



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**REHABILITACIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE
CALOR DE DOS FASES**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**

PRESENTA:

DIEGO ÁNGEL GAONA ALCANTAR

ASESOR:

M. EN C. JORGE VÁZQUEZ CERVANTES



MÉXICO 2016

Cd. Nezahualcoyotl, Edo. de México



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Le agradezco a mi poder superior por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Rafael y Leticia por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa en la universidad un trayecto de vivencias que nunca olvidare.

ÍNDICE

Introducción 1

Estado del arte 2

CAPÍTULO 1 5

MARCO TEÓRICO 5

 1.1. Intercambiadores de calor 6

 1.2. Refrigerantes 12

 1.3. Transferencia de calor 15

CAPÍTULO 2 20

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL EQUIPO 20

 2.1. Revisión del equipo 22

 2.2. Análisis de diseño del intercambiador de calor 24

CAPITULO 3 28

REHABILITACIÓN DEL EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE DOS FASES 28

 3.1. Consideraciones 29

 3.2. Bitácora de mantenimiento 34

 3.3. Cambios realizados 44

 3.4. Operación del equipo 44

CAPITULO 4 46

ACTUALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS 46

 4. Actualización de las prácticas 47

 4.1. Nuevo refrigerante 47

 4.2. Prácticas Anteriores 49

 4.3. Registro de datos para el nuevo refrigerante 49

 4.4. Parámetros obtenidos 51

Conclusiones 60

Referencias 61

ANEXO 62

Introducción

En la facultad de estudios superiores Aragón se imparte la carrera de Ingeniería Mecánica, en donde los alumnos toman clases y las complementan con prácticas realizadas dentro del laboratorio de térmica y fluidos, uno de los equipos usados por los alumnos es el intercambiador de calor de dos fases, en él se pueden experimentar y analizar las diferentes formas en las que el calor se transmite, conducción y convección, por medio de este equipo los alumnos pueden visualizar estos dos mecanismos de transferencia de calor, también el equipo permite tomar las lecturas necesarias para conocer de forma analítica la conducción y la convección, de esta forma los alumnos pueden poner en práctica lo aprendido en clase.

En este trabajo se encuentra el procedimiento realizado para la rehabilitación del equipo intercambiador de calor, también en este trabajo se encontrara el procedimiento que se utilizó para verificar el correcto funcionamiento del equipo, se puede observar que durante el mantenimiento se empleó otro refrigerante para la operación del equipo, en los siguientes capítulos se explican los motivos por los cuales se optó por reemplazar el refrigerante original y también se explica cómo es que el refrigerante se comporta en relación del original.

Para verificar el mantenimiento, en este trabajo se agregó la bitácora de mantenimiento en donde se describe de forma detallada el proceso de rehabilitación del intercambiador de calor, más adelante se explica que la mayoría de las reparaciones se hicieron con el equipo que cuenta la escuela por ejemplo el torno o el taladro vertical, estas operaciones fueron verificadas por los técnicos académicos que fueron de gran ayuda durante el mantenimiento del equipo.

Estado del arte

Planteamiento del problema

En el Laboratorio de Térmica y Fluidos L2, ubicado en la FES Aragón de la UNAM, se tienen equipos de análisis para fenómenos térmicos, y máquinas térmicas. Uno de los equipos es el Intercambiador de calor de dos fases, el cual está fuera de servicio debido a que varios de sus componentes no pueden operar, existen varias razones por las que estos dispositivos dejan de funcionar, por ejemplo corrosión, desgaste o uso inadecuado. Por este motivo se rehabilitará y se actualizarán las prácticas del equipo permitiendo al alumno experimentar una de las formas en que el calor es transmitido por medio de las prácticas correspondientes.

En la Carrera de Ingeniería Mecánica se toman diferentes asignaturas encaminadas al área específica de preespecialidad como lo son la Termo Energía, Diseño Mecánico, Manufactura, Mecatrónica, Biomecánica. En el caso de termo energía se tienen las materias de termodinámica transferencia de calor, máquinas térmicas, plantas termoeléctricas, sistemas de ahorro de energía y por ultimo aire acondicionado y refrigeración, para estas materias es necesario disponer de equipos adecuados para la enseñanza de dichas materias como son calorímetros, unidades de refrigeración, banco de compresores, intercambiadores de calor, entre otros, uno de estos equipos es el intercambiador de calor de dos fases que también se utiliza para la enseñanza de las materias antes mencionadas.

Uno de las características en las maquinas térmicas que operan es el uso de un fluido de trabajo adecuado. En este caso el fluido es un refrigerante y dentro de las propuestas de la rehabilitación del equipo es cambiarlo por otro más amigable con el medio ambiente y que no sea peligroso para su operación.

Objetivo

Rehabilitación del intercambiador de calor de dos fases y desarrollo de las prácticas para el refrigerante R-141b.

Justificación

Se necesita rehabilitar el equipo para poder hacer uso de él, pues ya que su uso es para el aprendizaje de la comunidad estudiantil de Ingeniería Mecánica, y no se cuenta con otro para el mismo fin. Por otro lado el refrigerante R-11 con el que trabaja originalmente daña la capa de ozono atmosférico al igual que otros de su misma familia de refrigerantes, por esta razón se realizará el cambio de refrigerante por uno más amigable con el medio ambiente.

Alcance

El presente trabajo comprende la rehabilitación del intercambiador de calor de dos fases ubicado en el laboratorio de térmica y fluidos L2 de la Fes Aragón.

Lo anterior se realizará con base a las referencias bibliográficas del equipo, como manuales, procedimientos de mantenimiento, prácticas de laboratorio.

Contenido

Introducción.

1. Marco teórico.

1.1. Intercambiadores de calor.

1.1.1. Tipos de intercambiadores de calor.

1.1.2. Intercambiador de calor de dos fases.

1.2. Refrigerantes.

1.2.1. Refrigerantes usados en la industria.

1.2.2. Regulación de refrigerantes.

1.2.3. Refrigerante R-141b.

1.3. Transferencia de calor.

1.3.1. Transferencia de calor por conducción.

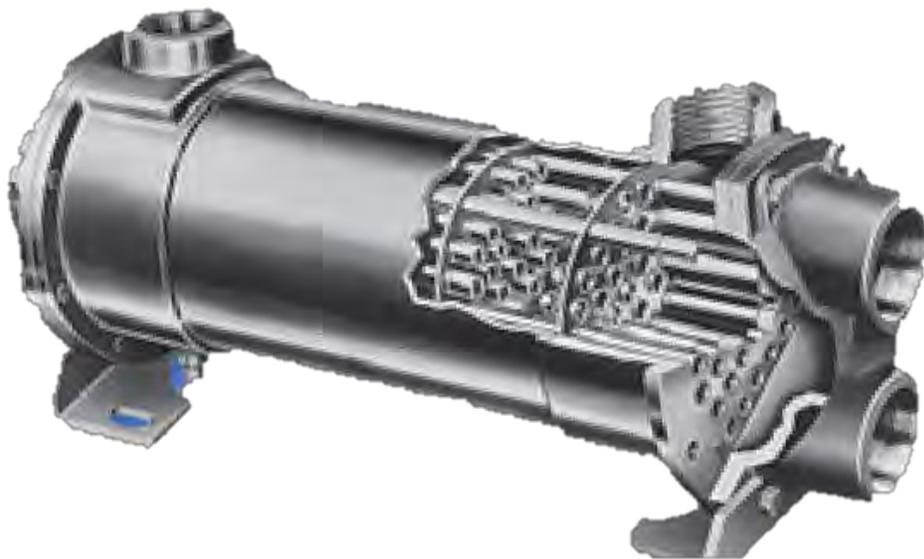
1.3.2. Transferencia de calor por convección.

1.3.3. Transferencia de calor por radiación.

2. Determinación de las condiciones del equipo.
 - 2.1. Levantamiento del equipo.
 - 2.1.1. Manuales, prácticas otros recursos.
 - 2.1.2. Características del equipo.
 - 2.1.3. Componentes que no operan.
 - 2.2. Análisis de diseño del intercambiador de calor.
 - 2.2.1. Metodología de cálculo.
 - 2.2.1.1. coeficiente global de transferencia de calor.
3. Rehabilitación del equipo de transferencia de calor de dos fases.
 - 3.1. Consideraciones.
 - 3.2. Bitácora de mantenimiento.
 - 3.3. Cambios realizados.
 - 3.4. Operación del equipo.
4. Actualización de las prácticas.
 - 4.1. Nuevo refrigerante.
 - 4.1.1. Características del refrigerante freón 11 (R-11).
 - 4.1.2. Comparación entre los dos refrigerantes.
 - 4.2. Prácticas originales.
 - 4.3. Adquisición de datos para el nuevo refrigerante.
 - 4.4. Parámetros obtenidos.
 - 4.5. Ajuste de las prácticas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO



Con el crecimiento de las ciudades también aumenta la demanda de bienes y servicios, y en muchas situaciones es necesario transferir calor. Existen varios ejemplos, en el caso de la industria petrolera para poder transportar un combustible dentro de una tubería, se transmite calor a las tuberías de combustible propiciado la disminución de la viscosidad, en la vida cotidiana los refrigeradores que retiran el calor de un espacio, de esta forma se enfrían los alimentos; estos son algunos casos, y en la presente tesis solo se tratará uno de ellos referido a un equipo de pruebas de laboratorio. En este capítulo se mencionarán los tipos de intercambiadores de calor.

1.1. Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo que tiene el objeto fundamental de transferir energía térmica de un fluido a otro, hacia un sólido o del sólido al fluido, y constituye un componente fundamental en numerosos sistemas. Existe una enorme variedad de tamaños y tipos de intercambiadores de calor, algunos tipos especiales se conocen según su aplicación específica: calderas, hervidores, generadores de vapor, colectores solares, calentadores, sobrecalentadores, recalentadores, hornos, radiadores, evaporadores, condensadores, regeneradores, recuperadores, enfriadores, subenfriadores, economizadores, disipadores, camisas de agua, sumideros de calor, etc. Los ejemplos son numerosos y por lo general reciben nombre de acuerdo a la operación y tipo de construcción.

1.1.1 Tipos de intercambiadores de calor

Según su operación

Ya que los intercambiadores de calor se presentan en muchas formas, tamaños, materiales de manufactura y modelos, estos son categorizados de acuerdo con características comunes, como son el número de fluidos involucrados, tipo de construcción, entre otros. Una de las características comunes que se puede emplear

es la dirección relativa que existe entre los dos flujos de fluido. Las tres categorías son: flujo paralelo, flujo cruzado y contraflujo

Flujo paralelo

Como se ilustra en la figura 1, existe un flujo paralelo cuando el flujo interno o de los tubos y el flujo externo o de la carcasa ambos fluyen en la misma dirección. En este caso, los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa. Como el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos. También ocurre es que el fluido con menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente.

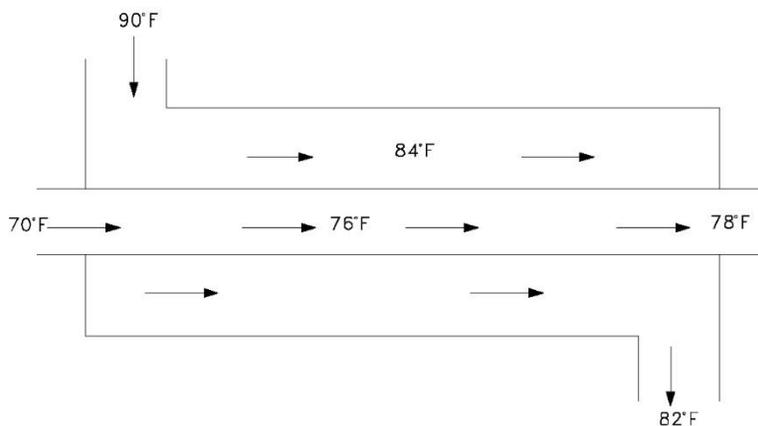


Figura 1 Intercambiador de calor de flujo paralelo.

