



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“DISEÑO Y ARMADO DEL SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO SOLAR”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA MECÁNICA)
P R E S E N T A N:
DURÁN LARA JOSÉ MAURICIO
SANTIAGO CASTILLO JOSÉ ROBERTO

ASESOR: M. EN I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ

MÉXICO

2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

En primer lugar quiero agradecerle a la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de estudiar en la máxima casa de estudios del país la carrera de mi elección.

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón, por brindarme los conocimientos de ingeniería que serán mis cómplices para superar las metas que me he propuesto alcanzar, una vez más gracias, porque dentro de esta facultad conocí a personas que marcaron mi vida de una forma que jamás me imagine y porque no solo aprendí de ingeniería, también aprendí sobre la vida.

Al Maestro en Ingeniería David Franco Martínez por la confianza y enseñanzas que me brindó durante la realización de este proyecto.

Gracias a todos mis amigos, primero para ustedes que no solo fueron amigos, fueron mis compañeros durante 5 años de la carrera y durante la elaboración de esta tesis, por todo lo que aprendí de ustedes, por todas esas desveladas o por esas veces que estudiamos solo cinco minutos antes del examen, porque nunca faltó un comentario de ánimo o una buena broma.

Para ustedes que aparte de mis amigos son mi familia, gracias porque siempre me han brindado su apoyo incondicional, por sus consejos, por todo lo que hemos vivido, por todas las risas, por vernos cada fin de semana aunque sea para jugar un partido de fútbol y en especial porque que bonito es poder escoger a la familia.

A mi mejor amiga, porque siempre estas conmigo, por escucharme y apoyarme en todo momento, por todo lo que hemos vivido, por todos esos momentos increíbles, risas, logros y hasta tristezas que hemos superado, por aguantarme todos estos años de una increíble amistad, te adoro niña.

A todos mis tíos y primos por el apoyo y las atenciones que nos manifestaron en los momentos más difíciles que pasamos como familia, porque siempre recibí de ustedes un buen consejo y mensajes de ánimo y confianza, por su cariño incondicional durante todos estos años.

A mi hermano, que a su muy particular manera me alienta a crecer como persona día a día, gracias y sabes que te quiero.

Y por último le quiero agradecer a la mujer más importante en mi vida, no solo me la diste, sino que día a día con tu ejemplo me has enseñado lo que es el esfuerzo y la dedicación por salir adelante, a nunca rendirme, que el caerse está permitido pero que levantarse es obligatorio, hoy y siempre te estaré agradecido porque lo que soy es en gran parte gracias a ti, porque hoy, junto a ti, estoy cumpliendo la primera de muchas metas en mi vida, gracias por tu apoyo, enseñanza y fortaleza todos estos años. TE AMO.

Mauricio Durán Lara

Agradecimientos

Si bien esta tesis de licenciatura a requerido de gran esfuerzo y dedicación por parte de los autores y director de tesis, este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda desinteresada de todas y cada una de las personas, que continuación citare y muchas de las cuales se convirtieron en los soportes fundamentales de mi formación.

El primer agradecimiento es a la Universidad Nacional Autónoma de México, que aunque no sea una persona se convirtió en parte fundamental de mi vida, por haberme dado la oportunidad de tener una formación académica sólida y de muy buen nivel.

A las FES Aragón porque gracias a los conocimientos adquiridos a lo largo de mi trayectoria como estudiante, obtuve los cimientos para la realización de este trabajo.

A mi director de tesis, el maestro David Franco por su colaboración, paciencia y apoyo que me ha brindado a lo largo de todo este tiempo.

A mi familia, en primer lugar mis padres Sr. Gelasio Santiago y Sra. Juana Castillo que desde el primer momento me brindaron y me brindan todo el apoyo, colaboración y cariño sin ningún interés, son las personas a las que no solo les debo la vida, porque también me dieron los cimientos fundamentales de mi formación personal. A ellos nunca terminaría de agradecerles por todo el sacrificio que han hecho, por todo lo que me han brindado y porque gracias a eso he podido concluir con este trabajo. Quiero que sepan que los amo.

A mis hermanos por la paciencia, apoyo y cariño que me han dado, por todas las experiencias buenas y malas que con ellos he vivido, las cuales me ha ayudado a ser una mejor persona. Aunque un hermano no se escoge, si pudiera hacerlo no dudaría en escogerlos, a ustedes les digo que los quiero mucho.

A mis abuelos, tíos y primos por sus buenos consejos, confianza y apoyo que me han brindado en los momentos difíciles a lo largo de mi vida. Pero en especial a mi abuelo el Sr. Teodoro Santiago por haberme dado siempre muy buenos y útiles consejos. Aunque ya no esté a mi lado siempre lo recordare con mucho amor, cariño y respeto.

A mis amigos de la carrera, porque con ellos compartí grandes y muy gratos momentos, tanto dentro como fuera de las aulas de estudio, por las grande experiencias que adquirí, por todas las risas que compartimos y por todo el apoyo que recibí de su parte.

A mis mejores amigos que se han convertido en parte de mi familia y aunque algunos ya no se encuentran cerca, se que siempre puedo contar con ellos. Porque durante el tiempo que los conozco me han apoyado y brindado su amistad sin condición alguna.

José Roberto Santiago Castillo

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo I. Conceptos Básicos	
1.1 Refrigeración	4
1.2 Expansión de Gases	5
1.3 Aspectos Termodinámicos en la Refrigeración	6
1.4 Diagrama de Mollier	10
1.5 Empleo del Intercambiador de Calor	11
1.6 Métodos de Producción de Frío	13
1.7 Métodos de Producción de Frío Basados en la Evaporación de un Refrigerante	15
1.8 Sistemas Ditermos, Dos Fuentes de Temperatura para la Producción de Frío	18
1.9 Sistemas Tritermos, Tres Fuentes de Temperatura para la Producción de Frío	21
Capítulo II. Desarrollo del Cálculo Térmico del Sistema de Absorción	
2.1 Cálculo de las Propiedades Termodinámicas	30
2.2 Cálculo del Flujo de Calor “Q” en cada uno de los Equipos que Componen el Sistema de Absorción	38
2.3 Cálculo de las Áreas de Transferencia de Calor en cada uno de los Equipos que Componen el Sistema de Absorción	42
2.4 Cálculo del Flujo Másico de Agua que Circula por el Generador Proveniente del Termo-Tanque	53
2.5 Cálculo del Flujo Másico de Aire que Circula por el Ventilador del Condensador	55
Capítulo III. Armado y Construcción del Sistema	
3.1 Desarrollo	58
3.2 Diseño	59
3.3 Selección de Material	60
3.4 Armado	64
3.5 Pruebas de Vacío	68
Capítulo IV. Propuestas de Mejoras	
4.1 Construcción de un espacio destinado al Equipo de Absorción	73
4.2 Modificación a la posición que ocupa actualmente el Condensador del Sistema de Absorción	77
4.3 Digitalización del Espacio que contendrá al sistema de Absorción	79

Conclusiones	83
Anexos	86
Glosario	101
Bibliografía	110

Introducción

La producción de frío consiste en una serie de procesos que, de manera controlada, establecen rangos de temperaturas bajas para ser utilizadas en un gran diversidad de aplicaciones, a esta serie de procesos le llamamos refrigeración.

La refrigeración se ha convertido en un aspecto de gran importancia no solo para el sector industrial, sino que también se ha vuelto indispensable en el ámbito laboral y social.

Un ejemplo claro de cómo la refrigeración ha beneficiado al sector industrial es la conservación de alimentos percederos manteniendo la calidad de los mismos mediante el uso de cámaras frigoríficas.

