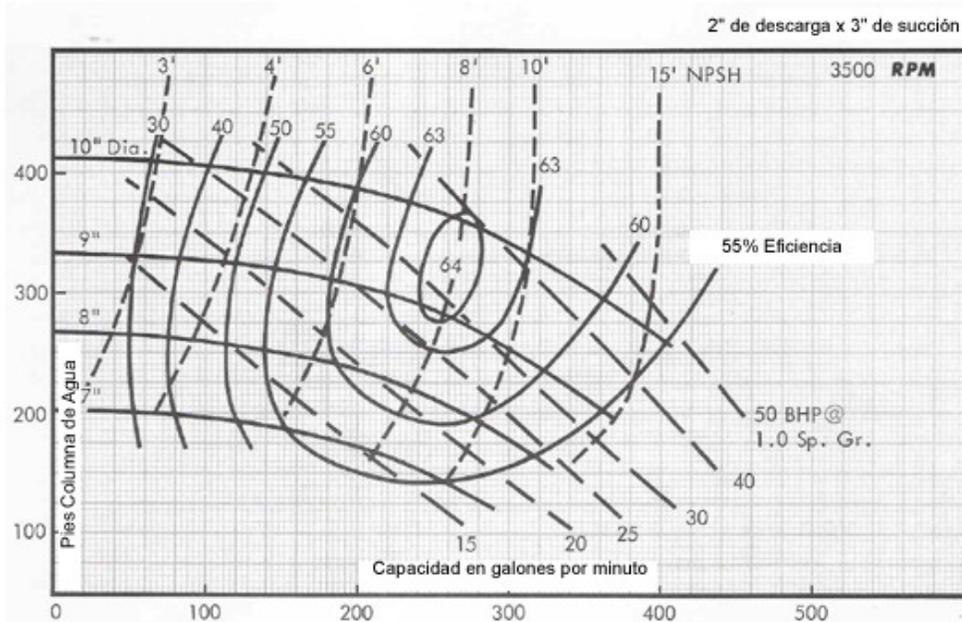
4.1.3. Bomba de recirculación

Para dimensionar y seleccionar la bomba de recirculación de aceite térmico deberán de considerarse los siguientes puntos:

- El flujo necesario de aceite térmico en el sistema y flujo máximo recomendado para el calentador. En la mayoría de los casos el máximo recomendado para el tamaño de calentador es más que suficiente para el usuario.
- Presión necesaria en el fluido térmico para vencer pérdidas del sistema. En la mayoría de los casos es más que suficiente con 55 psi.
- Temperatura máxima de operación del fluido térmico. Si la temperatura máxima es inferior o igual a 600 grados Fahrenheit, la bomba será enfriada por aire. Si la temperatura del fluido será superior a los 600 grados Fahrenheit, la bomba será enfriada por agua.

NOTA: En cualquiera de los casos, ésta será una bomba centrífuga de fabricación especial para fluidos térmicos a alta temperatura. La Figura 8 muestra el desempeño de una bomba centrífuga del fabricante Dean.

Figura 7. Curva de desempeño para una bomba centrífuga de recirculación de fluido térmico enfriada por aire Serie RA (2"x3"x10")



Fuente: Thermal Liquid Pumps. **Dean Pump División.** Pág. 13

4.2. Selección del aceite a utilizar

La selección del fluido térmico más adecuado para la aplicación es muy importante. Factores que deben de ser considerados son la eficiencia, estabilidad térmica, adaptabilidad a varios sistemas, propiedades físicas, incluyendo la presión de vapor, punto de fluidez, punto de inflamación y punto de auto encendido.

Los fluidos térmicos son de origen, tanto mineral (aunque estos son utilizados cada vez menos) y sintéticos que han sido desarrollados para proporcionar estabilidad térmica a un rango amplio de temperaturas.

La selección del fluido térmico deberá realizarse en conjunto con el fabricante del calentador y del fluido térmico.

En los calentadores con quemador (con serpentín y verticales anulares) es de especial importancia el control y monitoreo de la temperatura del fluido térmico así como la temperatura máxima recomendada por el fabricante del fluido térmico.

Se recomienda tener mucho cuidado al consultar la literatura de los fabricantes de fluidos térmicos, ya que la temperatura máxima a la que ellos se refieren es la temperatura límite a la que puede ser sometido el fluido pero hay que recordar que en los calentadores con quemador existe una TEMPERATURA DE PELICULA que es superior a la temperatura del grueso del fluido térmico. Los termómetros medirán la temperatura del grueso del aceite y no la temperatura de película. (4)

Esta es una lista de fluidos térmicos que son ampliamente conocidos en el mercado y cuyas características los hacen sujetos a consideración. Se pueden considerar otras marcas siempre y cuando sean especiales para transferencia térmica. Los aceites multipropósito son inaceptables.

- AMOCO Transfer Oil 4199
- CHEVRON Teknifax
- DOW Dowtherm A o G.
- EXXON Caloria HT 43
- MOBIL Mobiltherm 603 o 605
- MONSANTO Therminol
- MULTITHERM IG-2
- PARATHERM Paratherm NF o HE

- PETROCANADA CalFlo
- SHELL Thermia 23
- TEXACO Texatherm

Todo fluido térmico especialmente diseñado para transferencia de calor debe cumplir con las siguientes características:

- Ser líquido estable y homogéneo a temperaturas de por lo menos 100°F (38°C) arriba de la temperatura a la cual se operara el sistema.
- Ser compatible con los metales utilizados en la fabricación del equipo e instalación del sistema.
- Tener ausencia total de materia sólida en suspensión.
- Ser no tóxicos por si ocurre un derrame.
- Tener suficiente lubricidad.

El fabricante del fluido térmico debe de garantizar las propiedades del fluido que ofrece y verificar que la temperatura de alcance efectivo del mismo exceda la temperatura de operación del sistema.

Otro factor muy importante es el coeficiente de expansión térmica. Por lo general se debe seleccionar un fluido que tenga un coeficiente menor al 20% del volumen inicial del fluido de 50°F a 600°F (10°C a 315°C).

5. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO

5.1. Transporte

El transporte del equipo deberá hacerse vertical si el calentador es eléctrico o de serpentín y horizontal si el calentador es vertical de diseño anular (a menos que el equipo haya sido montado sobre una base metálica en fábrica). Cuando ya se haya sacado del embalaje, los calentadores podrán ser manejados con montacargas o mediante el uso de los soportes para cadena ubicados en la parte superior de los mismos. De no ser posible utilizar este medio, deberá moverse con patines. (6)

Bajo ninguna circunstancia se le debe colocar peso sobre la chaqueta del cuerpo, sobre el tablero de control, o sobre la carcasa del ventilador.

5.2. Ubicación

El calentador deberá de ubicarse tan cercano como sea posible al área donde se requiere el calor de tal manera que el costo de tubería se mantenga lo más bajo posible.

Se deberá instalar sobre una superficie dura, nivelada y que no este hecha de materiales combustibles. Se recomienda fabricar una canal de aproximadamente 4 pulgadas de ancho por 4 pulgadas de profundidad alrededor del calentador por si ocurriese un derrame de fluido térmico, esta canal contendría el derrame.

La Tabla II muestra las cargas por pie cuadrado a la que estará sometida la base donde se instale el calentador para diferentes modelos de este fabricante.

Tabla II. Cargas a la que estará sometida la base donde se instale un calentador para diferentes modelos de un fabricante de calentadores de fluido térmico

Modelo	libras/pie²
FT-0080-C	500
FT-0120-C	400
FT-0160-C	450
FT-0240-C	450
FT-0320-C	450
FT-0400-C	450
FT-0600-C	550
FT-0800-C	500
FT-1000-C	500
FT-1200-C	400
FT-1400-C	450

Fuente: Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento para Calentadores de Serpentin.
Fulton Thermal Corporation. Pág. 12

De preferencia, el calentador deberá estar ubicado en un cuarto de máquinas independiente. De no ser posible, deberá colocarse en un cuarto bien ventilado por el que no haya mucho tráfico de personal.

El cuarto de máquina deberá de contar con la suficiente ventilación como para mantener la temperatura del mismo en 37 grados Celsius o menos. Mediante la utilización de rejillas en el piso y en el techo se puede conseguir una muy buena ventilación natural.

Para quemar el combustible correctamente, el quemador deberá contar con un adecuado suministro de aire. Si se utilizará ventilación natural, el cuarto de máquinas deberá tener una ventana a baja altura (cercana a la altura del motor del ventilador) y una ventana a una altura estándar de habitación.

La ventana de bajo nivel, deberá ser dimensionada de tal forma que tenga 0.4 pulgadas cuadradas por cada 1,000 Btu/hr de alimentación de combustible del quemador. La ventana superior deberá tener un tercio del tamaño de la ventana inferior. La Tabla III muestra el tamaño de las ventanas superiores e inferiores que deberá preverse para los diferentes modelos de calentadores de este fabricante. (6)

Tabla III. Tamaño de las ventanas superiores e inferiores que deberá preverse para los diferentes modelos de calentadores de un fabricante de calentadores de fluido térmico

Modelo	Espacio Mínimo de Aire	Area de Apertura Ventilación inferior Pulgada ²	Area de Apertura Ventilación superior Pulgada ²
FT-0080-C	200	400	135
FT-0120-C	300	600	205
FT-0160-C	400	800	270
FT-0240-C	600	1200	400
FT-0320-C	800	1600	535
FT-0400-C	1000	2000	670
FT-0600-C	1500	3000	1000
FT-0800-C	2000	4000	1335
FT-1000-C	2500	5000	1670
FT-1200-C	3000	6000	2000
FT-1400-C	3500	7000	2335

Fuente: Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento para Calentadores de Serpentin. **Fulton Thermal Corporation.** Pág. 12

De utilizar ventilación forzada, deberá tenerse el cuidado de no provocar una apreciable variación de presión dentro del cuarto de máquinas. Ciertas condiciones requieren la utilización de un *damp*er barométrico.

La utilización de ventilación artificial mediante extracción no es recomendada ya que puede crear una presión negativa dentro del cuarto de máquinas.

Esta presión negativa afectará negativamente la combustión y la correcta operación de la chimenea. (6)

Deberá tenerse el cuidado de permitir únicamente el acceso de aire limpio para la combustión del calentador. Sustancias extrañas como lo son combustibles volátiles pueden provocar condiciones peligrosas.

La utilización de ventiladores de extracción puede provocar una caída de presión dentro de la chimenea o ahogar el suministro de aire del ventilador. Ambos casos provocarán una mala combustión. Todos estos parámetros sugieren que un diseño adecuado de la ventilación del cuarto de máquinas es indispensable para mantener una combustión adecuada.