Flujo cruzado

Dependiendo de la configuración existen dos tipos flujo cruzado no mezclado y flujo cruzado mezclado, es meno mezclado cuando aletas de una placa fuerzan el fluido a moverse por un espacio determinado impidiendo su movimiento transversal, mientras que se denomina mezclado cuando el fluido tiene la libertad de moverse en la dirección transversal, figura 2 y figura 3.

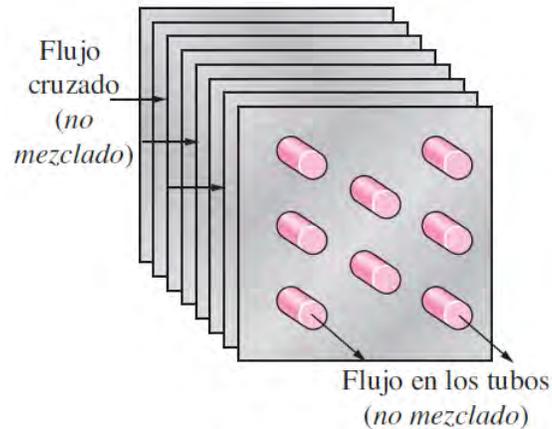


Figura 2 Flujo separado por las aletas que transmiten el calor de un fluido a otro.

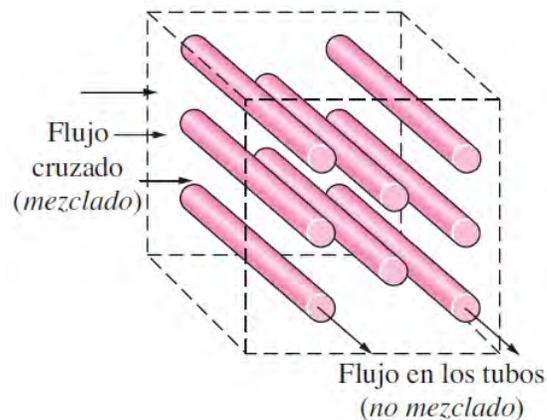


Figura 3 Flujo libre sobre todo el arreglo pues no existen placas.

Contra-flujo

Como se ilustra en la figura 4, se presenta un intercambiador de calor de contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección pero en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos. Ya que el fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada. Este tipo de intercambiador

resulta ser más eficiente que los otros dos tipos mencionados anteriormente. En contraste con el intercambiador de calor de flujo paralelo, el intercambiador de contraflujo puede presentar la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja temperatura en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador.

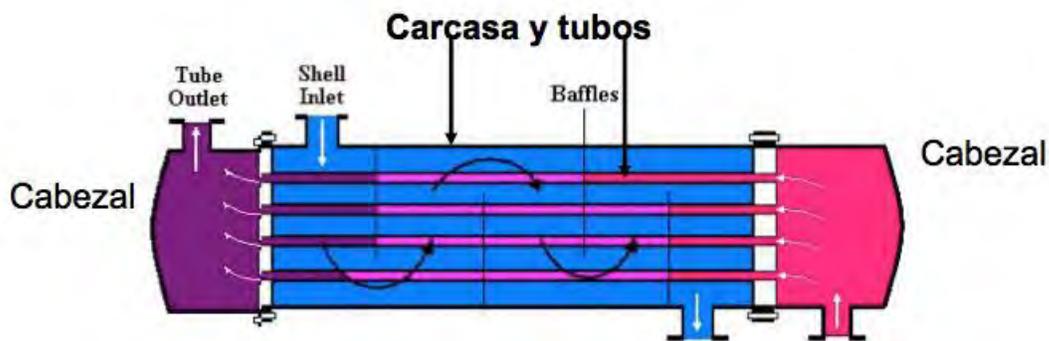


Figura 4 Intercambiador de calor de contra flujo.

Según su construcción

La construcción también se toma en cuenta para clasificarlos en las siguientes categorías: carcasa-tubo y placa.

Placa

El intercambiador de calor de tipo plato, como se muestra en la figura 5, consiste de placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos caliente y frío. Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada uno de las placas y los canales dirigen el flujo del líquido entre las placas. Ya que cada una de las placas tiene un área superficial muy grande, las placas proveen un área extremadamente grande de transferencia de energía térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de carcasa y tubos con volumen semejante, esto es debido a que las placas proporcionan una mayor área que la de los tubos. El intercambiador de calor de plato, debido a la alta eficacia en la transferencia de calor, es mucho más

pequeño que el de carcaza y tubos para la misma capacidad de intercambio de calor.

Sin embargo, el tipo de intercambiadores de placa no se utiliza extensamente debido a la inhabilidad de sellar confiablemente las juntas entre cada una de las placas. Debido a este problema, el tipo intercambiador de la placa se ha utilizado solamente para aplicaciones donde la presión es pequeña o no muy alta, por ejemplo en los refrigeradores de aceite para máquinas. Actualmente se cuentan importantes avances que han mejorado el diseño de las juntas y sellos, así como el diseño total del intercambiador de placa, esto ha permitido algunos usos a gran escala de este tipo de intercambiador de calor.

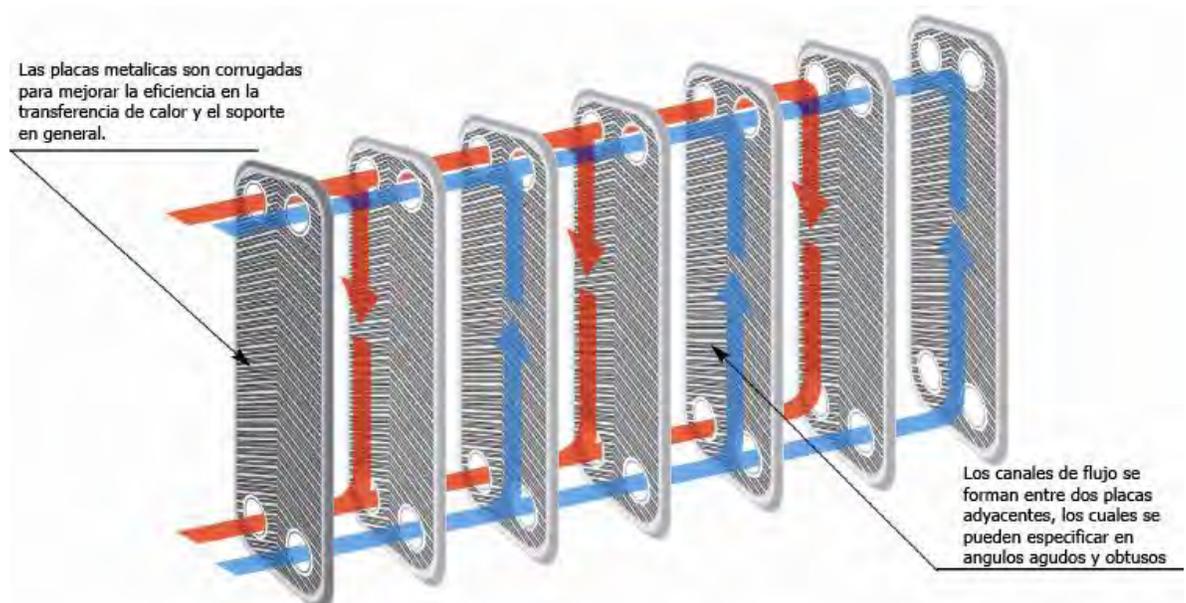


Figura 5 Intercambiador de calor de placas.

Intercambiador de calor de un solo paso y múltiple pasos

Un método que combina las características de dos o más intercambiadores y permite mejorar el desempeño de un intercambiador de calor es tener que pasar los dos fluidos varias veces dentro de un intercambiador de paso simple.

Cuando los fluidos del intercambiador intercambian calor más de una vez, se denomina intercambiador de múltiple pasos. Sí el fluido sólo intercambia calor en una sola vez, se denomina intercambiador de calor de paso simple o de un solo

paso. En la figura 6 se muestra un ejemplo de estos intercambiadores. Comúnmente el intercambiador de múltiples pasos invierte el sentido del flujo en los tubos al utilizar dobleces en forma de "U" en los extremos, es decir, el doblez en forma de "U" permite al fluido fluir de regreso e incrementar el área de transferencia del intercambiador.

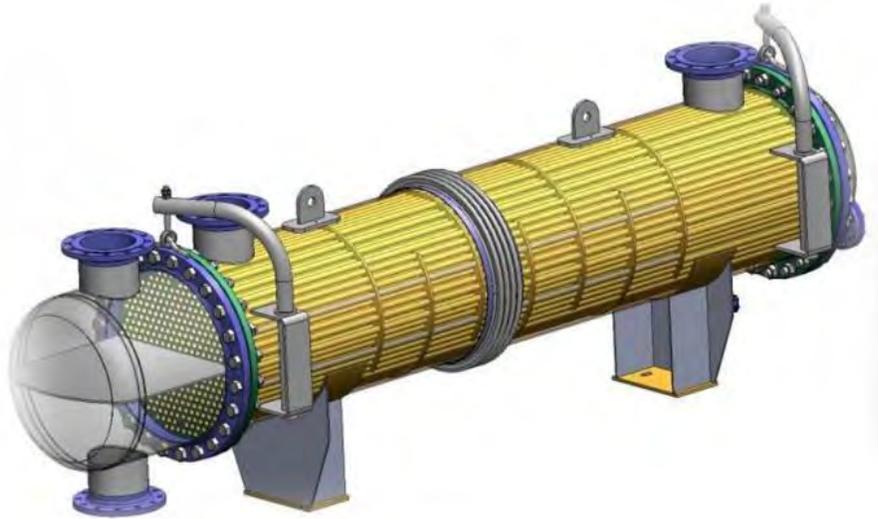


Figura 6 Intercambiador de calor en forma de "U".

1.1.2. Intercambiador de calor de dos fases ubicado en la FES Aragón

El equipo que se encuentra dentro de las instalaciones del laboratorio es un intercambiador simple, se llama de dos fases porque dentro del equipo el fluido de trabajo experimenta cambios de fase primero de líquido a vapor y de vapor a líquido por esta razón se llama de dos fases, ver figura 7.

El equipo es para realizar prácticas correspondientes a la **asignatura de laboratorio de máquinas térmicas** y como se ha mencionado anteriormente se debe realizar la rehabilitación del equipo para que los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica pueda obtener el conocimiento necesario alrededor de esta materia con el fin de determinar la cantidad de calor que puede ser suministrada al refrigerante antes de que cambie su fase líquida a gas.



Figura 7 Intercambiador de calor ubicado en la Fes Aragón.

1.2. Refrigerantes

Durante la revolución industrial, era imposible emplear directamente gases calientes (como producto de la combustión) en procesos productivos. Además, se ignoraba la relación entre temperatura y eficiencia. Para ello fue necesario transferir la energía de los productos de combustión a un fluido intermedio no tan caliente y, por lo tanto, más manejable. Fue natural emplear vapor de agua con este propósito. El agua presenta dos importantes características que la hacen muy atractiva como sustancia de trabajo [1].