Hablando del sector laboral, hoy en día los centros de trabajo cuentan con sistemas de refrigeración haciendo que estos espacios cuenten con características de temperatura adecuadas para un óptimo desempeño, lo que ha sido fundamental para el desarrollo económico de las empresas.

No menos importante ha sido el aporte de la refrigeración al sector social, en la actualidad centros deportivos y recreativos como cines y teatros, así como hoteles o hasta en las mismas residencias y en nuestros coches contamos con equipos de refrigeración, lo que nos permite tener una estancia comfortable.

Como se ha mencionado, la refrigeración se ha vuelto fundamental en nuestras vidas, lamentablemente el uso cotidiano y necesario de este proceso ha hecho que la refrigeración actualmente consuma cerca del 15% de toda la electricidad mundial y aunado a este problema esta la emisión de CO₂ que cada vez toma una mayor relevancia a nivel internacional.

Por tal motivo cada día crece más el interés en el desarrollo de las tecnologías de refrigeración usando energía solar contribuyendo de gran manera no solo al ahorro energético de hidrocarburos sino que, de igual manera, disminuirán las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Debido al impacto ambiental de los refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC) y los hidroclorofluorocarbonados (HCFC) por su participación en la afectación de la capa de ozono y por su contribución al calentamiento global, como gases de invernadero, se investiga a nivel internacional la búsqueda de nuevos refrigerantes alternativos.

Hoy podemos decir que la energía solar ha demostrado la viabilidad técnica para integrarse como energético para el funcionamiento de sistemas de refrigeración ya sea en la conservación y congelación de alimentos o en el acondicionamiento de espacios.

En este trabajo de tesis pretendemos diseñar y armar de un equipo de refrigeración por absorción alimentado por energía solar térmica. Dicho sistema de absorción trabaja con la mezcla refrigerante - absorbente, agua (H₂O) – bromuro de litio (LiBr).

En el primer capítulo de este trabajo se tratan los ciclos termodinámicos, de las distintas formas de producción de frío que existen, de los principios que rigen el aire acondicionado y fue por eso que se le denominó conceptos básicos.

En este capítulo encontramos las propiedades de los refrigerantes, como seleccionar un refrigerante, encontramos también la descripción de varios sistemas que producen frío incluyendo y dando énfasis al sistema de absorción.

En nuestro segundo capítulo desarrollamos una memoria de cálculo en la cual podemos observar las distintas propiedades termodinámicas del equipo de absorción con el cual trabajamos, para la realización de este capítulo nos fue de gran ayuda el uso de gráficas, así como de las tablas de vapor saturado.

El armado de nuestro sistema de aire acondicionado solar corresponde al tercer capítulo de esta tesis, en el cual describimos el trabajo que realizamos, desde la digitalización de cada uno de los componentes que conforman el equipo, el rediseño que tuvo el equipo, la selección de materiales, el mismo armado y las pruebas de vacío que se la realizaron.

Para el último capítulo, propuestas de mejoras, incluimos un par de ideas que estamos seguros aumentarán la eficiencia del sistema y principalmente consideramos que el sistema prolongaría su vida y requeriría un mínimo de mantenimiento.

*LA ENERGÍA SOLAR RECIBIDA CADA 10 DÍAS SOBRE NUESTRO PLANETA EQUIVALE A TODAS LAS RESERVAS CONOCIDAS DE PETRÓLEO, GAS Y CARBÓN.**

* Roberto Best y Brown, Semana Nacional de Energía Solar ANES 2008

Capítulo I

Conceptos Básicos

En este capítulo se tratan los diferentes ciclos termodinámicos que rigen los sistemas de enfriamiento y aire acondicionado, así como de las diferentes formas de producción de frío, tanto naturales como artificiales, que se conocen.

Se sabe que el enfriamiento es un proceso de eliminación de calor de un cuerpo o un espacio, el cual puede ocurrir por medio de una disminución de la temperatura sin que el cuerpo sufra un cambio de estado físico.

De manera natural los cuerpos pueden enfriarse hasta la temperatura de los ambientes naturales, sin embargo, se requieren de medios o técnicas para lograr mantener el cuerpo a una temperatura inferior al ambiente.

1.1 Refrigeración

Consiste en reducir y mantener en un espacio delimitado a una temperatura más baja que la del ambiente inmediato. Uno de los medios más obvios para enfriar un cuerpo, es ponerlo en contacto físico directo con un cuerpo de menor temperatura, llamado agente refrigerante, ya que la energía térmica se transmite desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.

La cantidad de calor Q absorbida por el refrigerante en un proceso de presión constante es:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (1)$$

Donde:

m = masa del refrigerante.

C_p = calor específico a presión constante.

ΔT = incremento de temperatura.

El cambio de fase sólida a fase líquida se llama fusión, en caso contrario se llama solidificación, y la energía absorbida por el refrigerante es calor de fusión. El cambio de fase líquida a vapor se llama vaporización, y viceversa, de vapor a líquido se llama condensación, y la energía absorbida por el refrigerante se llama calor latente de vaporización. Otro cambio de fase es de sólido a vapor. Este proceso se llama sublimación y la energía absorbida por el refrigerante se le conoce como calor de sublimación. En esta fase el cuerpo pasa de la fase sólida a la fase de vapor pero sin pasar por la fase líquida. La cantidad de calor absorbida por un refrigerante en el proceso de cambio de fase es:

$$Q = m \Delta h \quad (2)$$

Donde:

m = masa del refrigerante.

Δh = incremento de entalpía del refrigerante (que es según el caso, calor de fusión, vaporización o sublimación).

La expansión de un líquido genera un descenso de temperatura en este. El descenso de la temperatura es ligero y carece de importancia práctica en la refrigeración si la sustancia permanece en estado líquido durante la expansión, pero apreciable y significativa si el proceso de expansión se realiza dentro de la región de las mezclas Líquido - Vapor.

1.2 Expansión de Gases

Cuando un gas real se expande, aunque permanezca constante la entalpía, puede variar la temperatura, no así en un gas ideal, ya que un proceso a entalpía constante significa que la temperatura también permanece constante. El hecho de que en una expansión de un gas la temperatura aumente, disminuya o permanezca constante, depende del coeficiente de Joule-Thomson.

1.2.1 Coeficiente de Joule-Thomson

$$\mu = (\Delta T / \Delta P)_h \quad (3)$$

El descubrimiento Joule-Thomson nos dice que tratándose de gases reales, h y μ son funciones de la presión y el coeficiente de Joule-Thomson $\mu = (\Delta T / \Delta P)_h$, que es el cambio de la temperatura con respecto a la presión cuando la entalpía es constante ($\Delta h = 0$).