Hay que notar que aunque para los calentadores eléctricos no es necesario aire para la combustión, sí es necesario que dentro de la habitación circule suficiente aire como para mantener la temperatura del cuarto por debajo de los 37 grados Celsius.

5.3. Acceso

Es necesario dejar suficiente espacio alrededor del calentador como acceso para el correcto mantenimiento del mismo.

Todos los calentadores necesitan que se deje una distancia mínima en la parte superior para el acceso de personal de mantenimiento de ser necesario. Cuando no es posible respetar esta distancia mínima, deberá dejarse una trampa o acceso en el techo por arriba del calentador.

Los calentadores verticales de diseño anular necesitan que se deje espacio en la parte superior únicamente para el mantenimiento del quemador.

Los calentadores eléctricos necesitan que se deje suficiente espacio en la parte superior del mismo para la remoción de las resistencias con la finalidad de inspeccionarlas y limpiarlas.

Para darles mantenimiento rutinario, los calentadores de serpentín necesitan espacio en la parte superior únicamente para darle mantenimiento al quemador. Sin embargo, en el caso que estos calentadores necesiten reparaciones mayores que impliquen la remoción del serpentín, se deberá respetar distancias mínimas al techo del cuarto de máquinas que proporciona el fabricante. Estas distancias se encuentran en tablas similares a la Tabla IV. Si no es posible respetar estas distancias mínimas, el calentador deberá desconectarse y moverse a otra área para la remoción del serpentín. (6)

Tabla IV. Espacio libre mínimo necesario para remover el serpentín de varios modelos de un fabricante de calentadores de fluido térmico

Modelo	Pulgadas	Metros
FT-0080-C	60	1.6
FT-0120-C	66	1.7
FT-0160-C	66	1.7
FT-0240-C	73	1.9
FT-0320-C	80	2.0
FT-0400-C	94	2.4
FT-0600-C	124	3.2
FT-0800-C	126	3.2
FT-1000-C	126	3.2
FT-1200-C	126	3.2
FT-1400-C	140	3.6
FT-0080-C	60	1.6

Fuente: Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento para Calentadores de Serpentín. **Fulton Thermal Corporation.** Pág. 13

5.4. Instalación

5.4.1. Instalación de la bomba de recirculación de aceite

5.4.1.1. Ubicación

La bomba deberá colocarse tan cercana al calentador como sea posible. La base donde se coloque la bomba deberá ser firme, nivelada (de preferencia sobre concreto) y libre de vibraciones.

5.4.1.2. Conexiones de Tubería

La bomba deberá ser anclada de acuerdo a los requerimientos del fabricante y equiparse con acoples flexibles tanto en la succión como en la descarga. La función de estos acoples flexibles es la de prevenir que el estrés debido a la expansión de las tuberías, recaiga directamente sobre la bomba, así como el aislar de la tubería y el calentador la vibración causada por la bomba.

Estos acoples permiten la expansión y deflexión de la tubería y deberán seleccionarse para alta temperatura ya que son considerados parte de la tubería.

La tubería de succión deberá conectarse directamente a la sección de deaerador situada en el tanque de expansión y la conexión con el deaerador deberá hacerse en forma vertical utilizando la menor cantidad de accesorios (codos) posibles. Entre el deaerador y la bomba deberá colocarse además del acople flexible, un filtro en "Y" así como una válvula de compuerta.

La tubería de descarga de la bomba deberá conectarse directamente a la entrada del calentador y deberá de contar con una válvula de compuerta con su acople flexible. (1)

Algunas recomendaciones a seguir en la instalación de la tubería de succión para la bomba de recirculación de aceite térmico son:

- Que la tubería sea recta (sin vueltas).
- Que la sección recta de tubería de la bomba al primer *fitting*, válvula o acople flexible tenga por lo menos un largo equivalente a 6-10 diámetros de la tubería a utilizarse.
- Que la tubería a utilizarse tenga un diámetro igual al de la entrada de la bomba.
- Que la tubería de las inmediaciones de la bomba no este soportada por la misma. La bomba no esta diseñada para cargar el peso de la tubería por lo que un peso en cualquier parte de la bomba la sacará de alineación.

5.4.1.3. Alineación

La correcta alineación de la bomba afecta directamente la expectativa de duración de los cojinetes, de los acoples y los sellos.

A pesar que los fabricantes de equipo de fluido térmico alinean las bombas antes de dejar las fábricas, la alineación deberá ser revisada cuando el sistema este a temperatura de trabajo, debido a que el mismo se expande en operación.

El acople entre el motor y la bomba, deberá chequearse por alineación axial y angular y consultarse las especificaciones del acople para confirmar las tolerancias que el mismo permite. (1)

5.4.1.4. Lubricación

Las bombas enfriadas por agua incluyen una aceitera que es despachada de fábrica suelta. Esta aceitera deberá conectarse a la carcasa del cojinete de la bomba y llenarse con un lubricante recomendado por el fabricante de la bomba. Usualmente este lubricante será un SAE-30 sin detergente. Para estas bombas, el fluido térmico no es suficiente lubricante.

Las bombas enfriadas por aire no cuentan con una aceitera. Estas bombas cuentan con un cojinete de camisa el cual, al igual que los sellos, es lubricado por el fluido térmico. Estas bombas cuentan con una grasera ubicada en uno de sus extremos (cercano al acople) y viene llena, pero se le deberá reponer la grasa de acuerdo a las instrucciones del fabricante. (6)

Los motores eléctricos deberán ser lubricados de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

5.4.1.4.1. Sellos

Todos los sellos son lubricados por el fluido térmico, por consiguiente la bomba jamás deberá de funcionar en seco (sin fluido térmico).

Las bombas equipadas con sello mecánico o empaquetadura *Grafoil* garantizan su lubricación al ser llenadas con fluido térmico. Sin embargo, para asegurarse que todos los sellos estén lubricados en una bomba enfriada por aire, ésta deberá sangrarse. El sangrado de la bomba se consigue aflojando el tornillo de venteo hasta que salga fluido térmico sin aire atrapado. (1)

5.4.1.5. Bombas enfriadas por aire

Las bombas enfriadas por aire, deberán tener libre circulación de aire por toda su carcasa.

No deberá aislarse ninguna parte de estas bombas bajo ninguna circunstancia.

Las bombas enfriadas por aire no deberán operarse a temperaturas por encima de los 610 °F.

5.4.1.6. Bombas enfriadas por agua

Se deberá instalar una válvula de aguja en la entrada de agua a la bomba y deberá ajustarse de tal manera que la temperatura del agua a la salida sea de entre 120 °F-160 °F. Para el dimensionamiento de la tubería de abasto del agua, deberá consultarse al fabricante.

Por lo general, se le deberá suministrar a la bomba entre 2 y 5 gpm de agua a 40 grados Fahrenheit. La presión del agua deberá ser de 40 psi como mínimo. Si la temperatura del agua de enfriamiento es de 55 °F o mayor, deberá suministrarse mayor volumen de agua para compensar.

Para automatizar la operación del enfriamiento de la bomba de agua, se puede colocar una válvula solenoide en el tubo de abasto de agua y alambrarla de tal forma que se energice cada vez que arranca el motor de la bomba para que comience a circular el agua.

La salida del agua caliente de la bomba no debe restringirse bajo ninguna circunstancia por lo que no debe instalarse ningún tipo de válvulas.

5.4.2. Tanque de expansión, deaerador e intercambiador de calor

Algunos fabricantes combinan la operación del tanque de expansión, deaerador e intercambiador de calor lo cual simplifican tremendamente la instalación de los equipos.

5.4.2.1. Ubicación

El tanque deberá instalarse siguiendo las instrucciones del fabricante. Las recomendaciones dependerán del tamaño de la unidad así como del tipo de circuito a utilizarse.

La entrada a la sección de deaeración del tanque deberá colocarse por encima del punto más alta de la red de aceite con la finalidad de evitar bolsas de aire en la red de tubería así como rebalses.

La cabeza de presión requerida a la entrada de la bomba de recirculación de fluido térmico también deberá tomarse en cuenta para así evitar que la bomba cavite.

En sistemas operando a temperaturas cercanas al límite superior del fluido térmico, el tanque deberá elevarse lo suficiente, posiblemente muy por arriba del punto más alto de la red de tubería para así prevenir la cavitación de la bomba.

5.4.2.2. Conexiones

La conexión de venteo deberá instalarse de tal forma que se evite la entrada de agua o cuerpos extraños dentro del tanque. Esta conexión de venteo deberá de terminar en una área segura y bien ventilada y deberá de estar libre de obstrucciones, abierta a la atmósfera y dispuesta de tal forma que en el caso de una descarga de fluido térmico no exista peligro para el personal o las propiedades.

La tubería de venteo deberá ser del mismo diámetro que la salida del tanque y debe de correr directamente hacia abajo a desembocar en el tanque de recolección y contar con drenajes en todos los puntos bajos. (6)

La conexión entre la salida del tanque y la entrada a la bomba de recirculación del aceite térmico deberá ser tan vertical como sea posible con la finalidad de evitar que la bomba cavite.

Como se mencionó con anterioridad, la entrada al deaerador deberá de ubicarse arriba del punto más alto de la red de distribución del aceite térmico.

Las conexiones para verificar el nivel alto y bajo del aceite térmico dentro del tanque de expansión son 1/2 NPT y están ubicadas en el extremo del tanque opuesto a la entrada de aceite.

La conexión de verificación de nivel bajo esta justo en la línea central del tanque, la conexión de verificación de nivel alto esta justo a la par de ésta. La conexión para verificar el nivel alto de aceite va desde el fondo del tanque de expansión y termina 4 pulgadas por debajo de la parte superior del tanque. La conexión para verificar el nivel bajo sólo se eleva 2 pulgadas del fondo del tanque de expansión.

Tanto la conexión de verificación de alto nivel como la de bajo nivel deberán estar conectadas al tanque de recolección. Debido a que las válvulas en estas conexiones no estarán expuestas constantemente a altas temperaturas, pueden ser válvulas estándar de bronce para 125 psi de presión. Las válvulas deberán instalarse en el tanque de recolección. Las válvulas deberán instalarse de tal forma que cuando las válvulas estén abiertas se pueda apreciar el flujo de aceite.

Un flujo de aceite cuando este abierta la válvula de la conexión de verificación del alto nivel, significará que el tanque esta muy lleno; por el contrario, si no hay flujo por conexión de verificación de bajo nivel, significará que hay muy poco aceite en el sistema. (6)

Hay un *flange* de drenaje para 300 psi en el fondo de la sección de intercambio de calor, con la finalidad de poder drenar el tanque cuando sea necesario. Este *flange* deberá conectarse al tanque de recolección.

La conexión para el interruptor de nivel de líquido es de 2-1/2 NPT y deberá estar ubicada en el extremo del tanque del mismo lado que la entrada de aceite.