- a) Capacidad para producir trabajo por expansión hasta temperaturas muy poco superiores a la atmosférica.
- b) El trabajo necesario para comprimir agua líquida es una muy pequeña fracción del trabajo obtenible al expandir su vapor.

Adicionalmente, el agua es un fluido de costo casi nulo, químicamente estable y no tóxico. Su elevado calor latente lo convierte en un excelente fluido transportador de energía.

Dependiendo de la fuente de energía de que se disponga y de otros factores y restricciones, se pueden encontrar otras sustancias de trabajo más adecuadas. Enseguida se enlistan algunas de las características deseables para una buena sustancia de trabajo [1].

1. Alta temperatura del punto crítico, lo cual permitirá que el fluido se vaporice cuando se alcance la máxima temperatura del ciclo.
 2. Entalpía de evaporización grande correspondiente a la máxima temperatura del ciclo, resultando así posible una temperatura media de calentamiento alta y al mismo tiempo reduciendo el gasto específico de vapor para una determinada potencia generada.
 3. Presión manométrica positiva, correspondiente a la temperatura de condensación, lo cual significaría eliminar la necesidad de equipo auxiliar para mantener una alta presión de vacío en el condensador, como en el caso de las plantas generadoras de vapor de agua.
 4. Pendiente pronunciada en la línea de vapor saturado del diagrama t-s, haciendo innecesarios el sobrecalentamiento y el recalentamiento.
 5. Alta densidad a las presiones y temperaturas de operación, logrando así un tamaño reducido en el equipo.
 6. No toxicidad y abrasividad.
 7. Estabilidad química y miscibilidad
 8. Costo reducido y disponibilidad en grandes cantidades.
-

1.2.1. Refrigerantes usados en la industria.

Debido a que cada proceso de refrigeración es diferente dentro de la industria o tienen que cumplir con ciertas características, se usan diferentes tipos de refrigerantes, por esta razón se describirán algunos:

Los clorofluorocarbonos (CFC)

Como su nombre lo indica, los clorofluorocarbonos (CFC) consisten en cloro, flúor y carbono. Como no contienen hidrógeno, los refrigerantes CFC son químicamente muy estables, inclusive cuando son liberados a la atmósfera. Pero debido a que contienen cloro en su composición, dañan la capa de ozono. Permanecen en la atmósfera de 60 a 1700 años.

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC)

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) son la segunda categoría de refrigerantes que están vigentes actualmente. Aunque contienen cloro, que daña la capa de ozono, los refrigerantes HCFC también contienen hidrógeno, que los hace químicamente menos estables una vez que suben a la atmósfera.

Los Hidrofluorocarbonos (HFC)

Son sustancias que contienen hidrógeno, flúor y carbono. No contienen cloro y por consiguiente no dañan la capa de ozono.

Amoniaco

Las propiedades físico-químicas lo convierten en un fluido con una transferencia de calor superior a la de los refrigerantes fluorados más utilizados. También su costo, relativamente bajo, hace que sea deseable su uso en la industria, sin embargo en altas concentraciones es tóxico, la concentración de amoníaco en la que su olor no puede ser soportado es alrededor del 0.03% en volumen.[2]

1.2.2. Regulación de refrigerantes

Debido al calentamiento global y al agujero en la capa de ozono causado en gran medida por los gases refrigerantes, se han firmado acuerdos mundiales para limitar su uso y manejo. En acuerdos internacionales como el protocolo de Montreal, México se comprometió a eliminar el cien por ciento del consumo de CFC y fijó metas a diferentes años para la reducción del consumo de HCFC. [2]

Por otro lado la Ley General de Cambio Climático contempla “Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas”.

1.2.3. Refrigerante R-141b

El refrigerante R-141b tiene una composición a base de diclorofluoroetano (HCFC-141b), unas de las características de este refrigerante es que se puede utilizar como agente de limpieza, se describirán algunas de sus propiedades:

Excelente solvente: Eliminación de contaminantes al disolver el aceite y la enlodadura que se generan cuando el compresor sufre una quemadura

Alta densidad: permite arrastrar fuera del sistema las partículas de carbón y de enlodadura

Es inerte: a los materiales de construcción de casi todos los sistemas de refrigeración.

Baja tensión superficial: le permite penetrar por las grietas y levantar costras de carbón y enlodadura originadas por la quemadura del compresor.

Bajo punto de ebullición: Tiene un punto de ebullición de 32°C, lo que permite eliminarlo totalmente del sistema mediante vacío.

1.3. Transferencia de calor.

Se han mencionado los diferentes tipos de intercambiadores de calor, sin embargo todavía no se ha abordado el proceso por el cual el calor se transfiere de un cuerpo

a otro o de un fluido a otro fluido, por este motivo se hará un repaso de las tres formas mediante las cuales se transfiere calor, como son la conducción, convección y radiación.

1.3.1 Transferencia de calor por conducción.

La transferencia de calor por conducción es aquella producida por un medio estacionario, normalmente ocurre entre sólidos cuando existe una diferencia de temperatura llamado gradiente de conducción térmica.

Principalmente la conducción se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en la red molecular y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La rapidez o razón de la conducción de calor depende de la configuración geométrica del área de la superficie, su espesor y el material de que esta hecho, así como la diferencia de temperatura a través de él.

Por lo tanto la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de esta y el área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa.

$$\dot{Q} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -KA \frac{dT}{dx} \quad [W]$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidades
Q	Calor	W
K	Constante de conducción	$\frac{W}{m^{\circ}C}$ ó $\frac{W}{m K}$
T_1	Temperatura inicial	$^{\circ}C$ ó K
T_2	Temperatura final	$^{\circ}C$ ó K
A	Superficie de transferencia de calor	m^2

Esta ecuación se le conoce como la ley de Fourier de la conducción de calor, en honor a Jean Baptiste Joseph Fourier.

1.3.2 Transferencia de calor por convección.

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor caracterizada por producirse entre un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas y un sólido u otro gas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido.

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a moverse sobre una superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Por otro lado es convección natural o libre si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por la diferencia de la densidad debida a la variación de temperatura en ese fluido.

Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de gotas de líquido durante la condensación.

Para definir a la convección se observa que la rapidez de transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperaturas y se expresa por la ley de Newton del enfriamiento:

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad [W]$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidades
Q	Calor	W
h	Constante de conducción	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ó $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
T_1	Temperatura inicial	$^\circ C$ ó K
T_∞	Temperatura del fluido	$^\circ C$ ó K
A_s	Superficie de transferencia de calor	m^2

1.3.3 Transferencia de calor por radiación.

Radiación: se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. En ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.

La radiación es una forma de conducir el calor de forma volumétrica y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados, sin embargo la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos ya que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, debido a que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de este tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia dentro de los sólidos. [3]

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann:

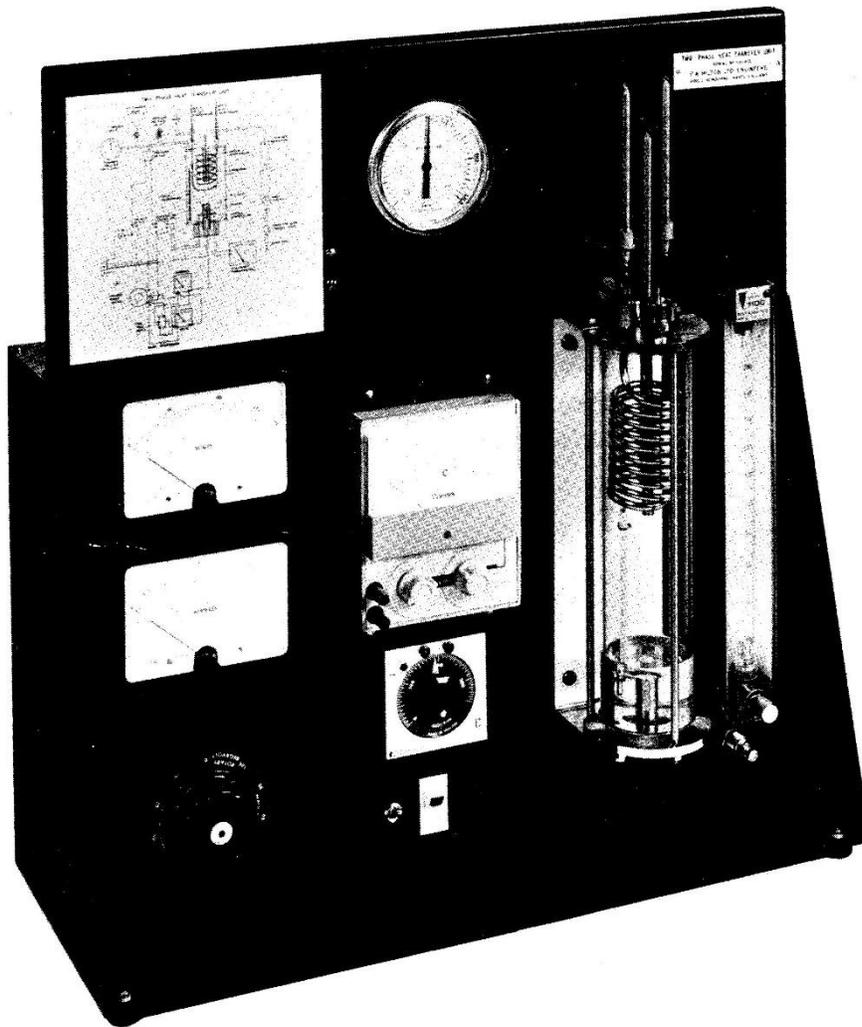
$$\dot{Q} = \sigma A_s T_a^4 \quad [W]$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidades
Q	Calor	W
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	$5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2}$
T_a	Temperatura de los alrededores	$^{\circ}C$ ó K
A_s	Superficie de transferencia de calor	m^2

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL EQUIPO



2. Determinación de las condiciones del equipo

Para realizar la rehabilitación del equipo se hizo una evaluación de las condiciones iniciales del equipo, de esta forma se conocerán los accesorios y partes que necesiten cambiar o sustituir ver figura 8:

- Tapa posterior fuera de lugar.
- Lámpara no original.
- Termómetro digital no original (adaptado).
- Sin dispositivo de corte por alta temperatura.
- Depósito de pruebas desmontado.
- Serpentin de enfriamiento dañado con grietas.
- Sistema eléctrico en desorden.
- Cable de suministro eléctrico parchado.
- Requiere limpieza interna y externa.
- No se encontró termómetro sumergible.
- Se tiene que verificar el correcto funcionamiento del reóstato.
- Manómetro de presión descalibrado.
- El elemento térmico se debe verificar en cuanto a los termopares soldados para evitar fuga de refrigerante por el forro.
- El termopozo está dañado por un corte en su extremo inferior (se soldara un tapón).
- El control de temperatura (perilla) está dañado.



Figura 8. Equipo en las condiciones en las que se encontraba el equipo antes de rehabilitarlo.

2.1. Revisión del equipo

Como se muestra en la figura 9 se muestra el equipo desarmado para el mantenimiento, sin embargo solo se realizó la revisión de todos los accesorios para buscar otras posibles fallas y también encontrar la posición correcta en la que deben de ser instalados cabe señalar que el equipo no estaba completamente armado.



Figura 9 Equipo desarmado.

2.1.1. Manuales, practicas otros recursos

Para la rehabilitación del intercambiador de calor se encontraron diferentes fuentes como fueron manuales del intercambiador de calor y manuales de accesorios, también se encontró una bitácora.