Las líneas típicas de entalpía constante en un diagrama presión-temperatura se muestran en la siguiente figura:

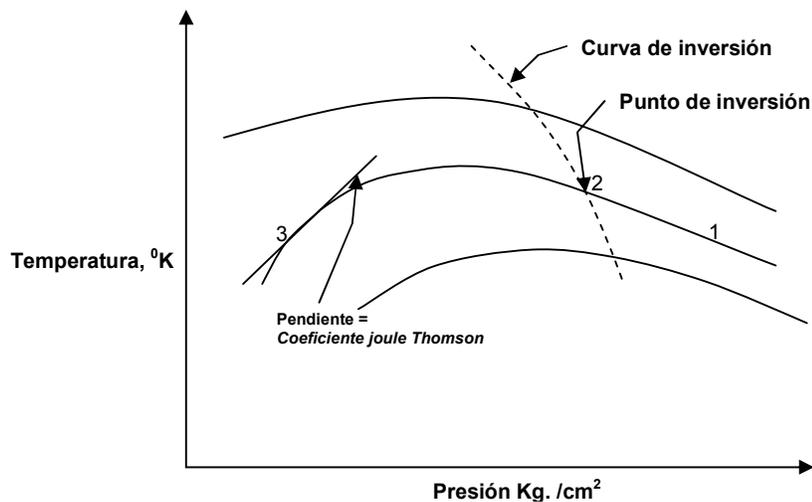


Figura 1.2.1 Líneas de entalpía constante en un gas real

La pendiente en un punto de las líneas de entalpía constante de la figura es el coeficiente de Joule-Thomson. En el punto considerado, se puede lograr que un gas experimente una transformación a entalpía constante haciéndola pasar por un estrangulamiento. Como la presión disminuye en el estrangulamiento, el movimiento a lo largo de la curva, es hacia la izquierda. Si el estrangulamiento ocurre desde el punto

uno hasta el punto dos, la temperatura aumenta. En el punto dos la temperatura tiene un máximo y el coeficiente de Joule-Thomson vale cero. Este punto se llama “punto de inversión”. Si el estrangulamiento ocurre de dos a tres o de uno a tres, la temperatura desciende. Se hace uso de valores positivos del coeficiente de Joule-Thomson para la producción de gases tales como el nitrógeno y oxígeno a baja temperatura.

1.3 Aspectos Termodinámicos en la Refrigeración

La segunda ley de la termodinámica afirma “es imposible que una máquina que actúa por sí misma, sin ayuda de un agente exterior, haga pasar calor desde un cuerpo a cierta temperatura hasta otro que se encuentra a una temperatura superior”.

Los refrigeradores y las bombas de calor son ejemplos de máquinas que transfieren calor de una región de baja temperatura a otra de alta temperatura, siempre y cuando un agente exterior proporcione trabajo o calor a alta temperatura.

En un refrigerador o bomba de calor que emplea una entrada de trabajo, ciclo de compresión de vapor, la transferencia de calor a baja temperatura más el trabajo aportado es igual a la transferencia de calor a alta temperatura, según la primera ley de la termodinámica.

1.3.1 El Ciclo de Carnot

Como todos los procesos que tienen lugar en el ciclo ideal son reversibles, el ciclo puede invertirse. Entonces la máquina absorbe calor de la fuente fría y cede calor a la fuente caliente, teniendo que suministrar trabajo a la máquina. Si el objetivo de esta máquina es extraer calor de la fuente fría se denomina máquina frigorífica, y si es aportar calor a la fuente caliente bomba de calor.

El ciclo de Carnot es un ciclo termodinámico ideal reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual el rendimiento es máximo. El ciclo llamado de Carnot es un ciclo reversible que consta de cuatro tramos: dos a temperatura constante, dos procesos isotérmicos, y otros dos sin absorción ni cesión de calor, procesos adiabáticos. Es decir, se trata de una transformación ditérmica, entre dos temperaturas.

Una máquina térmica que realiza este ciclo se denomina máquina de Carnot. Trabaja absorbiendo una cantidad de calor Q_1 de la fuente de alta temperatura y cede un calor Q_2 a la de baja temperatura produciendo un trabajo sobre el exterior. El rendimiento viene definido, como en todo ciclo, por:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (4)$$

Donde W representa el trabajo producido durante la transformación, puesto que no hay variación de energía interna, por tratarse de un proceso cíclico, se tiene que por el primer principio de la termodinámica:

$$W = \Delta U + \Delta Q = 0 + \Delta Q \quad (5)$$

$$\text{Es decir, se tiene que } W = (Q_1 - Q_2). \quad (6)$$

1.3.2 Ciclo de Carnot Inverso

El ciclo de refrigeración es conocido también como el ciclo inverso de Carnot, en el cual el calor se transfiere desde un nivel a baja temperatura hasta otro a una temperatura superior, lo cual es posible, a menos que se emplee energía externa.

El ciclo de Carnot inverso está compuesto por cuatro procesos totalmente reversibles que se ilustran en la figura 1.3.2, que se muestra a continuación:

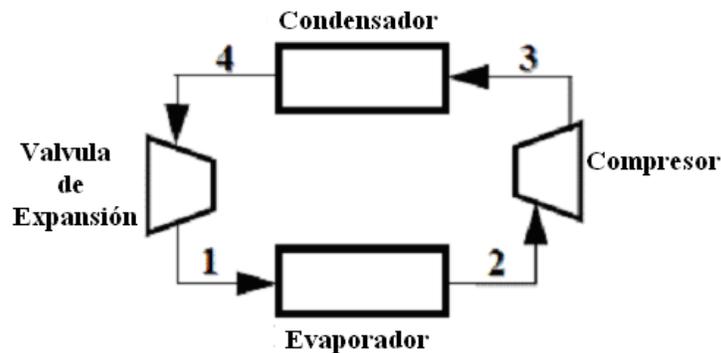


Figura 1.3.2 Ciclo de Carnot inverso

- 1) Una evaporación isobárica e isotérmica de 1 a 2 a una temperatura T_2 donde se suministra al fluido una cantidad de calor Q .
- 2) Una compresión isentrópica o adiabática donde el refrigerante pasa de una temperatura T_2 a una T_3 , donde $T_3 > T_2$, al realizar un trabajo sobre el gas.
- 3) Una condensación isobárica e isotérmica de 3 a 4 a una temperatura T_4 , al ceder una cantidad de calor Q .
- 4) Una expansión isentrópica o adiabática donde el fluido pasa de una temperatura T_4 hasta la inicial T_1 , donde $T_4 > T_1$.

La máquina térmica ideal, que opera según el ciclo de Carnot, consiste en dos procesos isotérmicos, en los que el calor $|Q_E|$ se absorbe a la temperatura inferior T_2 y el calor $|Q_C|$ se rechaza a una temperatura superior T_4 , complementando el ciclo con dos

procesos adiabáticos. El ciclo requiere de la adición de trabajo neto $|W|$ al sistema. Como ΔU para el fluido de trabajo es cero, la primera ley se escribe:

$$|W| = |Q_C| - |Q_E| \quad (7)$$

Donde:

W es el trabajo suministrado por el compresor.

Q_C es el calor cedido en el condensador al refrigerante.

Q_E es el calor absorbido en el evaporador por el refrigerante.

El comportamiento de un refrigerador puede ser medido mediante el coeficiente de rendimiento, éste se define como:

$$\text{COP} = \frac{\text{calor absorbido a baja temperatura}}{\text{Trabajo neto}} \quad (8)$$

Así,

$$\text{COP} = Q_E / W \quad (9)$$

El calor absorbido en el evaporador, con base en la unidad de masa del fluido, está dado por:

$$|Q_E| = \Delta H = H_2 - H_1 \quad (10)$$

En forma semejante, el calor rechazado en el condensador es:

$$|Q_C| = H_3 - H_4 \quad (11)$$

De la ecuación (7)

$$|W| = (H_3 - H_4) - (H_2 - H_1) \quad (12)$$

Por lo que la ecuación (8) para el coeficiente de rendimiento resulta:

$$\text{COP} = \frac{H_2 - H_1}{(H_3 - H_4) - (H_2 - H_1)} \quad (13)$$

La absorción de calor a temperatura constante está dada por la evaporación de un líquido a presión constante, de igual manera la condensación de vapor después de la compresión hasta una presión superior, sirve para rechazar calor a temperatura constante.

El líquido obtenido de la condensación se regresa a su estado original mediante un proceso de expansión, el cual puede realizarse en una turbina y del cual se obtiene trabajo.