5.4.3. Conexiones eléctricas

Se debe proveer un fusible con su interruptor de cuchilla por separado para cada uno de los siguientes equipos:

- Bomba de recirculación de aceite térmico.
- Circuito de control.
- Motor del ventilador y bomba de aceite (unidades a combustible)
- Resistencias eléctricas para el calentamiento (unidades eléctricas).

Los fusibles deberán de ser dimensionados de acuerdo a la placa de los motores, capacidad de las resistencias y los códigos locales.

Los calentadores vienen de fábrica completamente alambrados a excepción del interruptor para control de nivel en el tanque de expansión.

5.4.3.1. Voltaje y frecuencia

Los voltajes estándares empleados en los calentadores son de 240/480 voltios, 3 fases, 60 HZ en corriente alterna, siempre y cuando no se especifique diferente.

Se deberá contar con una línea adicional 120/60 de corriente alterna para el circuito de los controles en el calentador, a menos que el calentador se hubiese solicitado con un transformador para los controles.

En los calentadores verticales de tipo anular, el motor que mueve la bomba para el combustible y el ventilador es lo suficientemente pequeño para ser monofásico. En este caso, una sola fuente 120 V es suficiente para el motor y los controles.

En todas las unidades, la bomba de recirculación de aceite térmico, el motor del ventilador y la bomba de combustible en las unidades de serpentín y las resistencias eléctricas en todas las unidades eléctricas deberán contar con su respectiva fuente de corriente trifásica.

Se deberá chequear el voltaje disponible en las instalaciones y cerciorarse que éste no difiere del voltaje nominal especificado en el equipo en un rango mayor de más o menos un 10%.

5.4.4. Calentador de aceite de fluido térmico con quemador

5.4.4.1. Conexiones de combustible aceite

Las líneas de abastecimiento de combustible deberán estar hechas de materiales aprobados por los códigos respectivos y deberán tener el diámetro suficiente para poder trasegar el combustible necesario al quemador así como capacidad para soportar la presión estática en la línea.

En la línea de succión de combustible deberá instalarse un filtro así como una válvula de control de paso (bola).

En la línea de retorno de combustible, deberá instalarse una válvula de cheque.

En unidades con piloto a gas, deberá contarse con un cilindro de gas capaz de proveer el mismo a 11 pulgadas de columna de agua.

La presión máxima a la entrada de la bomba de combustible será de 3 psig. Si la presión del combustible a la entrada de la bomba excede este parámetro, deberá colocarse un regulador de presión.

Por lo regular, esto sucederá si el tanque de combustible esta a más de 8 pies por encima de la bomba. (6)

5.4.4.2. Conexiones de combustible gas

El tren de gas y ensamble del quemador terminan en una válvula de bola a la cual se deberá conectar la línea de gas. El diámetro de la tubería deberá ser consistente con la demanda de gas del quemador en BTU/Hr. Se deberá evitar caídas grandes de presión. Se recomienda que la tubería de abastecimiento entre la válvula reguladora de presión y la entrada al calentador sea lo más corto posible.

La presión de abastecimiento del gas a la entrada del quemador varía con el tamaño del calentador y con el tipo de gas que se va a quemar. Por lo general, la presión del gas propano debe de ser de 7 pulgadas de columna de agua a la entrada del calentador.

5.4.4.3. Chimenea y gases de escape

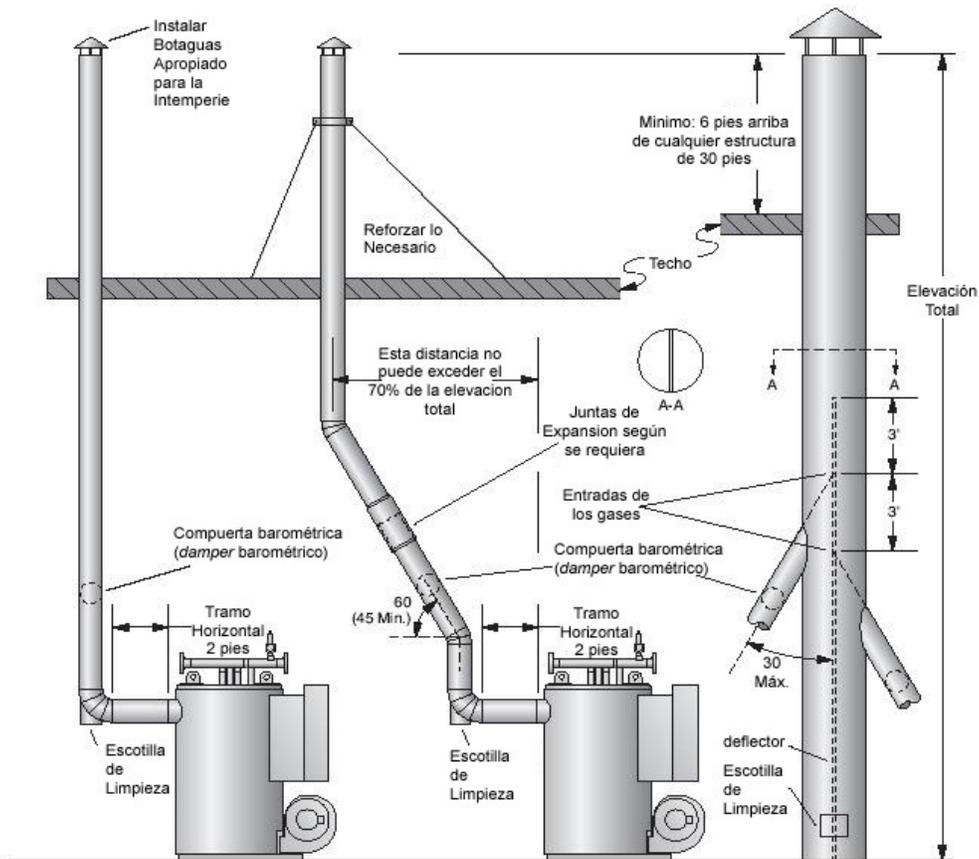
Se deberá de conectar una sección horizontal de chimenea del tamaño adecuado a la salida de gases del calentador. En los calentadores del tipo vertical de diseño anular, la sección horizontal de la chimenea deberá ser de un diámetro igual a la salida de los gases del calentador. En los calentadores del tipo serpentín, la sección horizontal de la chimenea deberá ser de un diámetro de por lo menos una medida mayor al diámetro de la salida de los gases del calentador.

La sección horizontal de la chimenea no deberá tener más de dos codos a 45 grados. Si el espacio lo exige, puede instalarse un codo de 90 grados en la parte trasera del calentador. Cualquier otra disposición de chimenea deberá de proveer una tiro de 0.02 a 0.04 pulgadas negativas de columna de agua. (1)

Salvo las excepciones descritas con anterioridad, las secciones horizontales en la chimenea deben de ser evitadas y en su defecto no deberán de exceder los 4 pies en total.

La sección horizontal de la chimenea no deberá exceder un 70% de la altura de la chimenea (sección vertical). Esta regla es válida únicamente para la disposición de chimenea mostrada en la Figura 8.

Figura 8. Recomendación para la instalación de una chimenea



Fuente: Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento para Calentadores de Serpentin.
Fulton Thermal Corporation. Pág. 22

La chimenea deberá estar construida de un material capaz de soportar los 1200 grados Fahrenheit (temperatura de operación).

Se deberá prever un soporte adecuado para la chimenea con la finalidad que el peso de la misma no recaiga sobre la salida de los gases del calentador.

5.4.4.3.1. Condiciones

Cuando el quemador del calentador este funcionando, el tiro deberá de ser negativo y constante. Una lectura de 0.02 a 0.04 pulgadas de columna de agua cuando la unidad y chimenea están frías usualmente indica que hay suficiente tiro.

Cuando hay un tiro demasiado fuerte e irregular, se deberá instalar un regulador de tiro (*damper* barométrico).

Para mantener una temperatura razonable en el área alrededor del calentador y garantizar la seguridad del personal que trabaja cerca del mismo, la sección del ducto de la chimenea que esta dentro del edificio deberá aislarse. (6)

5.4.5. Sistemas de tubería

Deberá prestarse mucha importancia a la necesidad de contener el fluido dentro del sistema, por lo que es necesario considerar un buen diseño de tubería, soldadura, *flangeado* adecuado, empaquetadura, y cualquier otro factor que ayude a eliminar las fugas.

Deberá tenerse especial cuidado en que ningún elemento que este en contacto con el fluido térmico (tubería, valvulería, cedazos) este hecho de cobre, aleaciones de cobre, aluminio o hierro forjado. El hierro forjado es poroso a los fluidos térmicos, el cobre y aluminio actúan como catalizadores en la degradación de algunos fluidos térmicos. Se recomienda la utilización de acero al carbón o acero inoxidable.

Para aplicaciones estándar, todos los componentes deberán estar diseñados para soportar 650 grados Fahrenheit, a menos que se especifique lo contrario.

Toda la tubería, valvulería y demás equipo que integra el circuito deberá estar diseñado para soportar una presión mínima de operación equivalente a la que este estampada en el calentador, por lo general esa presión es de 100 psi.

Si la válvula de aislamiento (de los usuarios) esta completamente cerrada, la presión del sistema subirá a la presión máxima que dé la bomba de recirculación del fluido térmico. Si los accesorios del sistema han sido calculados de forma muy ajustada, y esta situación se presenta, lo más seguro es que no soporten el exceso de presión. Si por alguna razón es necesario instalar tubería y accesorios diseñados para presiones por debajo de los 100 psi, una buena opción será la de incrementar el diámetro de la misma y colocar válvulas de seguridad.

Si el diseño del circuito requiere la instalación de una segunda bomba de recirculación del fluido, deberán utilizarse tubería y accesorios diseñados para soportar la presión combinada de las dos bombas.

Durante la construcción de la instalación, es imprescindible que no quede suciedad, agua o residuos de la soldadura dentro del sistema.

5.4.5.1. Equipo

Deberá de instalarse una válvula de compuerta, un filtro en “Y” y un acople flexible entre la bomba de recirculación y el tanque de expansión.

5.4.5.2. Tubería

Toda la tubería a utilizarse en la instalación deberá de ser hierro negro sin costura fabricado, según la norma ASME SA-106B o SA-53A. La tubería deberá ser cédula 40 o su equivalente.