2.1.2. Características del equipo

El equipo tiene los siguientes accesorios y aparatos para medición:

1. Cilindro de ebullición/condensación. Es un tubo de vidrio de 305 cm de longitud x 75mm de diámetro exterior y 66.6 mm de diámetro interior.
2. Calentador.- Es un cilindro de cobre conteniendo el elemento fijado con un termocople; el área efectiva de la superficie es de 13cm. Las condiciones normales de operación son: 300 watts a 140 volts.
3. Termómetros de mercurio de 0-50°C
4. Termómetro electrónico "Comark" con escalas de -60°C a +10°C; 0°C a 60°C; 0°C a 170°C; 0°C a 400°C.
5. Medición del flujo de agua.- Rotámetro con válvula para controlar y medir el flujo de agua que pasa a través del condensador.
6. Condensador (Serpentín).- Es un tubo de cobre-níquel-plata. Área de la superficie 0.032 m².
7. Voltímetro 0 a 150 volts

2.1.3. Componentes que no operan

A partir de la revisión del equipo se encontraron varios componentes que ya no operan por diversos factores como son falta de mantenimiento o simplemente dejaron de funcionar, siendo los siguientes:

- Serpentín dañado.
 - Elemento térmico con fugas.
 - El termopozo está dañado por un corte en su extremo inferior.
 - Control de temperatura dañado.
-

- Dispositivo de corte por alta temperatura dañado.
- Manómetro de presión descalibrado.
- Válvula de seguridad.

2.2 Análisis de diseño del intercambiador de calor.

Actualmente el desarrollo de dispositivos de toda índole requiere que se encuentre dentro de normas, esto con el fin de que si este dispositivo fuese objeto de estudio, pueda ser reproducido.

Debido a las diferentes metodologías de diseño que existen, diseño mecánico, diseño hidráulico, diseño eléctrico, entre otras, para este caso se recurre a una metodología de diseño térmico, pues es el área de estudio que nos interesa.

En este capítulo se realiza el desarrollo de diseño térmico del intercambiador de calor.

2.2.1 Procedimiento de cálculo.

Para realizar el análisis de la metodología del diseño térmico se considerara las áreas de transferencia de calor, en este caso se supone que se desprecia porque el objeto de estudio dentro del intercambiador de calor es la cantidad de energía transmitida del elemento térmico al refrigerante, del refrigerante al serpentín, del serpentín al agua, por esta razón no se considerara la cantidad de calor transmitido al recipiente contenedor que es el tubo de vidrio.

Como se ha mencionado antes solo nos concentraremos solo de las sustancias de trabajo, agua y refrigerante, también de las áreas de trabajo, en este caso el serpentín, para encontrar los parámetros necesarios para calcular la cantidad de calor transmitido en el equipo utilizaremos el coeficiente de transferencia de calor global.

2.2.1.1 Coeficiente global de transferencia de calor.

Un intercambiador de calor está relacionado con dos fluidos que fluyen separados por una pared sólida, primero el calor se transfiere del fluido caliente hacia la pared por convección, después a través de la pared por conducción y por último de la pared hacia el fluido frío de nuevo por convección.

Para el análisis de los intercambiadores de calor es mejor combinar todas las resistencias térmicas que se encuentran en la trayectoria del flujo de calor del fluido caliente hacia el fluido frío en una sola resistencia "R", expresando la razón de transferencia de calor como:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T$$

Para obtener la cantidad de transferencia de calor dentro del equipo, se recurre al coeficiente global de transferencia de calor, para poder calcular este coeficiente de transferencia de calor primero realizaremos un balance de energía y de masa. También como condición para realizar la comparación de los refrigerantes de forma sencilla se calcula el flujo de calor sobre un área, tomando en cuenta el calor suministrado.

$$\dot{Q} = \frac{V * I}{A} [W]$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidades
Q	Flujo de calor	W
V	Voltaje	V
I	Intensidad de corriente	A
A	Superficie de transferencia de calor	m^2

Para realizar el balance de masa este realmente no es necesario de calcular por que por medio del rotámetro nos da una medición cuantitativa de la cantidad de masa de agua que se transporta dentro del equipo.

Para realizar el balance de energía se emplea la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta t \text{ [W]}$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidades
Q	Calor	W
m	Flujo másico	$\frac{kg}{s}$
C_p	Calor específico	$\frac{J}{kg^{\circ}C}$ ó $\frac{J}{kg K}$
Δt	Diferencia de temperaturas	$^{\circ}C$ ó K

Para encontrar el coeficiente global de transferencia de calor, se necesita encontrar la diferencia de temperatura media que representa la diferencia de temperaturas entre dos fluidos uno caliente y otro frio, para encontrar esta media logarítmica utilizamos la siguiente ecuación:

$$DML = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \text{ [K]}$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidades
DML	Diferencia media logarítmica	K
ΔT_1	Diferencia de temperaturas máxima	K
ΔT_2	Diferencia de temperaturas mínima	K

Para terminar la metodología del cálculo ahora utilizaremos la ecuación del coeficiente global de transferencia de calor principalmente este coeficiente se puede definir como la combinación de todas las resistencias térmicas que se encuentran dentro del flujo del fluido y ser una sola resistencia total o global:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T [W]$$

En donde:

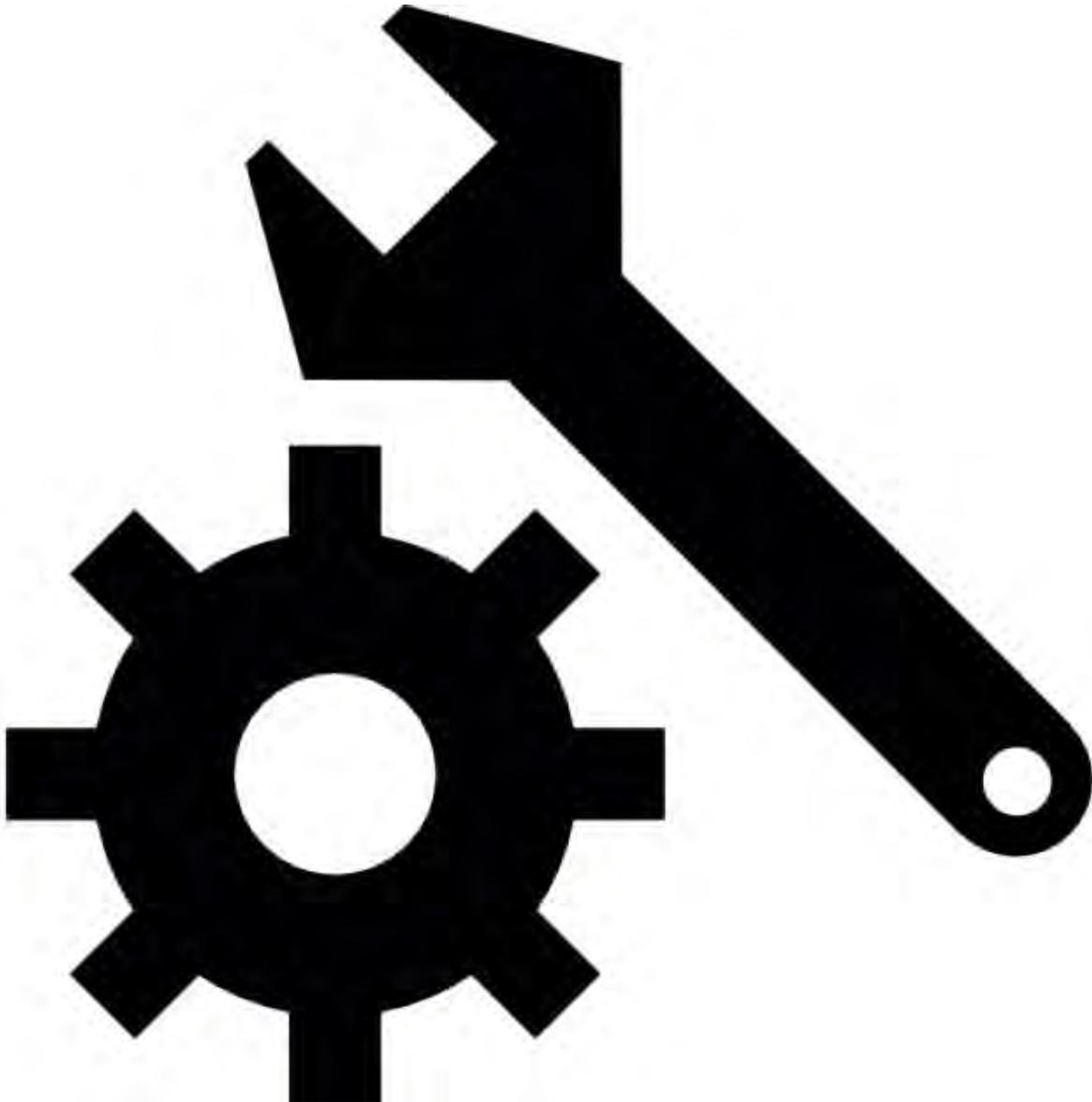
Símbolo	Significado	Unidades
Q	Calor	W
ΔT	Diferencias de temperaturas	$^{\circ}C \ K$
R	Resistencia térmica	$\frac{^{\circ}C}{W}$
U	Coeficiente global de transferencia de calor	$\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$ ó $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
A	Superficie de transferencia de calor	m^2

Haciendo el debido despeje calcularemos el coeficiente global de transferencia de calor:

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_s \Delta T} \quad \left[\frac{W}{m^2 * ^{\circ}C} \right]$$

CAPITULO 3

REHABILITACIÓN DEL EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE DOS FASES



3 Rehabilitación del equipo de transferencia de calor de dos fases

En este capítulo se aborda el procedimiento para la rehabilitación del intercambiador de calor. Otra de las características del equipo es que anteriormente se trató de rehabilitar, sin embargo no se pudo reparar el equipo y varios de los componentes fueron maltratados durante el tiempo en que el equipo estuvo fuera de servicio.

3.1. Consideraciones

Una de las consideraciones fue de no sustituir los accesorios originales ya que el intercambiador de calor puede que no trabaje con la misma eficiencia, se trató de arreglar la mayoría de accesorios.

Otra de las consideraciones es utilizar completamente las instalaciones del laboratorio L1 de las FES Aragón, con el fin de poner en práctica lo aprendido en la carrera, por otro lado estas reparaciones fueron realizadas bajo la supervisión del Mto. Jorge o en su defecto de un técnico académico.

Antes de iniciar el mantenimiento del equipo se elaboró un diagrama de flujo con el fin de que las actividades realizadas tuvieran una secuencia adecuada, esto con el fin de ahorrar tiempo en la rehabilitación del intercambiador de calor.

Nota:

Concluida la rehabilitación, se realizaron diferentes tipos de pruebas para verificar su correcto funcionamiento una de éstas fue tomar como referencia los datos de las practicas originales para hacer una comparación entre el refrigerante original y el refrigerante de reemplazo, al utilizar la metodología propuesta para el cálculo de la transferencia de calor, se encuentra que varios de estos resultados no coinciden con los obtenidos a partir de las practicas originales, por lo que se realizó una inspección en los instrumentos de medición, a continuación se muestran los datos obtenidos de las practicas originales y más adelante los datos obtenidos con el nuevo refrigerante.

Resultados Típicos con el refrigerante R-11:

Tabla 1 Datos obtenidos de las prácticas originales.