Cuando la compresión y expansión son isoentrópicas, la secuencia de los procesos constituye el ciclo de la figura 1.3.2.1, equivale al ciclo de Carnot inverso, a excepción

de que el vapor sobrecalentado que sale del compresor, punto 3 de la misma figura, debe enfriarse hasta la temperatura de saturación antes de que inicie la condensación.

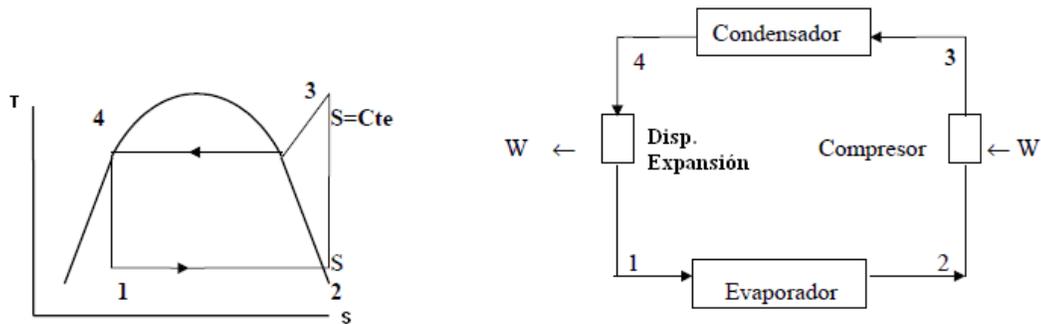


Figura 1.3.2.1 Diagrama del ciclo de Carnot inverso

Este proceso requiere de una turbina o un dispositivo de expansión que opere con una mezcla líquido/vapor, lo cual es poco práctico para pequeñas unidades, por lo que el ciclo de la figura anterior solo se emplea en instalaciones grandes. De manera más frecuente, la expansión se efectúa mediante un estrangulamiento del líquido proveniente del condensador que pasa por una válvula parcialmente abierta. Este proceso de estrangulamiento ocurre a entalpía constante.

El ciclo de compresión de vapor que incorpora una válvula de expansión se muestra en la figura 1.3.2.2:

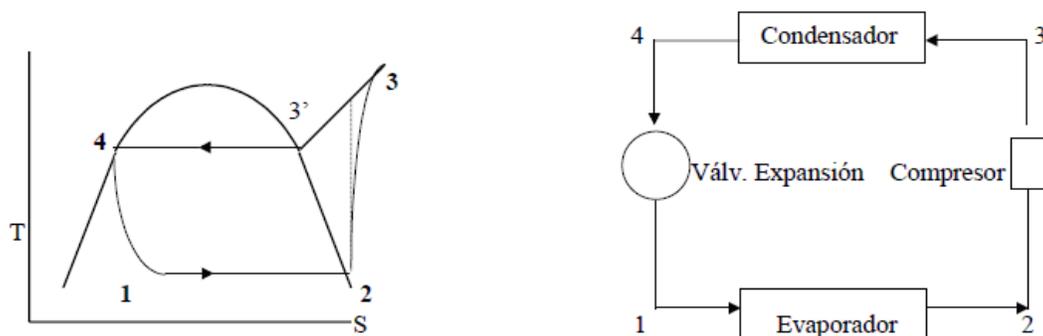


Figura 1.3.2.2. Diagrama del ciclo de Carnot inverso con válvula de expansión

La línea 4-1 representa el proceso de estrangulamiento a entalpía constante. La línea 2-3 corresponde al proceso real de compresión, la pendiente de la línea en dirección de aumento de entropía, refleja la irreversibilidad inherente del proceso.

La línea punteada 2-3' corresponde a la trayectoria de la compresión isentrópica. Para este ciclo el coeficiente de rendimiento se escribe como:

$$\text{COP} = \frac{H_2 - H_1}{H_3 - H_2} \quad (14)$$

El ciclo práctico que se muestra en la figura anterior, se diferencia del ciclo ideal en lo siguiente:

Debido al rozamiento, habrá una ligera caída de presión entre la descarga del compresor y la entrada a la válvula de expansión (condensador) y entre la salida de la válvula de expansión y la aspiración del compresor (evaporador); todo esto por efecto de las pérdidas debidas a la fricción en tuberías y accesorios por donde fluye el refrigerante.

El proceso de compresión no es adiabático ni reversible. Generalmente se producirá una pérdida de rendimiento debida al rozamiento del émbolo en el cilindro.

El vapor que sale del evaporador generalmente está recalentado. Esto hace posible un control automático de la válvula de expansión y también aumenta el rendimiento del compresor, ya que ahora con el líquido recalentado la compresión es seca, es decir, sin la presencia de gotas de refrigerante que dañen al compresor.

El líquido que sale del condensador está ligeramente sub-enfriado, se encuentra, por debajo de la temperatura de saturación correspondiente a su presión. Esto mejora el coeficiente de rendimiento y reduce la posibilidad de formación de vapor en la tubería que llega a la válvula de expansión.

Existe una pequeña transferencia de calor no deseada procedente del medio ambiente a todas las partes del circuito que funcionan por debajo de la temperatura ambiente.

1.4 Diagramas de Mollier

Los diagramas P-h se utilizan para graficar los ciclos de refrigeración por compresión de vapor. La construcción del diagrama o más bien el conocimiento del mismo trae una interpretación más clara de lo que le sucede al refrigerante en sus varias etapas por el ciclo de refrigeración. Si el estado y las propiedades del refrigerante son conocidas y si éste punto puede localizarse en la gráfica, las otras propiedades pueden leerse fácilmente de la misma.

El ciclo normal de compresión de vapor consta de los siguientes procesos básicos:

1. Evaporación del refrigerante líquido, que se convierte en vapor en condiciones de presión constante.
2. Compresión del vapor desde una baja presión hasta una alta presión, este proceso puede suponerse que ocurre a entropía constante.
3. Condensación del refrigerante, el cual se convierte de vapor a líquido. Antes de que pueda comenzar la condensación, el vapor debe llevarse hasta el punto de saturación, removiendo cualquier sobrecalentamiento existente. El proceso completo tiene lugar a presión constante.
4. La expansión del refrigerante líquido desde un nivel de presión en la mezcla de líquido y vapor hasta una presión más baja. Esto ocurre sin que haya transferencia de energía hacia dentro o hacia fuera del refrigerante. En consecuencia, la entalpía permanece constante.

Los procesos a presión constante, evaporación y condensación, se ilustran con rectas horizontales. La expansión a entalpía constante se muestra con una línea vertical. La compresión a entropía constante está representada por una línea inclinada.

En la figura 1.4 se muestra esquemáticamente el ciclo de refrigeración paso a paso, las líneas de evaporación y condensación están dibujadas primero, las línea de expansión y compresión se agregan después para completar el ciclo.