Se deberá dimensionar correctamente las juntas de expansión flexibles o deberán construirse las apropiadas juntas de expansión mecánicas para poder acomodar la expansión térmica. Para calcular la expansión térmica deberán utilizarse las temperaturas más elevadas que se utilizaran en el proceso, sin importar que la junta a dimensionarse vaya a estar en la alimentación o en el retorno del fluido térmico. La tubería de acero se expandirá aproximadamente 1 pulgada por cada 100 pies por cada 100 grados Fahrenheit de temperatura que la misma se eleve (1 milímetro por cada metro por cada 100 grados Fahrenheit). (1)

Se deberán utilizar soportes y anclajes en todos los tramos de la tubería donde sea necesario para prevenir esfuerzos a los equipos por el peso de la misma y se deberá resguardar las bombas, válvulas, y el calentador mismo. También deberán utilizarse los anclajes y soportes adecuados para que no interfieran con la expansión térmica de la tubería.

Todas las tuberías y accesorios deberán de ser soldados o *flangeados*. Deberá de evitarse siempre que sea posible roscar la tubería y los accesorios. NUNCA deberá utilizarse tubería o accesorios roscados en las tuberías de flujo de alimentación.

Todos los *flanges* deberán ser soldados a la tubería y NO roscados. Además, deberán cumplir con la norma ASME 300 lbs.

Para preparar todas las uniones de los *flanges* deberá utilizarse empaquetadura apropiada para fluido térmico a altas temperaturas. La empaquetadura estándar elaborada de asbesto comprimido es apropiada para la mayoría de los fluidos térmicos. El grosor adecuado de la empaquetadura es de 1/10 a 1/8 de pulgada.

Todos los pernos deberán ser apretados uniformemente y al torque recomendado por el fabricante de la empaquetadura. Así mismo, todas las tuberías deberán ser instaladas con un pequeño desnivel para facilitar el drenaje y el venteo.

5.4.5.3. Conexiones del sistema

Si por alguna razón deben de emplearse conexiones roscadas a los elementos de control del equipo, entonces deberá utilizarse cinta adhesiva especial o sellante para rosca (Felpro HPS o equivalente), adecuados para ser utilizados con fluidos a altas temperaturas ya que cinta adhesiva de teflón, y pastas para tubería estándar no son aceptables. Las roscas deberán ser elaboradas con cuidado y precisión. Bajo ningún término se podrán utilizar conexiones roscadas de más de 1 pulgada de diámetro.

El sistema es usualmente llenado desde el punto más bajo con la ayuda de una bomba. En algunos equipos, usualmente se suministra una conexión para drenaje y llenado en la tubería de entrada de la bomba de recirculación del aceite. Deberá de notarse que la bomba de recirculación NO deberá de ser utilizada para llenar el sistema. (6)

Se deberá de dejar una conexión de llenado en la parte vertical de la tubería de venteo. Esta conexión deberá estar tapada durante la operación normal del equipo. Este punto de llenado podrá ser utilizado para reponer aceite al sistema cuando sea necesario.

5.4.5.4. Conexiones del calentador

La salida de descarga de la bomba de recirculación deberá de conectarse directamente a la entrada del calentador utilizando una válvula de aislamiento (compuerta) y un acople flexible para bomba.

La salida del calentador deberá de conectarse directamente al sistema mediante la utilización de una válvula de aislamiento (compuerta). La mayoría de los equipos traen ya montado un interruptor de flujo pero de no venir ya instalado, deberá instalarse uno, de preferencia en la tubería de entrada del aceite al calentador, aunque si se instala en la tubería de descarga del calentador, también es aceptable. Es importante cuidar que al instalar el interruptor, la flecha de éste apunte en la dirección del flujo.

Deberá de instalarse un manómetro de vacío en la tubería de entrada de la bomba de recirculación del fluido térmico y una válvula de seguridad en la tubería de descarga del calentador. Así mismo, a la descarga de la válvula de seguridad, se debe conectar tubería dirigida hacia un lugar donde la misma pueda descargar con seguridad, de preferencia hacia un tanque de recolección de aceite. La tubería de descarga bajo ninguna circunstancia podrá estar restringida, y tampoco debe llevar válvulas. Deberá estar debidamente soportada para que el peso de la misma no recaiga sobre la válvula de seguridad ya que si el cuerpo de la misma se deforma, ocurrirán goteos.

5.4.6. Manómetros y termómetros

Debido a los rangos de presión que se utilizan, es recomendable utilizar manómetros de rango intermedio. Los manómetros de presión, deben ser capaces de soportar la presión a la que la válvula de seguridad se disparará, que por lo regular, oscila por 100 psig.

Los termómetros deberán llegar hasta los 650 grados Fahrenheit como mínimo.

Debe evitarse una lectura de vacío por encima de las 4"Hg en la entrada de la bomba de recirculación del aceite térmico para asegurarse que la bomba no esta cavitando. Una lectura fluctuante de presión en la entrada del calentador es señal que la bomba esta cavitando.

5.4.7. Válvulas

Las válvulas de venteo y drenaje que se utilicen por lo general, debe ser de 1/2" o 3/4" de diámetro, y tanto el cuerpo como los sellos deben estar hechas de materiales que soporten los fluidos térmicos a altas temperaturas. Estas válvulas pueden ser roscadas si son instaladas en secciones no menores a los 12 pulgadas de largo y en todo caso se deberá utilizar el material sellante apropiado (Felpro HPS).

Las válvulas de drenaje deberán ser instaladas en los puntos mas bajos de la red de tuberías de la instalación así como las válvulas de venteo deberán de ser instaladas en los puntos más altos.

Las válvulas que se utilicen en la instalación, deberán estar provistas de ya sea un compartimiento para empaquetadura intercambiable o bien, de un sello flexible. Si se selecciona la opción de empaquetadura intercambiable, el empaque deberá ser de *Grafoil* o similar. También deberán contar con un asiento trasero para que el empaque pueda ser cambiado sin necesidad de vaciar el sistema.

En todas las unidades es necesario instalar un filtro en “Y” en la línea de retorno del fluido, entre el tanque de expansión y la bomba de recirculación de fluido térmico. Deberán instalarse válvulas de cierre a ambos lados del filtro en “Y” para poder aislarlo y así limpiar el elemento. El elemento de este filtro deberá ser Mesh 60 y siempre deberá estar en su posición durante el funcionamiento normal del sistema. La presión de succión de la bomba deberá medirse periódicamente bajo condiciones similares de operación. Un aumento en la presión de succión indica que el elemento del filtro en “Y” está sucio y debe ser limpiado.

Para aislar el filtro en “Y” pueden usarse válvulas de globo, de bola, de compuerta o cualquier otro tipo de válvula que pueda cerrar bien el paso del fluido. Cuando existe la posibilidad que se requiera hacer un balance manual del paso de aceite, deberá utilizarse una válvula de globo o de bola.

Las válvulas a emplearse para el control del paso del aceite o como aislantes de algún elemento deberán ser *flangeadas* o soldadas, fabricadas de acero forjado, acero fundido o hierro negro. Los sellos y componentes internos deberán estar hechos de materiales que soporten altas temperaturas. (1)

5.4.8. Válvulas para control automático del fluido

Debido a la gran variedad de aplicaciones que existen para los calentadores de fluido térmico, no es posible especificar reglas a seguir en la selección de válvulas para el control automático del fluido. En general, estas válvulas deberán cumplir con las especificaciones de materiales y construcción de las válvulas normales. El tipo de operación y diseño de aplicación determinarán las válvulas a utilizarse.

5.4.9. Válvulas de *by-pass*

Cuando los requerimientos de flujo del proceso no coincidan con los requerimientos de flujo del calentador, es necesario utilizar una válvula de *by-pass*. Cuando el proceso requiere un flujo constante determinado deberá también de utilizarse un orificio.

Si el flujo del proceso varía dependiendo de la carga o demanda, deberá instalarse una válvula reguladora de contra presión.

5.4.10. Comprobación de la instalación

Después de completar la instalación, deberá de efectuarse un examen neumático no excediendo los 15 psig. Pruebas con jabón deberán de realizarse en todas las soldaduras y uniones para asegurarse de que no hay fugas en el sistema y bajo ninguna circunstancia, el sistema deberá de llenarse con agua.

Hay que asegurarse que el aire a utilizarse en la prueba neumática este tan libre de humedad como sea posible.

El mejor método para hacer estas pruebas es la introducción de nitrógeno (de un tanque) a través de una válvula controladora de presión y verificar las lecturas de presión en todos los equipos para asegurarse que son capaces de soportar la presión involucrada. (3)

5.4.11. Aislamiento

Después de realizadas satisfactoriamente las pruebas correspondientes al sistema, toda la tubería, incluyendo *manifolds* en el calentador, deberán aislarse adecuadamente con materiales apropiados para la alta temperatura para así prevenir pérdidas de calor y daños personales.

Por razones de seguridad, la chimenea y ductos de escape de gases deberán aislarse del calor de la misma forma que la sección de deaeración del tanque combinado.

Por el contrario, no deberán aislarse las secciones de expansión y la de intercambio de calor en el tanque combinado.

En unidades operadas con mantos de gases inertes sobre el fluido en el tanque de expansión, puede aislarse todo el tanque combinado, incluyendo las secciones de expansión e intercambio de calor, ya que ha sido eliminada la posibilidad de oxidación del fluido, aunque no es imprescindible.

Por razones de mantenimiento e inspección, es recomendable que las bombas, flanges y válvulas no sean aisladas pero por razones de seguridad sí deben estar protegidas.

El aislamiento para la tubería de aceite caliente deberá ser de 2 pulgadas de espesor para alta temperatura, laminada y de preferencia este aislamiento deberá ser de espuma y no permitir pérdidas de calor de más de 80 Btu/Hr por pie lineal. (6)

5.5. Arranque y operación del sistema

5.5.1. Revisión previo al arranque

Previo al arranque, revisar los siguientes puntos tratados con anterioridad relacionados con la instalación.

- Piso nivelado fabricado de material duro y no combustible.
- Tomar las precauciones pertinentes con el sistema de ventilación en caso de vapores volátiles del combustible.
- Acceso alrededor del calentador para poder prestarle el correcto mantenimiento.
- Instalación correcta de la chimenea.

Revisar la instalación de servicios.

- Alambrado eléctrico y voltaje requerido.
- Ventilación suficiente para la combustión.
- Suministro y tubería de combustible.
- Suministro de la suficiente ventilación para la bomba de recirculación de aceite enfriada por aire.
- Suministro de agua para la bomba de recirculación de aceite enfriada por agua.

5.5.1.1. Bomba de recirculación

La bomba de recirculación de aceite nunca debe de ser accionada sin aceite dentro de la carcasa. En bombas con sello mecánico o sellos enfriados por aire, el aire deberá ser sangrado fuera de la caja del sello para asegurarse que el fluido térmico ha lubricado todos los sellos y cojinetes. Si la bomba es operada, aunque sea por un corto tiempo, sin haber hecho el sangrado de aire, la misma se dañará.