Flujo másico	\dot{m}_A	2.6 g/s
T. A. E.	t_i	9.5 °C
T. A. S.	t_o	28.5 °C
Voltaje	V	119 V
Corriente	I	1.8 A
T. S	t_s	30°C

Cálculo de transferencia de calor en el serpentín:

$$\dot{Q}_A = \dot{m}C_p(t_o - t_i) = (2.6 \times 10^{-3})(4180)(28.5 - 9.5)$$

$$\dot{Q}_A = 206 \quad [W]$$

Calor transferido por el elemento térmico:

$$\dot{Q}_e = V * I = 119 \times 1.8 = 214 \quad [W]$$

Transferencia de calor hacia los alrededores:

$$\dot{Q}_e - \dot{Q}_A = 214 - 206 = 8 \quad [W]$$

3.1.1 Datos y procedimiento de cálculo con el refrigerante R-141b

Para el refrigerante R-141b se tienen los siguientes datos:

Tabla 2 Datos obtenidos a partir con el refrigerante R-141b.

Flujo másico	\dot{m}_A	0.01944 kg/s
T. A. E.	t_i	23°C
T. A. S.	t_o	26°C
Voltaje	V	118 V
Corriente	I	1.7 A
T. S	t_s	45°C

Cálculo de la transferencia de calor para el refrigerante R-141b

$$\dot{Q}_A = \dot{m}C_p(t_o - t_i) = (0.01944)(4180)(26 - 23)$$

$$\dot{Q}_A = 243.83 [W]$$

Calor transferido por el elemento térmico:

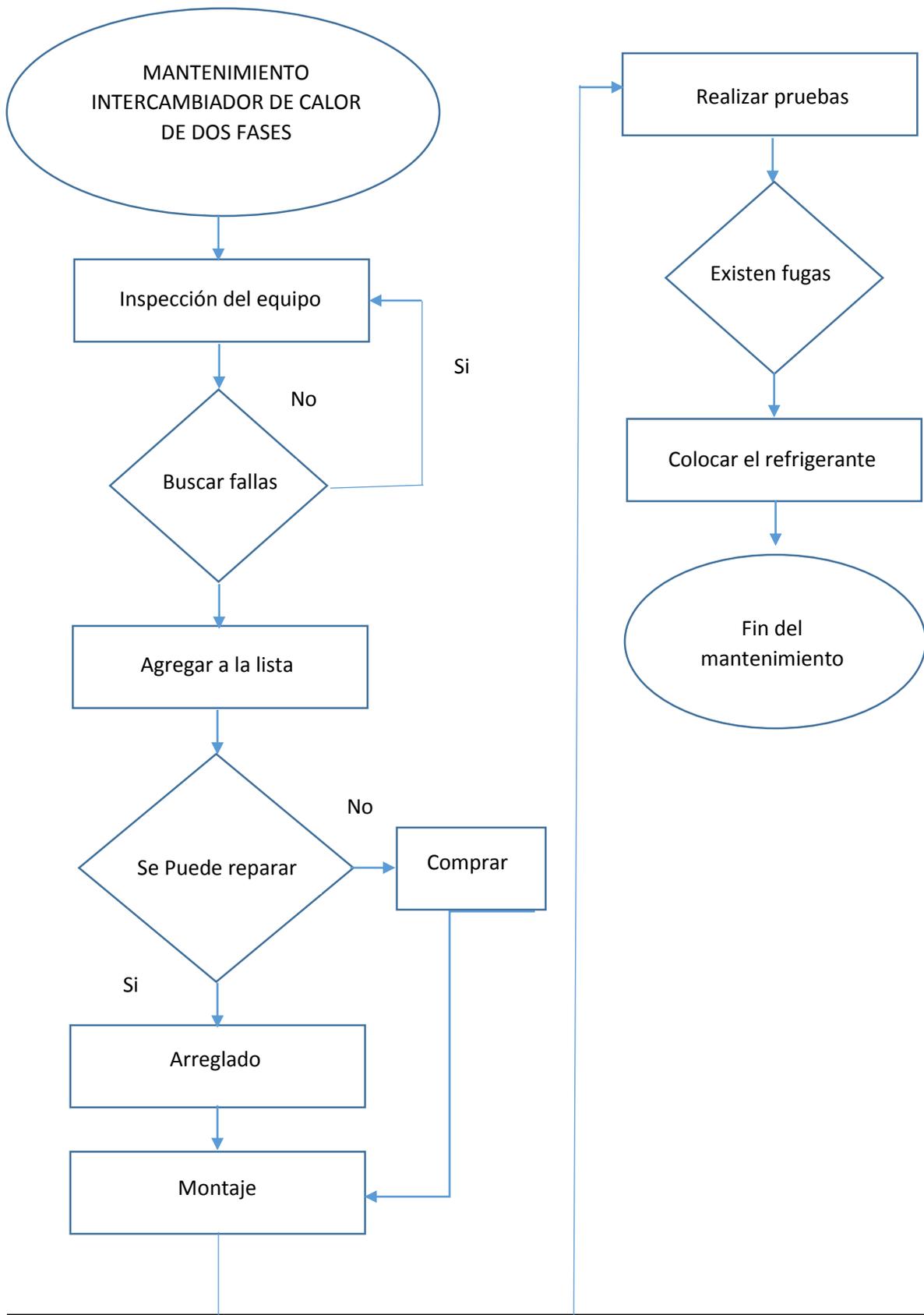
$$\dot{Q}_e = V * I = 118 * 1.7 = 200.6 [W]$$

Transferencia de calor hacia los alrededores:

$$\dot{Q}_e - \dot{Q}_A = 200.6 - 243.83 = -43.23 [W]$$

Al comparar los resultados obtenidos se aprecia una variación de los valores debido a que el calor retirado por parte del agua es mayor que la que se está suministrando por lo tanto se podría decir que se está generando energía. La variación de las lecturas es debida a que los datos proporcionados por el fabricante son obtenidos en condiciones diferentes a la toma de datos con el nuevo refrigerante, principalmente la presión de operación.

Diagrama de flujo



3.2. Bitácora de mantenimiento

Durante la realización de las diversas reparaciones del intercambiador de calor se elaboró una bitácora, esto con el fin de tener un registro de todas las actividades en el mantenimiento del equipo, así como identificar las partes originales y de reemplazo.

Condiciones iniciales del equipo antes del mantenimiento:

- Cubierta fuera de lugar.
- Lámpara no original.
- Termómetro digital no original (adaptado).
- Dispositivo de corte por alta temperatura fuera de lugar y con perilla dañado.
- Cilindro de pruebas desmontado.
- Serpentín de enfriamiento con grietas.
- Sistema eléctrico en desorden.
- Cable de suministro eléctrico reparado.
- Requiere limpieza interna y externa.
- Falta termómetro mercurial.
- Verificar el correcto funcionamiento del reóstato (voltaje y corriente).
- Manómetro de presión descalibrado.
- En el elemento térmico verificar los termopares sin fuga de refrigerante por el forro.
- El termopozo está dañado por un corte en su extremo inferior (se requiere soldar un tapón).

Se requiere llevar a cabo las reparaciones que se observan, probablemente existan más fallas pero en el transcurso de la reparación se anotaran y se solucionarán, se pueden ver los desperfectos mencionados en las figuras 10 y 11.



Figura 10 Cableado dentro del equipo, parte posterior.



Figura 11 Equipo en donde se puede apreciar que varios dispositivos faltan.

3.2.1 Mantenimiento del control de temperatura

La revisión al control de temperatura se encontró el potenciómetro dañado y dos resistencias quemadas en el circuito del dispositivo.

Se optó por reparar el control de temperatura, tomando en cuenta los defectos mencionados, primero se reemplazarán las resistencias, debido a que las resistencias se encuentran dañadas superficialmente y no se puede visualizar las barras de colores que definen su valor en ohms.

Se midió el valor de las resistencias dando como resultado 600 ohm y a partir de este valor se buscaran resistencias de un valor aproximado.

Se compraron la resistencia del valor cercano de 600 ohm, posteriormente se soldó una resistencia pues ya que solo en esta había rastro de hollín.

En el caso del potenciómetro, se buscó información del valor del potenciómetro en diferentes tiendas especializadas, no se pudo encontrar el componente. Se optó por reconstruir el potenciómetro del regulador de temperatura.

Primero se optó por, manufacturar un capuchón de plástico pero dadas las condiciones del potenciómetro se decidió que no era lo apropiado. Por lo anterior se manufacturó una pieza de aluminio.

Se le desbastó material al vástago del potenciómetro, tomando en cuenta que este es de plástico. Se desbastó material al capuchón de aluminio para hacer coincidir el vástago del potenciómetro con el capuchón.

Se unió el capuchón y el vástago del potenciómetro por medio de un barreno. También se reparó el indicador de temperatura pues ya que este estaba reventado, se utilizó acrílico para la reparación, elaborando un círculo y pegándolo a la antigua escala.

Se analizó el sistema eléctrico del intercambiador de calor para el posterior montaje del control de temperatura.

Se realizó la prueba para el control de temperatura observando que funciona correctamente para el cierre y apertura del control. Para realizar la prueba se conectó un termopar en el control de temperatura, suministrando energía al control de temperatura, se colocó la perilla a 100°C y se pasó la flama de un encendedor. El control de temperatura operó de manera satisfactoria.

Para montar el control de temperatura en el intercambiador de calor, se encontró que no tenía sujetadores para la cual se diseñaron un par de sujetadores.

Se diseñaron otros sujetadores con perfil de aluminio y esparrago galvanizado de $\frac{1}{4}$ ", se probó el sujetador, teniendo resultados satisfactorios.

Se manufacturó el serpentín con tubo de cobre de $\frac{1}{4}$ " de diámetro flexible para refrigeración, se fabricaron dos. Para la elaboración del serpentín primero se midió su diámetro interno éste es el que nos interesa, el diámetro interno es de 5 cm, se utilizó un tubo deacrílico como molde como se aprecia en la figura 12. De manera paulatina se fue enrollando el tubo de cobre alrededor del tubo deacrílico hasta obtener la misma cantidad de espirales que el original figura 13.



Figura 12 Tubo de cobre enrollado sobre el tubo deacrílico.



Figura 13 Serpentín original de color gris y serpentín de repuesto de cobre.

3.2.2 Mantenimiento tapa superior e inferior

Se colocó el control de temperatura. Se sujetó el control de temperatura por medio del perfil de aluminio, los espárragos con dos tuercas en cada esparrago.

Se le dio mantenimiento a la tapa superior del contenedor. Se retiró un codo y una válvula de seguridad para su posterior limpieza.

Se mandó niquelar los dos serpentines uno se empleará para la reparación, el segundo se utilizara como reemplazo.

Se manufactura un tapón para el termopozo de 3/8" de diámetro interno y 7/16" de diámetro externo, en bronce. Se maquina dentro de las instalaciones del laboratorio del "L1" mediante torno "Titanium". Posteriormente se soldó el tapón en la tapa superior.

Se suelda el tapón al termopozo con soldadura de plata. Se limpió y se pulió el termopozo.

Se suelda el serpentín a la tapa superior del equipo, se emplea oxiacetileno debido a que el espesor de la tapa requiere una gran cantidad de calor. Se utiliza un trapo húmedo para que el calor sea absorbido y no llegue a deformar el serpentín y que el niquelado no sea removido por el exceso del calor (Ver figuras 14 y 15)



Figura 14 Se suelda el serpentín en la tapa superior empleando oxycetileno.



Figura 15 Tapa superior con el serpentín soldado.

Nota: En futuras reparaciones se recomienda niquelar la tapa en conjunto con el serpentín.

3.2.3 Mantenimiento elemento térmico

De la tapa inferior se retiró el elemento térmico, un tapón y una válvula para el mantenimiento del refrigerante. Se retiraron todos estos componentes para la limpieza de la tapa.

Se colocó plástiacero a la cavidad del elemento térmico con su base.

Se colocó la válvula de seguridad.