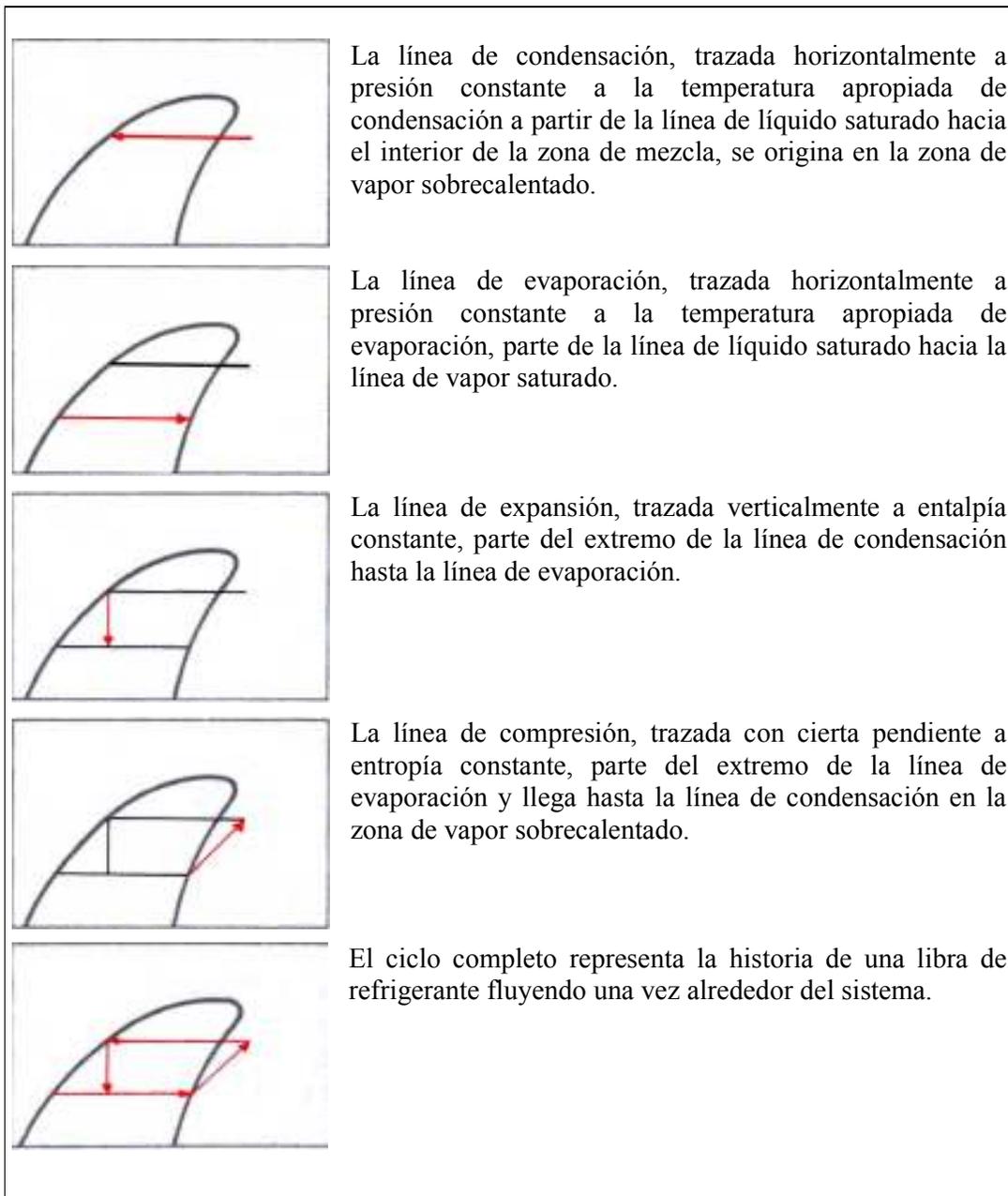


Figura 1.4 Representación esquemática del ciclo de refrigeración en un diagrama P-h

1.5 Empleo del Intercambiador de Calor

En cualquier ciclo operando normalmente, el vapor en la succión del compresor no llega en una condición saturada. Se produce un supercalentamiento en el vapor después de que el proceso de evaporación ha sido completado en el evaporador y/o en la línea de succión.

Si este supercalentamiento se produce sólo en el evaporador, se está haciendo enfriamiento útil porque se está removiendo calor de la carga o producto, en adición al calor que fue retirado durante el proceso de evaporación. Cuando se produce el supercalentamiento en la tubería de succión por medio del intercambiador de calor liquido-succión, éste calor añadido al vapor será benéfico porque se producirá el subenfriamiento del líquido.

El líquido caliente que sale del condensador puede sub-enfriarse mediante un intercambiador de calor, poniéndose en comunicación térmica con el vapor frío que sale del evaporador. Así el calor del líquido se transfiere al vapor en la succión más fría que viaja del evaporador al compresor.

Aunque se obtiene cierta mejora del rendimiento. Las ventajas de esta modificación son estrictamente prácticas:

- a) Para un índice de enfriamiento determinado (Q_E) existe un menor caudal de refrigerante. Aunque aumenta el efecto refrigerante la adición de trabajo al compresor es mayor.
- b) Menos evaporación en la tubería de líquido cuando ésta es muy extensa.
- c) Con el subenfriamiento del líquido que sale del condensador, se evita la presencia de burbujas de vapor que obstruyan el flujo de refrigerante a través de la válvula de expansión.
- c) Eliminación de pequeñas gotas de fluido en la entrada del compresor, debido a que el vapor a la entrada del compresor esta recalentado.

La figura 1.5 muestra dos ciclos de refrigeración súper-puestos: con y sin intercambiador de calor.

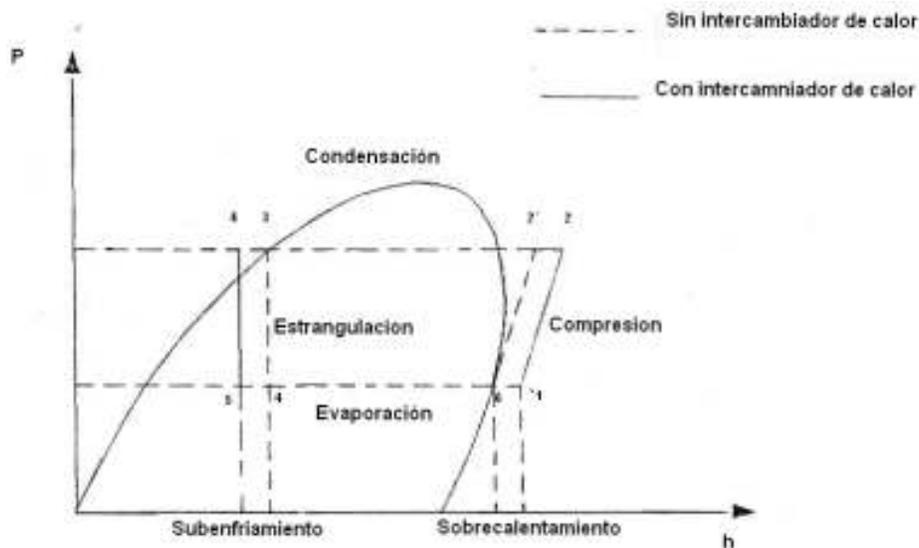


Figura 1.5 Ciclos de refrigeración súper-puestos: con y sin intercambiador de calor

Los cambios de entalpía h_4-h_3 y h_1-h_6 tienen lugar en los lados de líquido caliente y vapor frío del intercambiador de calor respectivamente; los caudales o flujos másicos son iguales en ambos lados $h_3 - h_4 = h_1 - h_6$, despreciando las pérdidas de calor externas o las ganancias en el intercambiador de calor.

Es de notar que el efecto refrigerante por unidad de masa es superior cuando se emplea un intercambiador de calor. De modo que para una potencia de refrigeración determinada, el ciclo con intercambiador de calor tiene un caudal de refrigerante inferior.

Por otra parte, como la compresión es isoentrópica, debido a la divergencia de las líneas de entropía constante, el trabajo del compresor es superior cuando existe intercambiador de calor.

1.6 Métodos de Producción de Frío

La producción de frío es básicamente un fenómeno endotérmico, conocido también como absorción de calor, en donde la fuente de calor es el espacio a enfriar, lo que provoca el abatimiento de su temperatura. Existe una gran diversidad de métodos de producción de frío, los cuales en su mayoría están basados en la extracción de calor de un cuerpo o un espacio por intermedio de la absorción del mismo por un refrigerante. Con base a lo anterior existen métodos de enfriamiento basados en procesos tanto naturales como artificiales.