En bombas con sello mecánico, deberá abrirse la conexión de drenaje de la caja del sello. En bombas con sello enfriado por aire deberá abrirse la conexión para sangrado de aire ubicada directamente sobre el eje de la bomba y deberá reemplazarse el tapón cuando se consiga un flujo constante de aceite libre de aire por la conexión.

Ahora bien, si el flujo no se ha iniciado después de dos o cinco minutos, deberá removerse el cobertor de acople y rotarse el eje a mano en la dirección correcta. Esto ayudará al aceite frío a circular por áreas estrechas.

Si los anteriores métodos fallan en la inducción de flujo, es necesario introducir aceite por la conexión de sangrado y rotar el eje de la bomba a mano, de tal manera que el aceite llegue al área del sello. Posteriormente se necesitará agregar aceite y rotar el eje hasta que la conexión no acepte más aceite. Luego, se procederá a reemplazar el tapón y arrancar la bomba por un tiempo de 5 a 10 segundos. Inmediatamente se deberá apagar la bomba y esperar a que inicie el flujo. Si después de dos minutos el flujo no ha iniciado, es necesario agregar más aceite como se describió con anterioridad y arrancar la bomba nuevamente por cinco minutos. (6)

Se requerirá verificar constantemente el área de los cojinetes por sobrecalentamiento y para ello simplemente se remueve el tapón y se comprueba que haya flujo.

Si el flujo no ha comenzado en este punto, el aceite puede ser muy viscoso para circular por el área de los sellos por lo que se deberá arrancar el sistema normalmente y elevar la temperatura a 50 grados Fahrenheit para luego parar la bomba y verificarla por flujo. Seguidamente, se continuará elevando la temperatura del sistema a intervalos de 50 grados Fahrenheit y chequeando la bomba hasta que se inicie el flujo.

Es importante mencionar el cuidado especial que deberá tenerse al retirar el tapón de la bomba cuando la temperatura del sistema se haya ya elevado, por lo que se recomienda siempre utilizar protección para los ojos y manos. Una vez elevada la temperatura, es necesario retirar el tapón muy despacio para así permitir que se libere la presión bajo el mismo, con la finalidad que el aceite no brinque en forma atomizada (*spray*).

La bomba no debe de ser sometida a ninguna clase de shock térmico o de presión. Por consiguiente, el aceite deberá dejarse que circule en la carcasa de la bomba en forma lenta.

Por otro lado, se deberá realizar un chequeo de campo para asegurarse de que todas las conexiones han sido hechas en los lugares correctos y que las conexiones eléctricas al motor también estén hechas correctamente.

Para asegurarse de que no hay ningún tipo de roce tanto en la bomba como en el motor, se deberá rotar el eje de la bomba a mano y corregir cualquier problema inmediatamente.

Una vez realizado estos procedimientos, se deberá verificar que la bomba este correctamente alineada en frío según las instrucciones que se proporcionaron en el capítulo de instalación, y corregir de ser necesario. Será requisito realinearla a temperatura de operación (ver instrucciones en el capítulo de mantenimiento) para luego asegurarse que esta bien aceiteada o engrasada.

En bombas con sellos de empaquetadura se deberá asegurar que la aprieta estopas este apretado antes de llenar el sistema.

El procedimiento a seguir en el arranque de bombas con estos sellos se proporcionará mas adelante en este capítulo.

5.5.1.2. Llenado del sistema

La viscosidad del fluido térmico por lo general es bastante alta (500 cS) a la temperatura ambiente. Por debajo de los 50 grados Fahrenheit (10 grados Celsius algunos fluidos se vuelven bastante espesos. Los fluidos deberán almacenarse a temperaturas de aproximadamente 22 grados Celsius antes del llenado, con el objetivo acelerar el mismo. (6)

Con el objetivo de evitar que se formen bolsas de aire, el sistema deberá ser llenado desde el punto más bajo del mismo. Cuando se trata de un sistema acoplado de fábrica en el cual se incluyen los accesorios entre la bomba de recirculación y el tanque de expansión, por lo general se incluye un agujero de aproximadamente 3/4 pulgada para el llenado y drenaje del sistema localizado cerca de la succión de la bomba de recirculación.

Para el llenado del sistema se puede utilizar una bomba portátil de alta velocidad como las utilizadas en el trasiego de químicos, pero asegurándose que no esté contaminada ya que los fluidos térmicos podrán dañarse al tener contacto con humedad u otro fluido térmico. Tampoco puede utilizarse la bomba de recirculación del equipo para llenar el sistema.

No se recomienda el presurizar los tambores para forzar el fluido térmico dentro del sistema. Los tambores pueden explotar causando un peligro para el personal que se encuentre cerca.

5.5.1.2.1. Preparación del sistema antes del llenado

Antes del llenado, es necesario verificar que haya una total ausencia de agua en la tubería y fluido para lo que deberá abrir todos los drenajes y soplar aire (seco) o nitrógeno si esta disponible.

También es necesario verificar que no quedaron obstrucciones en el circuito del fluido térmico después de realizadas las pruebas de fugas en el sistema y que la tubería esta libre para expandirse cuando se caliente.

Todas las válvulas hacia los circuitos de consumo deberán abrirse, incluyendo las válvulas de purga de aire en los puntos altos y las válvulas de drenaje en los puntos bajos del recorrido de la tubería, así como la conexión de verificación del nivel del fluido ubicada en la sección del tanque de expansión.

5.5.1.2.2. Procedimiento de llenado

El sistema deberá ser llenado lentamente, asegurándose de ir cerrando todas las válvulas de purga y drenaje cuando el fluido llegue a ellas.

Cuando el fluido llegue y fluya por la conexión de bajo nivel del fluido ubicada en el tanque de expansión, se deberá desacelerar el llenado del sistema y cerrar la conexión de bajo nivel de fluido para luego seguir llenando hasta que cierre el interruptor de nivel. Después que el fluido haya pasado por la conexión de bajo nivel de fluido, únicamente será necesario agregar una pequeña cantidad de fluido extra al sistema. (6)

Si el fluido comienza a fluir por la conexión de alto nivel de fluido ubicada en el tanque de expansión, deberá drenarse una cantidad del mismo hasta que el nivel de fluido este justamente entre la conexión de alto nivel de fluido y el interruptor de nivel.

El llenado habrá finalizado cuando el fluido alcance el punto más bajo del tanque de expansión necesario para accionar el interruptor de nivel para finalmente verificar que el interruptor de nivel opere libremente (ver instrucciones más adelante).

5.5.2. Arranque

5.5.2.1. Recirculación en frío

Lo primero que deberá hacerse es colocar el interruptor principal de energía en la posición de encendido para luego corroborar el nivel correcto de fluido en el tanque de expansión.

La bomba de recirculación de fluido térmico deberá ser encendida con la válvula de succión completamente abierta y la válvula de descarga abierta sólo un poco.

Posteriormente deberá verificarse que la rotación de la bomba de recirculación sea la correcta, para lo cual deberá retirar el espaciador del acoplamiento flexible con la finalidad de desacoplar la bomba del motor y luego colocar el selector de la bomba en la posición 1. La luz verde deberá encender y se deberá observar la dirección de rotación del motor. La rotación debe ser en la dirección que aparece en la carcasa de la bomba. Si la rotación es incorrecta, deberá regresar el selector a la posición 0 inmediatamente, para cambiar el cableado del motor ya que operar la bomba en la dirección equivocada, puede provocarle daños severos. Cuando la rotación este en el sentido correcto, ya se pueden colocar nuevamente el espaciador del acople flexible.

En este proceso es necesario verificar el correcto alineamiento de la bomba de recirculación con el motor y de ser necesario, deberá alinearse a temperatura.

Para que la bomba funcione pero no el quemador, es necesario presionar el botón de control en posición 1 y mantener presionado el botón de encendido de la bomba de recirculación.

Tan pronto como la bomba este funcionando a alta velocidad, la válvula de descarga deberá abrirse lentamente. Una bomba centrífuga no puede ser operada con la válvula de descarga cerrada sin ocasionarle un sobrecalentamiento peligroso. Cuando la válvula de descarga este abierta, el botón de encendido de la bomba puede ser liberado. (6).

Si al liberar el botón de encendido la bomba se apaga, deberá verificarse el correcto flujo de aceite en el sistema así como la calibración de los interruptores de baja y alta presión del fluido en el sistema. También deberá verificarse el interruptor de nivel del fluido.

Posteriormente, es necesario verificar que las presiones manométricas permanezcan estables. Presiones que excedan los 100 PSI o lecturas de presión igual en los manómetros de entrada y salida significa que hay una válvula cerrada. Si hay una lectura de vacío muy elevada (15 pulgadas de columna de mercurio o más), significa que la válvula entre la bomba de recirculación de aceite y el tanque de expansión esta cerrada. En este caso los manómetros no mostrarán presión. (6)

5.5.2.2. Filtrando el sistema

Inicialmente la lectura del manómetro del sistema mostrará 0 o una pequeña lectura. Después de unos momentos, las lecturas de los manómetros se irán al vacío indicando que el filtro en “Y” se esta tapando.

Típicamente, una lectura igual o menor a 4 pulgadas de columna de mercurio en vacío en el manómetro de succión de la bomba de recirculación, significa que el filtro debe ser limpiado.

El mesh del filtro en “Y” deberá ser retirado, limpiado y reemplazado para luego dejar que la bomba de recirculación funcione nuevamente por algunos minutos, y de ser necesario, repetir el procedimiento de filtrado hasta que la lectura del manómetro de succión de la bomba permanezca estable después de ser limpiado. La cantidad de tiempo necesaria para el filtrado variará con el tamaño del sistema.

Cuando el sistema es inicialmente calentado se liberaran nuevamente escamas de la tubería así como escoria de la soldadura lo cual entrará al flujo de aceite. Esta escoria se quedará atrapada en el filtro en “Y” ocasionando que nuevamente el manómetro de succión de la bomba de recirculación dé lecturas de vacío. Por consiguiente, el procedimiento de filtrado deberá repetirse las veces que sea necesario mientras el calentador esta funcionando.

5.5.2.3. Encendiendo el quemador del calentador

Lo primero que deberá realizarse es verificar el correcto abastecimiento de combustible, que todo el aire sea purgado de las líneas de combustible, tubería de gas, precalentadores, etc y que todas las válvulas manuales localizadas en las líneas de abasto de combustible esten abiertas ya que nunca deberá accionarse la bomba de combustible en seco o sin conectar a la fuente de combustible.

Se recomienda también como en todo proceso, atender las normas de seguridad

Una vez realizado este proceso se deberá colocar el botón de control en posición 2 para que el quemador inicie su ciclo.

Con el quemador encendido y la bomba de recirculación funcionando, se deberán constantemente revisar los manómetros que indican la presión de la bomba y del circuito y asegurarse que las lecturas permanecen estables. En caso de que la presión fluctúe, deberá apagarse el quemador pero dejar la bomba de recirculación encendida para lograr estabilizar la presión, y así encender nuevamente el quemador.