Se colocó el tapón macho en la tapa inferior.

Nota: Para colocar la base del elemento térmico se utilizaron dos empaques; empaque de la base y empaque de la contra-tuerca.

Para colocar el tapón se utilizó un empaque de neopreno.

Después de haberse encontrado el termómetro se realiza el montaje del recipiente, estando niquelada la base llevando la siguiente secuencia.

1. Colocar los componentes del recipiente.
2. Montar el recipiente.
3. Llenar el recipiente con el refrigerante.
4. Verificar que no existen fugas.
5. Ajustar la válvula de seguridad con respecto a las características del refrigerante.
6. Arreglar el cableado y se colocar cintillas.

Se presentan componentes en el equipo, posteriormente se colocan en su respectiva posición como se observa en las Figuras 16 y 17.



Figura 16 Presentación de los componentes para su posterior montaje.

Nota: Para el montaje de las tapas se necesitaron colocar un empaque en cada una, con el fin de que exista un buen contacto entre las tapas y el cilindro de vidrio, también para que no existan fugas entre ellas.

Se realizaron pruebas con aire para buscar fugas, se encontró una fuga en la válvula de seguridad, se retiró y al ser analizada se observó que la válvula tenía una grieta en la cuerda.



Figura 17 Componentes montados en el equipo.

Se buscó información acerca de la válvula de seguridad, con el fin de poder localizar un repuesto.

Se compró la válvula de seguridad con las siguientes características:

- Metal: Bronce
- Presión máxima de operación: 70 psi

También se colocó la válvula para posteriormente realizar pruebas.

Se realizaron pruebas con la válvula puesta, esto para verificar que no se presenten fugas, las pruebas se realizaron introduciendo aire dentro del recipiente de vidrio, al agregarse el aire las fugas se identificaron con agua y jabón.

Se verificó que no existieran fugas y se procedió al llenado del cilindro con el refrigerante R-141b, tomando en cuenta las precauciones necesarias para manejar el líquido refrigerante.

Después de agregar el refrigerante se realizó una prueba del equipo con el refrigerante ver figura 18 y 19.



Figura 18 Equipo trabajando con el refrigerante



Figura 19 Equipo trabajando con el refrigerante.

Se han realizado diferentes experimentos con base a las practicas anteriores del equipó, en estas prácticas se trabaja con el anterior refrigerante el “Freón” (R-11), ahora se está utilizando el refrigerante R-141b, se han utilizado los mismos datos de entrada para la realización del desarrollo del experimento (flujo másico, voltaje, numero de pasos), esto con el fin de observar la diferencia de cantidad de energía absorbida entre los dos refrigerantes.

Se han comprobado los resultados por medio del diagrama correspondiente a la presión-entalpía del refrigerante R-141b que se muestra en la figura 20.

Se han recabado los datos obtenidos para la transcripción de la practica con el nuevo refrigerante, también se ha elaborado la parte teórica de la práctica. (En el anexo se encuentra el mismo diagrama a doble carta).

Se han concluido las prácticas correspondientes del equipo.

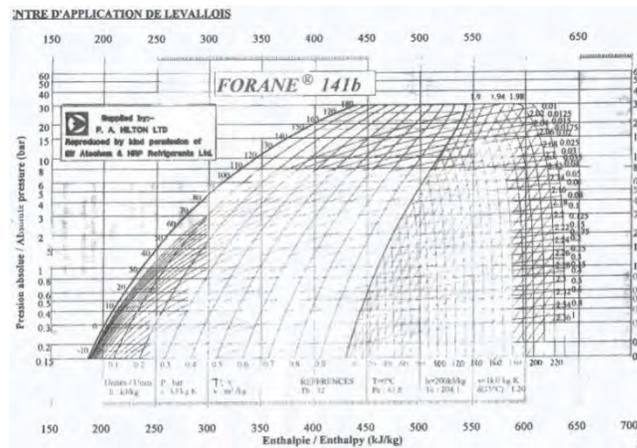


Figura 20 Diagrama de Mollier del refrigerante R-141b. (ver anexo)

3.3. Cambios realizados

Durante el procedimiento de rehabilitación de mantenimiento se intentó de no de modificar los accesorios del intercambiador de calor para no afectar el rendimiento del equipo, sin embargo para que el equipo funcionara se tuvo que sustituir algunos accesorios:

1. El serpentín
2. Válvula de alivio
3. Cambio de refrigerante
4. Se sustituyeron los termopares del elemento térmico

3.4. Operación del equipo

Purga (Solo cuando se agrega refrigerante):

Conecte el suministro eléctrico y ajuste la potencia del calentador a 150 watts. El líquido empezará a hervir vigorosamente y cuando la presión alcance los 30 kPa (manométrica) o el líquido exceda los 25 °C, jale el vástago de la válvula de alivio dejando que se salga el aire del cilindro. Puede ser necesario repetir esta operación hasta que todo el aire sea expulsado.

Gire la perilla que regula el flujo de agua para que entre una mayor cantidad de agua (para reducir la presión), entonces desconecte el suministro eléctrico. La unidad esta lista para usarse.

Pasos obligatorios para la operación del equipo

Antes del arranque del equipo se debe verificar lo siguiente:

El agua de alimentación esté conectada y lista para usarse.

Que el suministro eléctrico este correctamente conectado.

Durante el uso

Controle la presión de saturación al valor deseado por medio de:

Variación del flujo de agua de enfriamiento.

Variación de la energía suministrada al calentador.

Para operación normal, el controlador está ajustado para operar a 200 °C

Después de la operación del equipo

Paro del equipo:

Desconecte el suministro eléctrico y la clavija del contacto.

Circule agua hasta que la presión sea igual a la atmosférica.

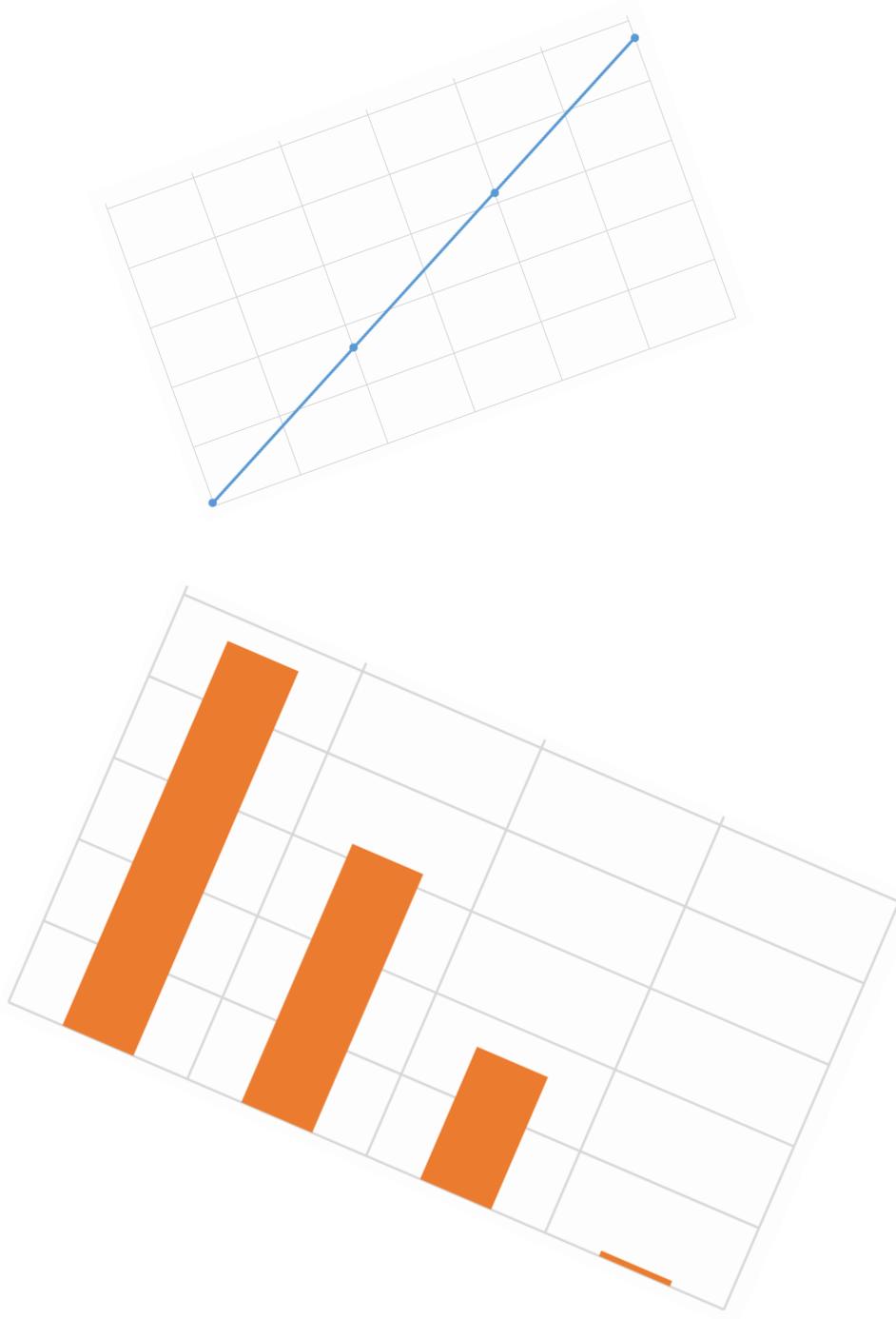
Dejar que el refrigerante alcance una temperatura cercana a la del medio ambiente.

Apague el termómetro electrónico.

Apague el equipo y retire el cable de alimentación eléctrica.

CAPITULO 4

ACTUALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS



4. Actualización de las prácticas

Uno de los propósitos del intercambiador de calor es su uso como equipo didáctico, por esta razón en este capítulo se explicara la metodología usada para la realización de las practicas correspondientes al intercambiador de calor de dos fases empleando el refrigerante sustituto del original.

4.1. Nuevo refrigerante

Para poder realizar la actualización de las prácticas, primero mencionaremos algunas de las características termodinámicas del refrigerante R-141b y las diferencias entre el Freón 11 (R-11).

Una de las características termodinámicas del R-141b es que tiene un punto de ebullición de 32 °C a 10 psi (68.94 kPa), pertenece a la familia de los hidrocloro-fluorocarbonos (HCFC), estos refrigerantes se crearon con la intención de sustituir a los freón o familia de los clorofluorocarbonos (CFC).

4.1.1. Características del freón 11 (R-11)

Este refrigerante pertenece a la familia de los hidrocarburos y a la serie de los etanos, comercialmente también pertenece a la marca “Freón” en donde se encuentran la mayoría de hidrocarburos halogenados (Cloro-fluorados), una de las características de la familia freón es ser químicamente estables.

Una características es la presencia del átomo de flúor en la molécula, la cual permite que el refrigerante sea no inflamables (no puede arder con presencia de una llama) y de baja toxicidad, lo primero permite que la molécula no se descomponga hasta los 200°C.

De acuerdo a DuPont el refrigerante R-11 (freón 11) pertenece al grupo 5a, el cual tiene como definición “Gases y vapores mucho menos tóxicos que el grupo4, pero más tóxicos que el grupo 6”, mientras tanto la definición del grupo 6 nos dice lo siguiente “Gases y vapores que en concentraciones de hasta 20% en volumen,

durante una exposición de 2 horas aparentemente no producen lesiones”, de lo anterior se deduce que el freón 11 tiene una mayor toxicidad durante una exposición de dos horas, por este motivo otro de los usos de este refrigerante es de propelente (gas que sirve para expulsar un fluido de un aerosol).