1.6.1 Métodos Naturales

1.6.1.1 Enfriamiento Radiativo

Este tipo de enfriamiento está caracterizado por la pérdida de energía por medio de la emisión de radiación en donde la capacidad radiativa está determinada por el poder emisor de los cuerpos. Este poder emisor que se presenta de manera notoria durante la noche y es efectuado por muchos cuerpos que pueden alcanzar en algún caso más de 20°C por debajo de la temperatura ambiente esto es debido al intercambio de radiación infrarroja entre los cuerpos y el ambiente.

El estudio de este fenómeno de enfriamiento ha conducido a diferentes aplicaciones en diversas regiones del mundo, tales como la recuperación de la humedad residual para fines agrícolas, la climatización de habitaciones y la producción de hielo.

La emisión infrarroja se acompaña de un enfriamiento de los cuerpos radiantes cuando el balance energético es favorable a la Tierra, es decir, que radia más energía de la que recibe por parte de la atmósfera en los periodos nocturnos y cuando se satisfacen ciertas condiciones, la primera es que la temperatura atmosférica sea baja, en segundo lugar un mínimo contenido atmosférico de vapor de agua y bióxido de carbono y por último una altitud del lugar mayor a los 2000 m.

1.6.1.2 Enfriamiento Evaporativo

Este tipo de enfriamiento es muy conocido, y muy frecuente cuando las personas humedecen su cuerpo y se exponen al aire, en donde sienten una sensación de frío. Esto es debido a que el aire y el calor del cuerpo evaporan el agua y al perder calor nuestro cuerpo experimenta un enfriamiento.

El proceso de evaporación de agua se utiliza para producir un enfriamiento, cuando esta se pone en contacto con el aire. El potencial de enfriamiento es función de la presión de vapor del agua en el aire y se incrementa cuando la diferencia entre la temperatura de bulbo seco y la de bulbo húmedo aumenta.

El enfriamiento evaporativo se usa de manera natural cuando se usan sacos de agua o depósitos sobre los techos de las casas, este efecto actúa de dos maneras, una protegiendo la superficie contra la radiación ultravioleta y la otra enfriando por medio de la vaporización del agua. El viento es un factor importante para incrementar la vaporización del agua, así como la diferencia entre presiones de vapor.

1.6.2 Métodos Artificiales

1.6.2.1 Disolución de Ciertos Solutos en un Solvente

Por lo general consiste en la disolución de ciertas sales en el agua. En las mezclas de sales con agua o hielo, se absorbe calor, cuando el calor debido a la disolución de la sal es negativo; si no existe ningún aporte de calor, la temperatura de la solución disminuye. El abatimiento de la temperatura que se puede alcanzar depende de la relación de las cantidades de las sustancias mezcladas y de su temperatura inicial.

Para mezclas con hielo, es necesario molerlo finamente o emplear nieve. Con el empleo de este en lugar de agua, se obtiene un enfriamiento más importante, debido a que el calor de disolución negativo de la sal fue aumentado por el calor de fusión del hielo. El abatimiento de la temperatura está limitado por el punto eutéctico en el cual la solución se congela.

Si se congela una solución a su punto eutéctico o criohidático por extracción exterior de calor, se obtiene un hielo criohidático o eutéctico, en donde la temperatura de fusión y el calor de fusión son diferentes según la naturaleza de la solución. La temperatura permanece constante durante un largo tiempo, mientras que toda la sal no este disuelta y el hielo fundido.

Los criohidratos encuentran una aplicación práctica en la refrigeración de aparatos y recipientes de transporte, cuando se trata de mantener bajas temperaturas, por ejemplo en el transporte, la venta de helados y en la expedición de productos congelados.

La solución criohidráulica se congela en cartuchos refrigerantes por suspensión en una solución salina y la temperatura de esta solución salina se debe encontrar por debajo de la solución criohidráulica.

El comportamiento de estas mezclas se puede explicar utilizando un diagrama de equilibrio como el que se muestra a continuación, en donde se representan las diferentes fases existentes en función de la temperatura y la concentración de la sal en el disolvente.

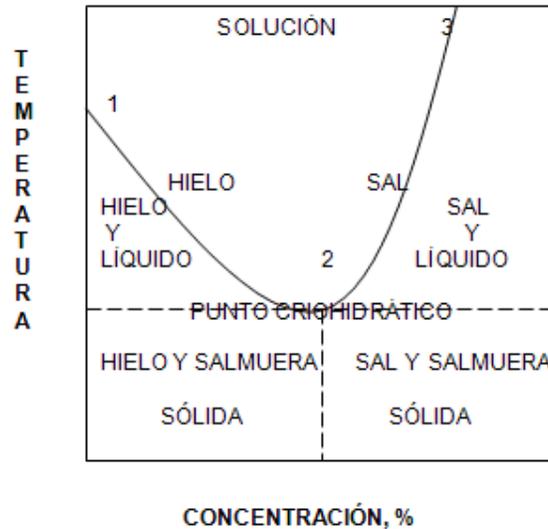


Figura 1.6.2.1. Diagrama de equilibrio de fases de soluciones

1.6.2.2 Expansión de un Gas Previamente Comprimido

Esta expansión se puede realizar en un motor de gas comprimido, en donde se extrae la energía mecánica del gas que se expande. Esta extracción de energía provoca un enfriamiento intenso del gas expandido.

Otra opción para realizar la expansión, es en una válvula, en donde el gas que experimenta esta expansión no produce ningún trabajo al exterior. Este enfriamiento es limitado, ya que según el estado termodinámico del gas antes de la expansión, el gas se puede enfriar, recalentarse o permanecer a una temperatura constante después de esta expansión.

1.7 Métodos de Producción de Frío Basados en la Evaporación de un Refrigerante

Estos métodos se diferencian por la forma en que los vapores que se producen en el evaporador son extraídos. Dentro de estos sistemas tenemos los de compresión, de efecto-compresión y de sorción.

Para el funcionamiento de estos sistemas basados en la evaporación de un fluido, intervienen las sustancias llamadas refrigerantes, en donde en la mayoría de los casos, sufren una transformación de cambio de fase.

1.7.1 Refrigerantes

El refrigerante es una sustancia que es capaz de producir un efecto de enfriamiento sobre el medio que lo rodea, sea un espacio o un cuerpo y que de manera general fluye y evoluciona en un ciclo al interior de un circuito de una máquina frigorífica. En el caso de producción de frío por medio de vaporización, estas sustancias deben tener una temperatura de ebullición, a presión normal, inferior a la temperatura ambiente.

1.7.1.1 Selección del Refrigerante

Para cada uno de los diferentes métodos de producción de frío, existen para determinadas condiciones de funcionamiento, uno o varios refrigerantes apropiados, que garantizan una óptima eficiencia y seguridad, en relación con sus propiedades químicas y físicas, existiendo ciertas condiciones mínimas y propiedades que deben satisfacer, estas son las siguientes:

a) Comportamiento indiferente frente a los materiales utilizados.

El refrigerante no debe combinarse o reaccionar con los materiales utilizados para la construcción de la máquina frigorífica.

b) Estabilidad química.

El refrigerante no debe de sufrir ningún tipo de transformación química, dentro del dominio de temperaturas y presiones de operación.

c) Ausencia de Toxicidad.

Es importante que el refrigerante no tenga efectos nocivos sobre la salud, ni sobre el medio. No todos los refrigerantes satisfacen esta condición.

d) No debe ser explosivo ni inflamable.