Este procedimiento se continuará haciendo hasta llegar a la temperatura de operación del sistema. Durante el primer calentamiento del equipo, se deberá observar el tanque de expansión y su tubería de rebalse para detectar la formación de espuma que es un indicativo de la presencia de agua.

Agua en el fluido puede provocar la descarga de cierta cantidad de fluido tan pronto como la temperatura del sistema alcanza los 212 grados Fahrenheit. Si esto sucediera, no se podrá exceder los 212 grados Fahrenheit hasta que la formación de espuma y expulsión de fluido hayan parado por completo. El vapor de flasheo se puede formar en cualquier momento en lo que se alcanza la temperatura de operación y deberá tenerse cuidado con las fluctuaciones manométricas.

Seguidamente, deberá incrementarse la temperatura del aceite térmico lentamente, de tal forma que los cambios de temperatura no sean mayores a los 100 grados F (38 grados Celsius) por hora y que de ninguna manera se exceda la temperatura máxima de salida del aceite que ha sido especificada por el fabricante. Si no se cuenta con la información específica, deberá consultar al fabricante del calentador antes de proceder.

Si el tanque de expansión no cuenta con un interruptor de nivel, deberá de abrir constantemente la conexión de bajo nivel del fluido ubicada en el tanque de expansión mientras incrementa la temperatura del aceite. Si no hay un flujo permanente de aceite cuando la conexión esta abierta, de deberá detener inmediatamente el quemador y la bomba de recirculación y agregue más aceite al sistema, el cuál siempre deberá ser exactamente la misma marca y tipo que se utilizo originalmente para el llenado del sistema.

Cuando se ha alcanzado la temperatura de operación deseada, deberá verificarse el nivel de aceite en el tanque de expansión abriendo la conexión de alto nivel de fluido. Si hay un flujo continuo de aceite cuando esta conexión esta abierta y se han seguido todas las recomendaciones anteriores, significa que el tanque de expansión es demasiado pequeño para la capacidad de aceite en la instalación por lo que un tanque de mayor capacidad deberá instalarse.

Después de cincuenta horas de operación a temperatura de operación del sistema, deberán verificarse todos los flanges y conexiones para asegurarse que están bien apretadas.

5.5.3. Operación de rutina

5.5.3.1. Caída de presión requerida dentro del calentador

La caída de presión del fluido térmico dentro del calentador es crítica por lo que deberá ser calculada después de terminado el procedimiento de arranque del sistema.

El valor de la caída de presión dentro del calentador se obtiene restando la presión del aceite en la salida del calentador a la presión del aceite en la entrada del calentador cuando el calentador esta trabajando a temperatura normal de operación.

Si la lectura de pérdida de presión es diferente a la especificada por el fabricante, deberá contactarse al mismo inmediatamente. Si no se presta la debida atención a este problema (bajo flujo de circulación de aceite) el mismo puede ocasionar una rápida degradación del aceite térmico y posible daño al calentador.

5.5.3.2. Arranque diario

Es necesario que todos los días se verifique la posición de todas las válvulas del sistema para asegurarse que el flujo no tenga obstrucciones y en forma visual, verificar la posición relativa del interruptor de nivel en el tanque de expansión si se cuenta con él. De no contarse con este interruptor, deberá verificarse manualmente la conexión de bajo nivel de fluido.

Seguidamente deberá ponerse en posición de encendido los interruptores de energía y abrir las válvulas de combustible. Colocar el interruptor de 3 posiciones en la posición 1 para luego oprimir y mantener oprimido el botón de encendido manual de la bomba, monitoreando la lectura de los manómetros en el calentador. Seguidamente, deberá oprimir el botón de reinicio en el presostato de alta presión del fluido ubicado en el panel de control. Una vez hecho este proceso, se podrá liberar el botón de encendido manual de la bomba de recirculación y la misma deberá continuar encendida.

Cuando todo este listo para iniciar el calentamiento del aceite, deberá moverse el interruptor de 3 posiciones de la posición 1 a la posición 2. Después de un pequeño intervalo de tiempo, el quemador arrancará por lo que es necesario asegurarse que los controles de temperatura estén ajustados a las temperaturas deseadas.

En las unidades con quemador de gas, el control indicará la activación del piloto de encendido después de completado el ciclo de prepurga; acto seguido si hay señal de la fotocelda, se abrirá el paso principal de combustible. Se puede monitorear la presencia de la llama observando la lectura que emana la fotocelda. Esta lectura se puede ver ya sea en la pantalla del control programador o bien utilizando un *tester*.

Por razones de seguridad, es recomendable que el operador del equipo este presente todos los días durante el período en el cual se incrementa la temperatura del aceite térmico a las condiciones de trabajo. El arranque diario se considera concluido cuando el calentador empieza a apagarse y encenderse debido a que se ha alcanzado la temperatura de trabajo deseada.

5.5.3.3. Apagado diario

Para este proceso se deberá colocar el interruptor de control en posición 1 (bomba de recirculación encendida y quemador apagado) y permitir que el fluido recircule por unos 20 ó 30 minutos para que el mismo comience a enfriarse, para luego colocar el interruptor de control en posición 0.

Se deberán apagar interruptores eléctricos y si el calentador tiene un temporizador de apagado, el equipo deberá contar con un *relay* para permitir que la bomba de recirculación continúe trabajando por unos 20 ó 30 minutos después de que el calentador se ha apagado con la finalidad que no se ocasionen sobrecalentamientos localizados del fluido.

5.5.3.4. Verificación de seguridad

Los calentadores de fluido térmico están equipados con numerosos dispositivos de seguridad con la finalidad de mantener condiciones seguras de operación para el personal, el equipo y el fluido térmico. Con la finalidad de familiarizarse con estos dispositivos de seguridad y confirmar su correcto funcionamiento, al arrancar el equipo a diario se deben de repasar las normas de seguridad recomendadas por el fabricante.

5.5.3.5. Interruptor de nivel

Tal como se explicó con anterioridad, la mayoría de los fabricantes de equipos para fluido térmico proveen un interruptor de nivel en el tanque de expansión con la finalidad de apagar el sistema en el caso que, debido a pérdidas de fluido térmico en el sistema, el nivel del tanque de expansión baje por debajo de niveles aceptables.

Para confirmar la operación de este interruptor de nivel, se deberá accionar manualmente el mismo. El calentador se deberá apagar al igual que la bomba de recirculación.

5.5.3.6. Interruptor de flujo

El calentador depende que haya un flujo adecuado para su correcta operación, por lo que los equipos traen un interruptor de flujo en cada circuito del aceite. En el caso que haya una pérdida de flujo, el interruptor mandará a apagar el calentador y la bomba de recirculación.

Para revisar los interruptores de flujo, se deberá retirar la tapadera de los mismos con la bomba y calentador apagados y constatar que la leva pueda moverse libremente. Cuando únicamente la bomba este trabajando, deberá moverse la leva a modo de accionar el interruptor. La bomba deberá detenerse. Si el calentador estuviese funcionando, el mismo también deberá apagarse.

5.5.3.7. Interruptores de alta y baja presión de aceite

La única presión requerida en el sistema de fluido térmico es la necesaria para mantener el flujo correcto. Los cambios de presión son monitoreados por estos interruptores, los cuales apagarán el equipo en caso de variación de presión del fluido.

Con el interruptor de control en posición 1, se removerá la cubierta del interruptor de presión y actívelo manualmente. La bomba de recirculación deberá de apagarse. Deberá repetirse este procedimiento para el otro interruptor. Reemplace las cubiertas. Si el quemador estuviese funcionando, el mismo también debería de apagarse.

5.5.3.8. Interruptor de flujo de aire

Este interruptor deberá sensar el aire de combustión emanado por el ventilador del quemador antes de energizar para la apertura de las válvulas solenoides que controlan el paso de combustible.

Con el quemador encendido se deberá desconectar del *fiting* localizado en la parte superior del interruptor de flujo de aire, el alambre de cobre.

El quemador deberá apagarse para luego intentar arrancar el calentador mediante el reinicio del control programador. El motor del ventilador arrancará pero la secuencia de encendido del quemador no iniciará. Al conectar nuevamente el alambre de cobre, se iniciará el ciclo de encendido con la prepurga.

5.5.3.9. Arrancador magnético de la bomba de recirculación

Este es un procedimiento muy sencillo ya que con el quemador encendido se deberá accionar el botón de parada del arrancador magnético de la bomba de recirculación de fluido térmico. La bomba y el quemador deberán detenerse, pero el motor del ventilador deberá permanecer encendido por unos 30 segundos más. Luego, deberá intentarse arrancar la bomba, colocando el interruptor de control en posición 1 y oprimiendo el botón de encendido de la bomba. La bomba no deberá arrancar. Por último deberá reinicializarse el arrancador magnético y arrancar la bomba.

5.5.3.10. Interruptor de presión de gas en quemadores a gas

Para verificar si hay presión de gas, es necesario cerrar la válvula de paso en la línea principal de gas con el quemador encendido. El quemador se apagará y el control programado mostrará la luz de *lock*. De esta manera, se deberá intentar arrancar el quemador reiniciando el control programador. Este control iniciará el ciclo de prepurga para luego colocarse en posición de *lock*. Seguidamente se deberá abrir la válvula de paso de la línea principal de gas y reiniciar el control programador y el interruptor de baja presión de gas.

En este momento, la unidad iniciará el ciclo de purga para luego encender el quemador.

Posteriormente, con el quemador apagado, deberá cerrarse la válvula de paso de línea piloto de gas e intentar que el quemador arranque. Si esto sucede, el control programador se colocará en posición de *lock*. Al abrir la válvula de paso de la línea piloto de gas y reiniciar el control programador, la unidad iniciará el ciclo de purga para luego encender el quemador.

5.5.4. Ajustes y calibraciones

5.5.4.1. Interruptor de control de seguridad por alta temperatura

Por lo general, este control es opcional en los equipos. Usualmente esta localizado en el panel de control. Cuando el control principal de temperatura de operación gobierna la temperatura del aceite de salida del calentador, el sensor de este control deberá ubicarse en la entrada del aceite al calentador.

En estos casos y para calentadores con quemador de regimen de funcionamiento modulado y high/low/off, el control de seguridad para temperatura límite deberá ajustarse 20 grados Farenheight por debajo de la temperatura del control principal de temperatura de operación. En calentadores con quemador de regimen de funcionamiento *on/off*, el control de seguridad de temperatura límite deberá ajustarse 50 grados Farenheight por debajo de la temperatura del control principal de temperatura de operación.