Otro de los usos que tiene este fluido es en la creación de espumas para construcción de edificios y vehículos, también es utilizado para la limpieza de equipos de refrigeración.

4.1.2. Comparación entre los dos refrigerantes

Una de las principales diferencias entre los dos refrigerantes es la familia a la que pertenecen como se ha visto anteriormente el freón 11 (R-11) es de la familia de los hidrocarburos fluorados (CFC), mientras que el R-141b pertenece al grupo de los (HCFC), principalmente la mayor diferencia radica en que el refrigerante R-141b posee una molécula extra de hidrogeno lo que hace que el refrigerante sea menos estable bajo ciertas condiciones, por lo tanto el freón 11 es mucho más estable que el R-141b.

Se sabe por diversas fuentes [4] que los refrigerantes pertenecientes a los clorofluorocarbonos (CFC) dañan a la capa de ozono, sin embargo como se menciona anteriormente el R-141b al ser una sustancia inestable esta se degrada con mayor facilidad. El freón 11 no muestra descomposición apreciable hasta los 200°C (392°F) ya que en estas condiciones su descomposición se limita a un 2% por año [5].

Aunque los dos refrigerantes sean diferentes, el R-141b tiene características similares a las del freón 11 por lo cual lo convierte en un buen sustituto.

4.2. Prácticas Anteriores

Para la realización de las prácticas con el nuevo refrigerante se tomó en cuenta el desarrollo de las prácticas con el refrigerante anterior, debido a que la metodología de las prácticas permite la obtención de datos con una sustancia de trabajo diferente, sin embargo los datos arrojados variarán proporcionalmente.

Otro de los motivos para realizar el mismo procedimiento de las practicas anteriores es el de poder comparar resultados y de esta forma reconocer la eficiencia del refrigerante R-141b a partir del freón 11, de esta forma se establecerán los parámetros de operación con el nuevo refrigerante.

4.3. Registro de datos para el nuevo refrigerante

Como se ha mencionado anteriormente el problema detectado a través de las pruebas, fue corregido y debido a estas modificaciones se aplicará el procedimiento de cálculo de los coeficientes de transferencia de calor global y coeficiente de convección, también se realizará la comparación entre los refrigerantes.

Para el registro de datos en la relación de las prácticas se tomó como referencia los datos de entrada de las prácticas originales cuando el equipo era nuevo. Los datos de entrada son el voltaje y la corriente como se puede ver en la tabla 3, estos valores servirán para encontrar la relación de presión y flujo de calor, mientras que los valores de la tabla 4 se utilizaran para calcular el coeficiente de convección "h". Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor y posteriormente se utilizaran estos valores para poder realizar una comparación entre los datos obtenidos con el nuevo refrigerante y el anterior.

Tabla 3 Datos utilizados en las prácticas con R-11 [6].

Voltaje	V	121	124	127	131	136
Corriente	I	1.87	1.92	1.96	2.01	2.06
Presión	kPa	75	108	130	172	206

Tabla 4 Resultados típicos obtenidos a una presión de 175 kPa abs. [6]

Voltaje	volts	61	75	87	109	118	125	129	134	57	62.5	68.5
corriente	I	0.89	1.12	1.32	1.68	1.81	1.92	2	2.05	0.83	0.92	1.02
Temp. L.	°C	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Temp. M	°C	49.5	51.5	52.7	55	56	57.1	58	61	134	183	225
T. S. R-11	°C	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

En la tabla 4 se encuentra la temperatura de saturación del refrigerante freón 11 (T.S. R-11). Con el propósito de realizar una comparación, ya que las propiedades termodinámicas de los refrigerantes arrojan diferentes datos. Sin embargo con relación a las ecuaciones de transferencia de calor se puede obtener el calor retirado de los refrigerantes por medio del calor transmitido hacia el agua, otro de los parámetros necesarios son los del R-141b para aplicar la misma metodología.

Tabla 5 Datos obtenidos para trabajar el refrigerante R-141b.

Voltaje	V	122	150	174	218	236
Corriente	I	0.85	1.075	1.25	1.55	1.7
Presión (man.)	kPa	55.15	65	68.94	72.39	73.08

Por medio de los datos que se presentan en la tabla 6 se pudo calcular el coeficiente de convección mientras que para el coeficiente global de transferencia de calor se utilizaran los mismos datos de entrada pero se centran en la transferencia de calor del agua, recordando que son los mismos parámetros que proporciona el manual de las prácticas original del equipo, lo que varía de la tabla 4 son las temperaturas del líquido (refrigerante) las del metal (elemento térmico) y la temperatura agua de entrada (T. A. E.) y a temperatura de agua a la salida (T. A. S.), mientras que los valores de la temperatura de saturación se obtuvieron a partir del Diagrama de Molliere del refrigerante R-141b.

Tabla 6 Datos obtenidos para el cálculo del coeficiente de convección.

Voltaje	V	122	150	174	218	236	250	258	268
Corriente	I	0.85	1.075	1.25	1.55	1.7	1.8	1.87	1.95
T. S.	°C	38	43	44	45	45	46	47	48
T. A. E.	°C	23	23	23	23	23	23	23	23
T. A. S.	°C	24	24	26	26	26	27	27	27

4.4. Parámetros obtenidos

Como se mostró en el segundo capítulo primero procederemos a calcular la cantidad de calor suministrado por el elemento térmico para determinar el flujo de calor sobre un área. Los datos que se muestran a continuación pertenecen a la tabla 5 y representan al refrigerante R-141b.

Calor transferido por el elemento térmico:

$$\dot{Q} = 122 [I] * 0.85 [V] = 103.7 \quad [W]$$

Flujo de calor:

$$\phi = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{103.7}{0.0013} \left[\frac{W}{m^2} \right] = 79769.23 \left[\frac{W}{m^2} \right] = 79.76 \quad \left[\frac{kW}{m^2} \right]$$

Este procedimiento se repite para cada valor de la tabla 3, en la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos.

Utilizando el procedimiento de cálculo del tema anterior calculamos la cantidad de energía retirada por el agua y también el coeficiente global de transferencia de calor. En las siguientes tablas encontraremos los datos obtenidos de usando los datos originales del freón 11.

Cabe señalar que los valores fueron obtenidos a partir del manual de prácticas originales del equipo.

Tabla 7 Resultados obtenidos a partir de la tabla 3 [6].

Voltaje	V	121	124	127	131	136
Corriente	I	1.87	1.92	1.96	2.01	2.06
Presión (abs.)	kPa	75	108	130	172	206
Flujo Q	kW/m ²	168	175	184	195	207

En donde uno de los valores obtenidos, para este caso es el del flujo de calor que tiene unidades de $\frac{kW}{m^2}$ y que representa la cantidad de calor promedio que se transfiere sobre el área del elemento térmico. Algo que se debe destacar para este cálculo se tomó en cuenta la presión dentro del recipiente, posteriormente se explica la razón de este parámetro.

Mientras que para el refrigerante R-141b, se obtuvieron los siguientes valores a partir de la tabla 5:

Tabla 8 Parámetros obtenidos a partir de la tabla 5, R-141b.

Voltaje	V	122	150	174	218
Corriente	I	0.85	1.075	1.25	1.55
Presión (abs.)	kPa	134.95	144.8	148.74	152.19
Flujo Q	kW/m ²	79.76	124.03	167.3	259.92

Estos parámetros obtenidos; es el comportamiento del refrigerante sobre una cantidad suministrada de energía y la relación que tiene con la presión, como se ha mencionado anteriormente se tomaron valores similares en la cantidad de calor suministrado para repetir las condiciones en las que se sometió el refrigerante original (R-11), sin embargo, se puede observar que la presión obtenida en cada refrigerante es diferente, por lo tanto se deduce que el equipo utilizado para la adquisición de datos es diferente al equipo con el que se está trabajando actualmente, aunque las condiciones lleguen a ser diferentes para cada refrigerante uno puede conocer su comportamiento a través de sus propiedades.

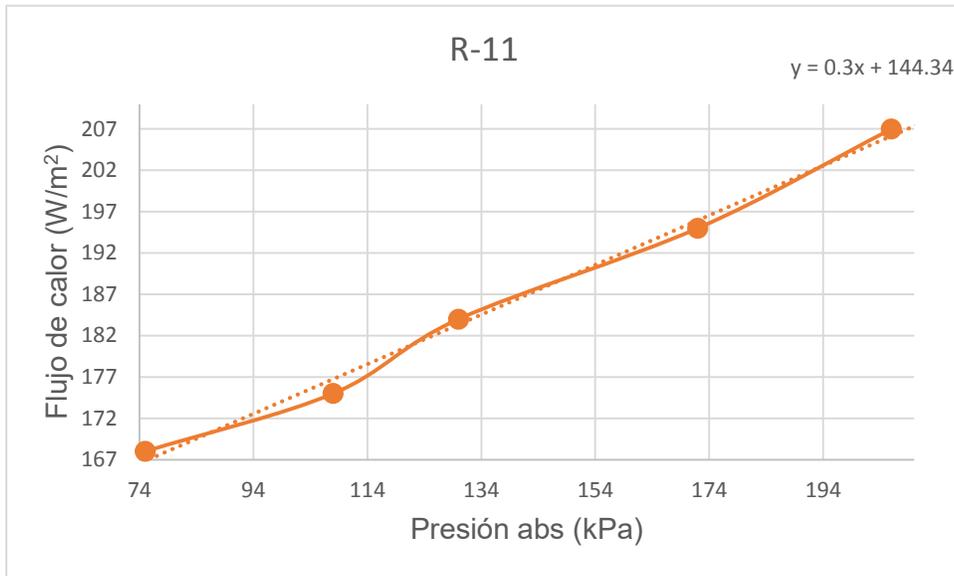


Figura 20 Comportamiento del “Freón 11” en relación de la presión absoluta y el flujo de calor.

En la imagen superior se encuentra la curva obtenida a partir de los valores obtenidos de la tabla 7 en la que se describe el comportamiento del refrigerante freón 11, mientras que en la imagen inferior se observa el comportamiento del refrigerante R-141b, este comportamiento se describe con los valores obtenidos en la tabla 8.

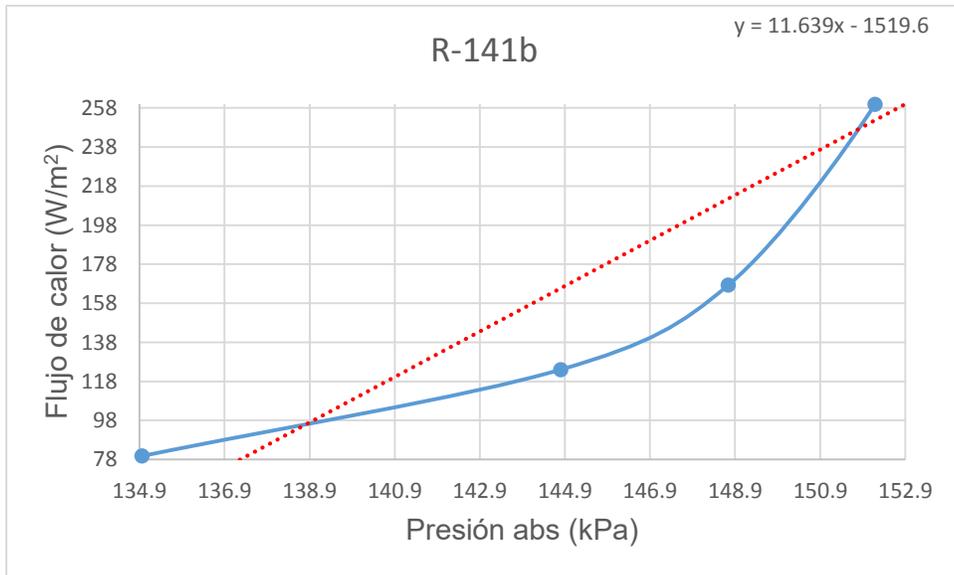


Figura 21 Grafico obtenido a partir de la Tabla 8 (multiplicar las escalas por 100).