Por motivos de seguridad se exige que el refrigerante este operando fuera de los dominios de peligrosidad, en lo referente a los riesgos de explosión y flamabilidad.

e) Fácil detección de fugas.

Por aspectos de seguridad, operación y economía, es necesario que la circulación del refrigerante se realice en conductos herméticos y que las fugas en caso de ocurrir deben ser inmediatamente detectadas, prefiriéndose aquellos refrigerantes que tengan un olor penetrante.

f) Ningún efecto sobre el lubricante.

Si en el circuito del ciclo de refrigeración se utiliza algún tipo de lubricante, el refrigerante no le debe ocasionar ningún cambio químico, ni influir en sus propiedades lubricantes.

g) La presión de evaporación debe ser superior a la presión atmosférica.
En el caso de la refrigeración por vaporización, la presión de evaporación del refrigerante, debe ser dentro de lo posible, algo superior a la presión atmosférica. De esta manera se evita la introducción de aire al interior del sistema.

h) Baja presión de condensación.
La generación de altas presiones de condensación, requiere de estructuras que soporten esta presión aumentando el costo. Se sugiere trabajar el refrigerante a condiciones de operación no muy próximas del punto crítico, con el objeto de realizar más fácilmente la condensación.

i) Gran potencia frigorífica específica.
Entre mayor sea su capacidad o potencia de enfriamiento, se requerirá una menor cantidad de refrigerante en circulación para una potencia de enfriamiento determinada.

j) Costo y disponibilidad.
El refrigerante no debe ser muy costoso y debe estar disponible en el mercado, sobre todo si se requiere de un abastecimiento continuo, como en el caso de los ciclos de refrigeración abiertos.

1.7.1.2 Propiedades de los Refrigerantes

1.7.1.2.1 Propiedades Térmicas

Las propiedades térmicas en general, permiten conocer el comportamiento de las sustancias frente a los cambios de estado o bien el análisis de los diferentes factores externos que intervienen para que estos cambios se produzcan.

1.7.1.2.1.1 Presión de Vapor

Para compuestos puros, el equilibrio entre las fases del refrigerante líquido y el refrigerante vapor, permite la determinación de las temperaturas de evaporación y de condensación, así como de las presiones en función de estas temperaturas.

1.7.1.2.1.2 Volumen Específico y Densidad

El volumen específico es el valor inverso de la densidad, y ambos varían en función de la temperatura y de la presión, siendo más importante este efecto si el refrigerante se encuentra en fase vapor. Conociendo el volumen específico se puede determinar la cantidad de vapor generado por la vaporización de una cierta masa de refrigerante líquido.

1.7.1.2.1.3 Calor Específico

El calor específico indica la cantidad de calor necesaria para absorberse o disiparse, para obtener la variación de un grado de temperatura de una cierta masa de una sustancia. Este valor es muy importante sobre todo para el dimensionamiento de los intercambiadores de calor.

1.7.1.2.1.4 Calor Latente

El calor latente indica la cantidad de calor necesaria por unidad de masa de la sustancia, para efectuar una transición de estado de agregación a otro. En el caso de los refrigerantes existen grandes variaciones de estos calores.

Tabla 1. Propiedades de algunos refrigerantes*

Refrigerante	Formula Química	Peso Molecular	Punto de Congelación (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Punto Critico		Rango Efectivo (K)
					(°C)	(bar)	
R 717	NH ₃	17.03	-77.9	-33.4	132	114	156
R 718	H ₂ O	18	0	100	374	221	264
R 744	CO ₂	44.01	-56.6	-78.5	31	73.8	78
R 764	SO ₂	64.06	-75.5	-10.3	158	78.8	158
CFC 11	CCl ₃ F	137.38	-111	23.8	198	44	164
CFC 12	CCl ₂ F ₂	120.92	-158	-29.8	112.0	41.6	132
CFC 13	CClF ₃	104.47	-181	-81.4	28.8	36.6	100
BiFC 13B1	CBrF ₃	148.92	-168	-57.8	67.0	39.6	115
HCFC 22	CHClF ₂	86.48	-160	-40.8	96.2	50.0	127
CFC 114	C ₂ Cl ₂ F ₄	170.43	-94	3.6	145.7	32.6	132
R 502	R22/R502	111.60	-160	-45.6	82.2	40.8	118
R 290	C ₃ H ₈	44.09	-188	-41.6	96.8	42.6	128

*Fuente: Refrigeración Solar, Pilatowshy, ANES 2008

1.8 Sistemas Ditermos, Dos Fuentes de Temperatura para la Producción de Frío

Estos sistemas funcionan entre una fuente fría en donde absorben calor y una fuente caliente en donde disipan el calor al medio ambiente. En este caso las temperaturas corresponden en el caso de un régimen interior a las condiciones de transformación del refrigerante, la fuente fría estará a la temperatura de evaporación y la fuente caliente estará a la temperatura de condensación.

Si se refiere a un régimen exterior, se consideran las temperaturas de los fluidos exteriores por intermedio de los intercambiadores de calor, tanto del fluido a enfriar, como del fluido de enfriamiento que puede ser agua o aire a temperatura ambiente, el cual se utiliza para disipar los calores de condensación y los correspondientes a los de disolución o reacción química.

Los sistemas frigoríficos ditermos incluyen los ciclos de compresión mecánica de vapores y los basados en el principio de Peltier. Para asegurar el funcionamiento de estos ciclos es necesario el suministro continuo de energía mecánica o eléctrica.

1.8.1 Máquina Frigorífica a Compresión

Esta está formada por un evaporador, en donde el refrigerante se evapora bajo la presión de evaporación. Los vapores formados por lo general se sobrecalientan un poco a la salida de este intercambiador. Un compresor mecánico, que aspira los vapores sobrecalentados y los re-comprime a una presión correspondiente a la temperatura de saturación del sumidero de calor, normalmente referida a la temperatura de condensación. Un condensador en donde el vapor sobrecalentado se licua y el líquido se puede sub-enfriar. El enfriamiento del condensador puede efectuarse con fluidos ambientales como el agua y el aire. Una válvula de expansión, la cual recibe el refrigerante líquido y lo expande de la presión del condensador a la presión del evaporador, siendo una expansión isoentálpica, en donde disminuye la calidad del vapor. El líquido pasa nuevamente al evaporador y de esta forma se inicia un nuevo ciclo de refrigeración.

Si se desea disminuir aún más la temperatura entre -20°C y -50°C se puede aplicar ciclos a dos etapas de compresión, pero si se requieren aún temperaturas más bajas, entre -60°C y -160°C , es posible utilizar estos ciclos en forma de cascada.