Cuando el sensor de este control esta colocado en la salida del aceite del calentador (por razones explicadas con anterioridad), hay que ajustarlo por lo menos 80 grados Farenheight por encima de la temperatura fijada en el control principal de temperatura de operación o bién, a la temperatura máxima de operación aceptable para el proceso. Los interruptores de control de seguridad por alta temperatura actúan como termostatos de seguridad por alta temperatura. Si uno o más de estos interruptores es accionado por una alta temperatura del fluído, el control programador pasará a posición de *lock* y la alarma se accionará. Se debéra reinicializar el control programador del calentador para que a su vez se pueda reinicializar la unidad.

Los interruptores de control de seguridad por alta temperatura se deben ajustar 50 grados Farenheight por arriba de la temperatura de trabajo del calentador, pero no por arriba de los 650 grados Farenheight. Estos interruptores no se deberán ajustar a una temperatura muy cercana a la temperatura de trabajo ya que esto ocasionará que constantemente se esten disparando debido a pequeñas flunctuaciones de temperatura del fluido. Cuando estos interruptores se disparan varias veces consecutivamente, amerita la revisión de la instalación del equipo, iniciando por el nivel del fluido en el tanque de expansión, el correcto funcionamiento del quemador, y buen funcionamiento de la bomba de recirculación.

5.5.4.2. Controles de la temperatura de operación

Los parámetros que se proporcionan a continuación son muy generales y deben aplicarse conjuntamente con las recomendaciones proporcionadas por el diseñador del sistema.

Lo estándar es que en los calentadores con quemador de régimen de funcionamiento tanto *ON/OFF* como *MODULADO*, el control primario de temperatura se coloque en la salida del fluido del calentador. Aunque el fabricante seleccione otro punto del calentador para ubicar este control, estas instrucciones generales aún pueden ser válidas, aunque con alguna pequeñas variantes.

Cuando los controles primarios de temperatura de operación están colocados en la salida de fluido del calentador, el control secundario de temperatura de operación estará ubicado en la entrada del fluido al calentador y viceversa.

En los calentadores con quemador de régimen de funcionamiento *HIGH/LOW/OFF*, el control secundario de temperatura de operación estará ubicado únicamente en la entrada del fluido al calentador.

5.5.4.3. Controles *ON/OFF* (encendido/apagado)

Ajuste el control dual de temperatura, ubicado en el frente del panel eléctrico, a la temperatura deseada. En el caso de que el control sea electromecánico, se deberá de rotar la perilla hasta ajustar la temperatura de operación deseada la cual usualmente deberá de ser 10 a 20 grados Fahrenheit arriba de la temperatura de proceso deseada.

Deberá tomarse en cuenta que cuando se rote la perilla, se moverá la aguja de ajuste, mas no así la perilla indicadora de la temperatura del aceite en ese momento.

Una vez se ajusto la temperatura de operación deseada para el calentador, deberá de ajustarse el diferencial entre la temperatura de parada y arranque.

Para conseguir esto en un control electromecánico, deberá removerse el tapón negro que cubre el tornillo de ajuste ubicado en la carátula del control. Al rotar el tornillo a todo lo que da en el sentido de las manecillas del reloj, el diferencial de temperatura esta en 20% del rango total de diferencial que el control puede proporcionar. Reducir el diferencial hasta que el calentador comience a hacer el ciclo de arranque y parada seguidos (la unidad permanece encendida por menos de 30 segundos). Aumente poco a poco el diferencial hasta que las paradas y arranques continuos cesen. Un diferencial de temperatura grande aumenta el tiempo entre paradas y arranques. Un diferencial pequeño nos da una temperatura de operación del calentador más precisa. El diferencial lo deberá ajustar de acuerdo a sus necesidades.

5.5.4.4. Controles *high/low/off* (fuego alto, fuego bajo, apagado)

Las instrucciones generales que se proporcionaron con anterioridad son también válidas para los calentadores con regimen de funcionamiento fuego alto/fuego bajo/apagado.

Se deberá tener en cuenta únicamente que estos equipos tienen el control primario de temperatura de operación ubicado en la entrada del calentador. Teniendo esto en mente (la temperatura medida es al regreso del aceite al calentador y no a la salida) se deberá proceder al ajuste del control.

5.5.4.5. Controles modulados

Se deberá rotar la perilla hasta ajustar la temperatura de operación deseada la cual usualmente deberá de ser 10 a 20 grados Farenheight arriba de la temperatura de proceso deseada.

Seguidamente deberá de ajustarse el control de límite de modulación, 15 grados Farenheight por encima de la temperatura ajustada en el control de modulación.

5.5.4.6. Interruptores de presión

Para ajustar el interruptor de baja presión (bajo flujo de aceite), se necesitará elevar el punto de ajuste del interruptor con el calentador trabajando a temperatura de operación y la bomba de aceite recirculando hasta que la bomba de recirculación se apague. Tomar nota de la presión de ajuste del interruptor y bajarla 10 psi, para luego arrancar nuevamente la bomba. La presión del interruptor a la que corta, deberá corresponder con la lectura del manómetro ubicado en la salida de aceite del calentador.

Para ajustar el interruptor de alta presión (alto flujo de aceite), con la unidad en frío y la bomba de recirculación de aceite trabajando, se deberá bajar el punto de ajuste del interruptor hasta que la bomba de recirculación apague.

Se deberá tomar nota de la presión de ajuste del interruptor y subir el ajuste de control 10 psi, para luego arrancar nuevamente la bomba. La presión del interruptor a la que corto, deberá nuevamente corresponder con la lectura del manómetro ubicado en la entrada de aceite del calentador.

5.5.4.7. Bombas de recirculación de aceite con empaquetadura de grafoil

Las bombas de recirculación de aceite con empaquetadura por lo general son despachadas por los fabricantes con anillos de empaquetadura adicionales.

En la caja de empaquetadura de la bomba se deberán colocar únicamente la cantidad de anillos que quepan y que puedan ser apretados con la mano.

Ésto es necesario con la finalidad de evitar el quemar los sellos y raspar el eje cuando la bomba opere durante el arranque de la misma. Si se siguen los pasos descritos a continuación durante las primeras 30 o 50 horas de uso, se logrará que la bomba proporcione muchos años de servicio libres de problemas y con un mínimo mantenimiento.

Antes de llenar el sistema, es imprescindible asegurarse que el aprieta estopas esta apretado a mano únicamente. Como se ha hecho ver con anterioridad, la bomba jamás deberá funcionar sin fluido en el sistema ya que los sellos son lubricados por el aceite. Si la bomba se acciona sin aceite se quemará el sello.

Durante el proceso de llenado del sistema, se deberá apretar el aprieta estopas únicamente lo necesario para conseguir una pequeña fuga de 50-60 gotas por minuto.

Cuando se este apretando las tuercas del mismo, se deberá girar unicamente un 1/6 de vuelta a la vez, alternando lados para prevenir que se trabe el eje con el aprieta estopas.

Después de confirmar que la bomba gire en el sentido correcto (explicado en la sección de circulación en frío de este capítulo), se deberá arrancar la bomba y dejarla funcionando para poder apretar ambas tuercas del aprieta estopas 1/6 de vuelta a la vez, alternando lados hasta que la fuga se reduzca a 50-60 gotas por minuto.

Antes de hacer mas ajustes a la empaquetadura, se deberá llevar el sistema a la temperatura de operación, tal y como se explicó al principio de este capítulo.

Cuando la temperatura del sistema comienza a elevarse, la fuga comenzará a incrementarse, por lo que será necesario apretar las dos tuercas del aprieta estopas alternamente 1/6 de vuelta a la vez tanto como sea necesario para mantener la fuga de aceite en 60 gotas por minuto. Es importante hacer notar que no se debe intentar reducir la fuga por debajo de este parámetro.

Una vez se ha alcanzado mantener la fuga en 60 gotas por minuto aproximadamente, con el sistema trabajando a temperatura de operación, se deberá apretar las dos tuercas del aprieta estopas 1/6 de vuelta cada una. Después de una hora de funcionamiento de los equipos, es necesario verificar la fuga y apretar las dos tuercas 1/6 de vuelta más. Este procedimiendo se continúa a intervalos de una hora hasta reducir la fuga a 3-5 gotas por minuto. La fuga es necesaria para la lubricación de los sellos, por lo que no debe intentarse ELIMINARLA.

Durante las primeras horas de uso del equipo, los anillos de empaquetadura de *Grafoil* se comprimirán tanto que el aprieta estopas puede casi llegar a topar con la caja de las estopas. Cuando esto ocurra, es necesario parar la bomba, separar el aprieta estopas y añadir otro anillo de estopa. El nuevo anillo de estopa debe ser insertado de modo que la ranura de inserción este a 90 grados alrededor del eje de la ranura de la estopa que fue colocada con anterioridad. Luego, se requiere apretar nuevamente el aprieta estopas con la mano y comenzar el procedimiento descrito con anterioridad. Esto es normal que suceda.

Usualmente, durante este proceso de arranque, se utilizarán casi todos los anillos de estopas que los fabricantes de bombas despacharon con la misma. Los anillos que sobren, se deberán guardar para futuros nuevos ajustes.

Cuando el sistema se deje enfriar, podrá ocurrir alguna fuga la cual no deberá intentarse eliminar apretando el aprieta estopas. Después del proceso de arranque, ajustes en la empaquetadura deberán realizarse únicamente con el sistema funcionando a temperatura de trabajo. Si la fuga no puede ser tolerada, se deberán cerrar las válvulas que están ubicadas antes y después de la bomba pero durante el enfriamiento.

6. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ACEITE

6.1. Equipo mínimo necesario para arrancar y dar mantenimiento

- Medidor de tiro
- Analizador de gases
Medición de CO para unidades con quemador a gas
Medición de O₂
- Analizador de humos para unidades con quemador a aceite
- Amperímetro
- Microamperímetro
- Voltímetro (DC y AC) (3)

6.2. Mantenimiento general

6.2.1. Diario

Se deberá hacer una inspección visual y verificar presión de la bomba, buscar fugas y en general la condición de todos los *flanges*.

También se deberá asegurar que la ignición y la operación sea normal comprobando que las lecturas de presión de combustible y ajustes de aire sean correctas.

Por otro lado, también será necesario verificar los niveles del fluido térmico en el sistema y si la bomba de recirculación es enfriada por agua, se deberá verificar el suministro.

Las articulaciones del sistema de modulación del quemador deberán estar bien apretadas. (3)

6.2.2. Semanal

Cuando el sistema este en operación, se deberá leer y anotar en una vitácora, todas las lecturas de los instrumentos (manómetros, termómetros, etc) y verificar la presión de suministro del gas en unidades con quemador a gas o bien la presión del gas a la entrada del cañon del quemador cuando éste este operando en fuego alto en las unidades con quemador a gas.