Como se ve en las dos graficas tienen una línea de tendencia similar, sin embargo se puede apreciar un rango diferente en la escala de la presión al colocar las dos figuras sobre una misma grafica se observan mejor estas diferencias.

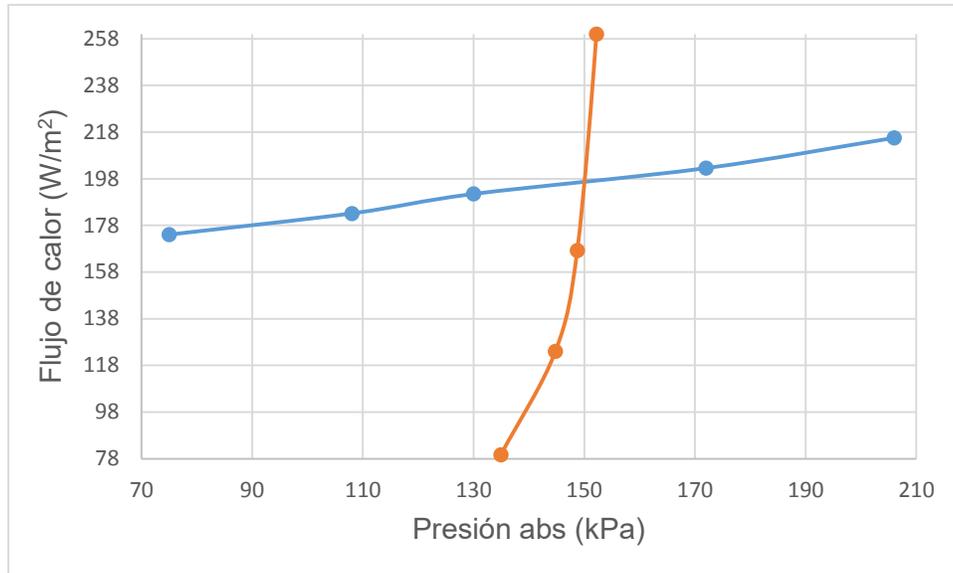


Figura 22 Comparación de las dos gráficas (multiplicar las escalas por 100).

En donde la línea naranja pertenece al refrigerante de R-141b y la línea azul al freón 11 y se observa que la diferencia se debe principalmente a los valores de la presión.

Ahora se calculara el coeficiente de transferencia de calor "h" global a partir de la Tabla 4:

Para calcular la cantidad de calor suministrado

$$\dot{Q} = V * I = 61 [I] * 0.89 [V] = 54 \quad [W]$$

En donde:

V.- Es el voltaje suministrado por la fuente.

I.- Es la corriente suministrada por la fuente.

\dot{Q} .- Es la cantidad de calor suministrada.

Para calcular el flujo de calor

$$\text{Flujo de calor} = \phi = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{54}{0.0013} \left[\frac{W}{m^2} \right] = 40000 [W] = 40 \quad \left[\frac{kW}{m^2} \right]$$

En donde:

A.- Es el área del elemento térmico o el área de transferencia de calor.

Como se ha visto anteriormente el área de sobre el que se transmite el calor se define como flujo de calor, debido a que va sobre una dirección.

Mientras que la diferencia de temperatura se da a partir de la temperatura del líquido refrigerante y la temperatura del elemento térmico.

$$\Delta t = T_m - T_l = 49.5 - 40 = 9.5 [^{\circ}C]$$

Y para el cálculo de la transferencia de calor por convección:

$$h = \frac{\phi}{\Delta t} = \frac{40}{9.5} = 4.2 \left[\frac{kW}{m^2 K} \right]$$

De esta forma se tiene la siguiente tabla obtenida a través de repetir el mismo procedimiento:

Tabla 9 Parámetros obtenidos a partir de la Tabla 4 datos del refrigerante R-11, [6].

Voltaje	V	61	75	87	109	118	125	129	134
Corriente	I	0.89	1.12	1.32	1.68	1.81	1.92	2	2.05
Temp. L.	°C	40	40	40	40	40	40	40	40
Temp. M.	°C	49.5	51.5	52.7	55	56	57.1	58	61
h	kW/m ² K	4.2	5.4	6.7	9	9.9	10.3	11	9.7

Para comprender el coeficiente de transferencia de calor “h” se puede identificar también como la cantidad de calor específica sobre un área específica, por ejemplo esta es la cantidad de calor que se transfiere desde el elemento térmico hacia el refrigerante que tiene una dependencia sobre el área de contacto.

Para el refrigerante R-141b se tienen los siguientes parámetros utilizando la misma metodología de cálculo para el coeficiente de transferencia de calor por convección “h”:

Tabla 10 Parámetros obtenidos para el coeficiente de convección del refrigerante R-141b.

Voltaje	V	122	150	174	218	236	250	258	268
Corriente	I	0.85	1.075	1.25	1.55	1.7	1.8	1.87	1.95
Tem. R.	°C	39	41	42	43	43	44	44	45
Tem. E.	°C	36	38	39	40	40	41	41	42
h	$\frac{kW}{m^2K}$	26.58	41.36	55.76	86.64	102.87	115.38	123.70	134

Para el coeficiente de transferencia de calor global se tiene el siguiente procedimiento de cálculo obtenida a partir de las prácticas originales se tienen los siguientes datos para el refrigerante Freón 11 (R-11), tomando en cuenta las temperaturas de agua de entrada (T. A. E.), temperatura de agua a la salida (T. A. S.) y la temperatura de saturación del refrigerante (T. S.).

Tabla 11 Parámetros de entrada para el refrigerante R-11 [6].

Flujo másico	\dot{m}_A	2.6 g/s
T. A. E.	t_i	9.5 °C
T. A. S.	t_o	30 °C
Voltaje	V	119 V
Corriente	I	1.8 A
T. S	t_s	30°C

Calculando la transferencia de calor para el serpentín:

$$\dot{Q}_A = \dot{m}C_p(t_o - t_i) = (2.6 \times 10^{-3})(4180)(28.5 - 9.5)$$

$$\dot{Q}_A = 206 [W]$$

Calor transferido por el elemento térmico:

$$\dot{Q}_e = V * I = 119 \times 1.8 = 214 [W]$$

Transferencia de calor hacia los alrededores:

$$\dot{Q}_e - \dot{Q}_A = 214 - 206 = 8 [W]$$

Para la diferencia de temperaturas:

$$\theta_1 = t_s - t_i = 30 - 9.5 = 20.5 K$$

$$\theta_2 = t_s - t_o = 30 - 28.5 = 1.5 K$$

Para calcular la diferencia media logarítmica:

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)} = \frac{20.5 - 1.5}{\ln\left(\frac{20.5}{1.5}\right)} = 7.2 \text{ K}$$

Para calcula el coeficiente de transferencia global:

$$U = \frac{\dot{Q}_A}{A\theta_m} = \frac{206}{0.032 \times 7.2}$$

$$U = 900 \frac{W}{m^2K}$$

Como se ha mencionado anteriormente este coeficiente es para el refrigerante r-11 mientras que para el refrigerante R-141b se utilizaran los valores de la Tabla 4.3.-4

Tabla 12 Datos obtenidos para el coeficiente global de transferencia de calor del refrigerante R-1414b.

Voltaje	V	122	150	174	218	236	250	258	268
Corriente	I	0.85	1.075	1.25	1.55	1.7	1.8	1.87	1.95
T. S.	°C	38	43	44	45	45	46	47	48
T. A. E.	°C	23	23	23	23	23	23	23	23
T. A. S.	°C	24	24	25	26	26	27	27	27
\dot{Q}_A	W	81.27	81.27	162.55	243.83	243.83	325.11	325.11	325.11
\dot{Q}_e	w	103.7	161.25	217.5	337.9	401.2	450	482.46	522.6
θ_m	K	15.5	19.5	19.98	20.46	20.46	20.93	21.93	22.94
U	W/m ² K	163.92	130.28	254.20	372.36	372.36	485.26	463.08	442.84

Conclusiones

Se tiene como observación a partir de la figura 22 que por las condiciones en las que se sometieron los refrigerantes se recomienda no sobrepasar la presión de 80kPa manométrica, si se llegase a superar esta presión pueden existir dos casos, el primero es que se llegará a estropear el mano-vacuometro, el segundo que debido a la presión generada por el refrigerante que el recipiente de cristal se llegase a romper, o los dos anteriores, por esta razón se recomienda no sobre pasar esta presión de operación.

Utilizando los valores próximos a los usados en las prácticas originales y los obtenidos en la Tabla 12, se observa que para el valor de 337.9 W, se aprecia que el coeficiente global obtenido por el refrigerante R-141b es menor al obtenido con respecto al freón 11 esto nos puede decir a cerca de la eficacia que tiene el refrigerante para absorber calor debido a que las condiciones son similares que el refrigerante 141b, haciendo la comparación entre los dos refrigerantes se puede concluir que es mejor absorbiendo calor el refrigerante R-141b que el freón 11 y esto se ve reflejado por la relación de calor suministrado y el calor retirado del agua, esta relación se observa en la tabla 12 y el cálculo del calor retirado del agua entre los dos refrigerantes.

Se recomienda que los alumnos realicen los cálculos de transferencia de calor por convección tomando en cuenta otro tipo de refrigerante y la cantidad de calor que se debe extraer, debido a que el coeficiente de transferencia de calor por convección depende principalmente del área de transferencia, y el calor a transferir, sin embargo estos tipos de prácticas pueden ayudar para realizar una comparación de diferentes refrigerantes, de igual forma las superficies de transferencia de calor ya que en la industria se busca el tamaño adecuado para un intercambiador de calor. Por este motivo se pueden especificar ciertos parámetros como la cantidad de calor que se debe transferir y la diferencia de temperaturas que se deben de controlar ya que muchos de estos problemas de práctica son casos en los que se procuran mantener condiciones específicas como casos reales a tratar en la industria.

Referencias

- [1] I. Lira, «Termotecnia Teoría y Métodos en Termodinámica Aplicada,» de *Termotecnia Teoría y Métodos en Termodinámica Aplicada*, 1997.
- [2] Revista Mundo HVAC&R, «Legislación de gases refrigerantes en México,» Revista Mundo HVAC&R, [En línea]. Available: <https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2015/03/legislacion-de-gases-refrigerantes-en-mexico/>. [Último acceso: 06 2016].
- [3] G. A. J. CENGEL YUNUS A., TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, D.F.: MCGRAW-HILL, 2011.
- [4] CENTRO MARIO MOLINA, *EVALUACIÓN DE LOS USOS DE HCFC EN MÉXICO EN EL SECTOR DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO*, D.F, 2008.
- [5] DUPONT, *FREÓN*, ARGENTINA.
- [6] Hilton, P. A. ENGINEERS, *Two Phase Heat Transfer Unit*, Stockbridge, Hants.
- [7] F. Huang, «Ingeniería Termodinámica Fundamentos y Aplicaciones,» de *Ingeniería Termodinámica Fundamentos y Aplicaciones*, 1985.
- [8] C. Y. & B. M., *Termodinámica*, Mc Graw Hill Education, 2015.

ANEXO