En las unidades con quemador a diésel o búnker, se deberá remover el cañon con las boquillas, verificar y limpiar las boquillas así como el filtro (mesh) de las boquillas. También deberá limpiarse los electrodos de ignición. Cuando se vuelva a armar el equipo, es necesario asegurarse que los electrodos esten bién calibrados así como la profundidad del cañon de las boquillas. (3)

6.2.3. Mensual

Cada mes se necesitará limpiar los filtros del combustible y verificar y limpiar las aspas del ventilador de aire primario. Si las aspas estan muy sucias, es necesario desmontar el quemador y asegurarse que los ductos de acceso de aire para la combustión esten libres. Si el ventilador esta limpio, este proceso deberá efectuarse cada dos meses.

Es importante asegurarse que todos los acoples flexibles esten bién apretados y alineados, en la bomba de combustible (unidades a diesel), en el venitador, y en la bomba de recirculación.

También deberá verificarse manualmente el nivel del fluido térmico en el tanque de expansión.

Verificar que estén bien apretadas las conexiones de terminales eléctricas y prestar particular atención a partes móviles como los contactores y *relays*.

Además de mantenerse limpio el gabinete de control, deberá aplicarse aereosol limpiador en los contactores según sea necesario verificar que estén operando correctamente todos los circuitos de seguridad.

Cuando la unidad este trabajando, se requiere inspeccionar el sensor de llama. Al desconectarse, la llama se deberá extinguir de inmediato y el control programador deberá entrar en estado de *lock* después de un poco de tiempo. Por último, se deberá limpiar el vidrio protector del sensor de llama. (3)

6.2.4. Rutinario

La observación rutinaria del equipo puede ayudar mucho al programa de mantenimiento del equipo. Hay que recordar que el mantenimiento preventivo evita la pérdida de mucho dinero en reparaciones mayores así como en pérdida de tiempo de producción.

Componentes del equipo con partes móviles tal como pernos de montaje, conexiones del brazo del modulador, etc., deberán revisarse periódicamente con la finalidad de asegurarse que estén bien apretados.

Cualquier fuga de fluido térmico en las tuberías de conducción, manómetros, interruptores, etc., deberán ser reparadas a la mayor brevedad posible.

6.3. Procedimientos de mantenimiento

6.3.1. Limpieza de ollín

Si las revisiones periódicas demuestran un incremento en los depósitos de ollín de las superficies internas del calentador, se deberá verificar el ajuste de la relación aire/combustible. Usualmente se necesitará limpiar el ollín únicamente una vez al año, a menos que el quemador haya estado con deficiencia de aire y se produjera exceso de ollín. La acumulación de bastante ollín en las áreas de transferencia de calor reducirán la eficiencia térmica. La temperatura de escape de los gases de chimenea aumentará gradualmente en relación con la acumulación de ollín.

Para la remoción de ollín, se deberá principiar por desmontar el quemador y las puertas de acceso en los laterales del ventilador de combustión. El ollín se debe retirar con un cepillo de metal y con un chorro de aire comprimido en las partes donde no se puede acceder con el cepillo. Después de desprendido todo el ollín, el mismo deberá ser aspirado para luego montar nuevamente el quemador.

En casos donde la incrustación de ollín es muy severa, se puede aplicar agua caliente y detergente o sosa caústica para mejorar la limpieza. Se debe principiar por enfriar el fluido térmico a aproximadamente 150 grados Celsius. Luego, se desmonta el quemador para llenar la cámara de combustión con agua a una altura de 6" por debajo de la salida de gases de chimenea.

Se deberá disolver el detergente o sosa cáustica con agua en un recipiente separado antes de agregarlo al agua en la cámara de combustión. Si se utiliza detergente, se deberán seguir las instrucciones del fabricante del detergente. Si se utiliza sosa cáustica se deberá utilizar en una proporción de 1 libra por cada 25 galones de agua.

Es necesario agregar la mezcla y el agua suficiente para que el nivel de la cámara de combustión alcance la chimenea. Mezclarlo bien.

Se requiere moverlo ocasionalmente y mantener la mezcla en la cámara de combustión por aproximadamente 45 minutos.

Posteriormente, deberán retirarse las puertas de acceso a un lado del ventilador de combustión para drenar el sistema, evitando tener contacto con la mezcla al momento de drenar la misma.

Por último, se deberá enjuagar bien la cámara de combustión y reemplazar el quemador y las puertas de acceso. La unidad deberá secarse lentamente prendiendo el quemador por periodos cortos de tiempo (aproximadamente 1 minuto a la vez).

6.3.2. Lubricación

Para el programa de lubricación de los motores deberán de seguirse las recomendaciones de los fabricantes de los mismos. La frecuencia de la lubricación dependerá de la carga que se le aplique a los mismos.

Al momento de prepararse el programa de lubricación, deberá prestarse especial atención al motor de la bomba de recirculación del fluido térmico.

En las bombas de recirculación de fluido térmico que utilizan empaquetadura se deberá verificar periódicamente la condición del empaque. Si se ve un incremento en el goteo de fluido térmico será necesario apretar el aprieta estopas pero no más de 1/6 de vuelta por día.

6.3.3. Ajuste de la combustión

Si la relación aire/combustible esta bien ajustada, el calentador deberá arrancar y funcionar suave y silenciosamente. Si se detecta un mal ajuste aire/combustible entonces se deberá realizar un análisis de gases con un kit Orsat o Bacharach y ajustar la relación para que la combustión sea lo más limpia posible.

6.3.4. Análisis del fluido térmico

Los diferentes fabricantes de fluidos térmicos recomiendan distintos programas de revisión de los fluidos. Se deberá discutir con el fabricante del fluido a emplear, el programa de análisis que él recomienda para un fluido térmico en particular basado en el programa de operación del mismo.

Es vital el mantener la calidad del fluido térmico para así evitar problemas con el sistema incluyendo la degradación acelerada del fluido.

Un programa de análisis mínimo del fluido térmico podría ser el de analizar a los 6 meses de funcionamiento del calentador, después a los 12 meses y determinar si la calidad del fluido no se ha deteriorado al término de este período.

CONCLUSIONES

1. Es de suma importancia que al evaluar la inversión inicial de un sistema de transferencia de calor, se tome en cuenta la eficiencia del sistema como un todo, ya que por lo general en el medio latinoamericano, se evalúa únicamente la eficiencia del calentador medida a razón de energía extraída del combustible vrs. energía transferida al medio de transferencia de calor.
2. Una de las ventajas más grandes que tienen los sistemas de fluido térmico en cuanto a términos económicos se refiere, es que no se incurre en el uso de tratamientos químicos diarios, como sucede con el agua de alimentación en los sistemas de vapor.
3. Los calentadores de fluido térmico y las calderas de vapor eléctricos son los más eficientes del mercado, ya que casi la totalidad de calor generado por las resistencias eléctricas es transmitido al medio de transferencia de calor, aunque los mismos son los menos utilizados debido al alto costo de la energía eléctrica.
4. Por su diseño, los calentadores de fluido térmico con quemador más eficientes, son los del tipo serpentín de 4 pasos. La eficiencia de estos equipos alcanza un 84%.

RECOMENDACIONES

1. Si el proceso de producción requiere temperaturas de operación superiores a los 193°C (380°F), se recomienda considerar el fluido térmico como medio de transferencia de calor. Si se utiliza vapor a temperaturas superiores a los 193°C implica la utilización de una caldera con presión de diseño de 250 PSI, lo cual la hace costosa y peligrosa.
2. Al momento de planificar la instalación de un sistema de fluido térmico, se recomienda siempre instalar la entrada al tanque de expansión como el punto mas elevado del sistema, con la finalidad de evitar presurizar el mismo o bien, que ocurran derrames de aceite por rebalse.
3. Se recomienda evaluar las siguientes características del fluido térmico:
 - a. Alcance térmico de uso.
 - b. Temperatura de película (máxima recomendada).
 - c. Coeficiente de expansión térmica.
 - d. Capacidad de bombeo.

Ésto, con la finalidad de determinar cuál es la mejor opción para la aplicación que pretendemos darle.

4. El tiro deseado en los calentadores y calderas de vapor por lo regular ronda entre los -0.02 y -0.04 pulgadas de columna de agua. Este parámetro se debe de tomar muy en cuenta al momento de diseñar la chimenea ya que de no cumplirse puede ocasionar problemas de combustión e incluso daños severos al equipo.
5. La tubería, válvulas y accesorios utilizados en la instalación de sistemas de fluido térmico deben de ser de acero al carbón o acero inoxidable. El hierro forjado es poroso a los fluidos térmicos y el cobre y aluminio actúan como catalizadores en la degradación de algunos fluidos térmicos.
6. Al igual que en los sistemas de vapor se necesita mantener la caldera con suficiente agua, el sistema de fluido térmico necesita un flujo mínimo del fluido térmico dentro del calentador para poder evacuar el calor generado por el quemador. La carencia de este flujo mínimo es la causa número uno de destrucción de los calentadores.
7. Para reducir el tamaño del tanque de expansión de un equipo de fluido térmico y por consiguiente su costo, es necesario poner atención al coeficiente de expansión del aceite a seleccionar.
8. Si un proceso determinado involucra intercambiadores de calor en contacto directo con alimentos, debe considerarse el empleo de un fluido térmico de grado alimenticio aprobado por la **FDA**, ya que en caso de cualquier ruptura, se evita una contaminación en los alimentos.

9. Las recomendaciones de mantenimiento preventivo que se proporcionan en este trabajo están orientadas a la detección y corrección de posibles fallas en el sistema antes que se presenten, con la finalidad de evitar paros no programados en la línea de producción que ocasionan pérdidas cuantiosas.

10. La instalación de los sistemas de fluido térmico son más económicos que los de vapor, ya que no se requiere el uso de trampas de vapor, numerosas válvulas y filtros a lo largo de todas las líneas de conducción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Buameister, Theodore y Avallone, Eugene. 1978. **Manual del ingeniero mecánico**. Tomo IV. McGraw-Hill. 2nda. Edición. México.
2. Burmeister, Louis C. 1998. **Elements of thermal fluid System design**. Prentice Hall. 3era. Edición. USA.
3. **Equipos Industriales: Guía práctica para reparación y mantenimiento**. 1990. McGraw Hill. 3era. Edición. México.
4. **Heat transfer fluids**. 2006. Paratherm Corporation.
5. Himmelblau, David M. 1988. **Balances de materia y energía**. Prentice Hall Hispanoamericana. 4ta. Edición. México.
6. **Instruction manual: Fulton thermal fluid heaters**. The Fulton Companies. January 2000.
7. Janna, William S. 1998. **Design of thermal systems**. CL-Engineering. 2nda. Edición. USA.

8. Kern, Donald Q. 1986. **Procesos de transferencia de calor**. Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México.