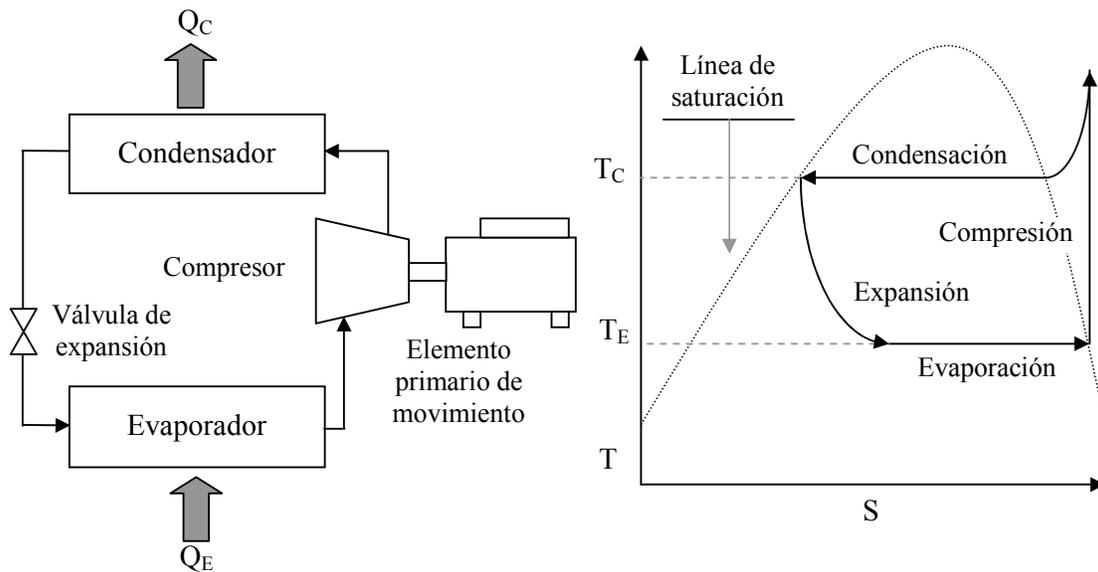


Figura 1.8.1. Representación de un ciclo de refrigeración por compresión mecánica de vapores

1.8.2 Ciclo Rankine

Un ciclo alternativo para la producción de frío usando energía térmica es el ciclo de la máquina térmica Rankine, la cual recibe calor de una fuente térmica, misma que convierte esta energía a trabajo mecánico el cual es utilizado para operar un sistema convencional de refrigeración por compresión mecánica de vapor.

El calor es suministrado al generador de vapor por medio de cualquier fuente térmica o un sistema de almacenamiento térmico. En el generador se lleva a cabo la vaporización del fluido, por lo general agua; el vapor se separa, si es necesario, del líquido y pasa a una turbina en donde es extraído el trabajo mecánico.

Dependiendo del fluido de trabajo utilizado, el fluido puede entonces pasar a través del generador donde previo a fluir al condensador se disipa algo de energía antes de su licuefacción. El condensado se bombea hacia un regenerador antes de regresar al generador. Este regenerador sirve para mejorar la eficiencia del sistema por medio de la transferencia de energía utilizable del fluido a la salida de la turbina a la alimentación del generador.

El trabajo mecánico obtenido de esta máquina térmica se usa para el funcionamiento de un compresor de forma directa a través de un sistema motor-generator eléctrico. El refrigerante se comprime usando un equipo convencional para producir una alta temperatura y alta presión en el refrigerante, el cuál se condensará a su paso a través del condensador, disipando el calor correspondiente al medio.

El refrigerante líquido se expande por medio de una válvula de expansión hacia el evaporador en donde vaporiza por medio de la absorción de calor del propio medio a enfriar.

Después del proceso de vaporización el vapor es succionado por el compresor para ser re-comprimido para reiniciar otro ciclo de refrigeración.

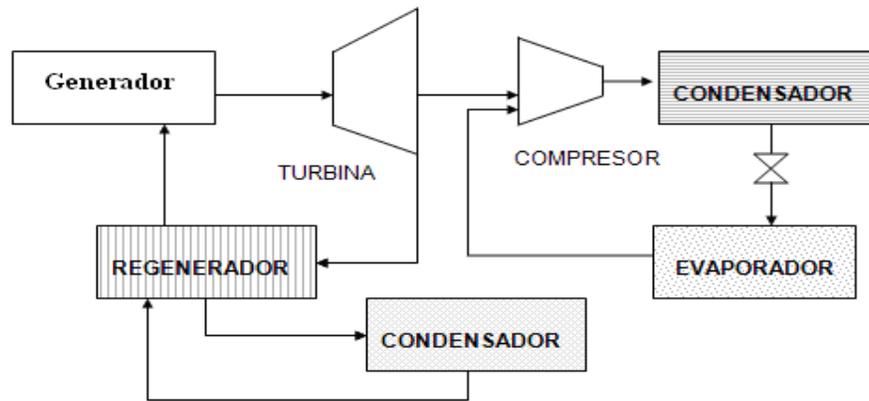


Figura 1.8.2 Diagrama esquemático de un ciclo Rankine

1.8.3 Principio de Peltier

El enfriamiento producido por medio del efecto termoeléctrico se debe al paso de una corriente eléctrica en la junta de dos metales diferentes. El efecto termoeléctrico conocido con el nombre de Peltier, esta relacionado con las interacciones entre el flujo de calor y el flujo eléctrico en sólidos conductores y semiconductores. Es decir que hay un flujo de calor proporcional a la corriente eléctrica aplicada y depende de las características del material. La refrigeración termoeléctrica es una transferencia de calor que utiliza los cambios de niveles de energía de las cargas eléctricas para transportar energía térmica.

1.9 Sistemas Tritermos, Tres Fuentes de Temperatura para la Producción de Frío

Como su nombre lo dice, este tipo de sistemas requieren de por lo menos tres fuentes de calor. La primera será una fuente de baja temperatura, de donde el calor se extrae del medio a enfriar. En segundo lugar necesita una fuente de mediana temperatura, en donde el calor se cede al medio exterior. Y por último una fuente de alta temperatura donde el calor se suministra para asegurar su funcionamiento.

Existe una clasificación para este tipo de sistemas tritermos de producción de frío, esta es la siguiente:

A. Sistemas en donde interviene un ciclo de producción de energía mecánica con motor térmico y un ciclo frigorífico a compresión.

- Un motor térmico a combustión interna (a gas o con combustibles líquidos).
- Un motor a gas caliente (combustión externa, con calentamiento clásico o solar).
- Un motor a vapor (calentamiento clásico o solar).

B. Sistema en donde intervienen un motor térmico y un ciclo de refrigeración a aire.

C. Sistema en donde intervienen un módulo termoeléctrico Seebeck y un módulo efecto Peltier.

D. Sistemas a sorción:

- Sistemas a absorción (líquido – vapor).
- Ciclo con funcionamiento continuo.
- Sistemas a absorción (sólido – vapor).
- Ciclo de refrigeración por compresión-absorción.

E. Sistemas frigoríficos a eyección.

La clasificación anterior engloba todos los sistemas que utilizan tres fuentes de temperatura para producir frío, a continuación explicaremos los sistemas que forman parte de la refrigeración por absorción.

1.9.1 Sistemas de Refrigeración a Sorción

Los vapores son retenidos por un material líquido o sólido, lo que provoca su aspiración a la salida del evaporador.

Existen dos formas por las cuales estos materiales pueden fijar a los vapores, uno en donde el vapor se fija al material por medio de uniones de naturaleza física, resultando en un fenómeno superficial, al que se conoce con el nombre de adsorción, en donde por lo general ocurre entre un sólido y un vapor, este fenómeno se puede presentar también aunque con menos frecuencia entre un líquido y un vapor. En la adsorción el material que adsorbe se le conoce como adsorbente y al material adsorbido como adsorbato.

La otra forma es que el vapor se solubiliza al interior del material y en donde posteriormente ocurre una reacción química. Este fenómeno se conoce con el nombre de absorción y ocurre tanto en materiales líquidos como en sólidos. En la absorción, el

material que absorbe se le conoce como absorbente y el material absorbido como absorbato.

En este tipo de sistema el refrigerante en forma vapor es adsorbido o absorbido por un líquido o sólido, a la salida del evaporador.

1.9.1.1 Refrigeración por Absorción

El ciclo de refrigeración por absorción es un caso particular de los sistemas a sorción en donde participan por lo general dos fases, sea, entre un líquido y un vapor o entre un sólido y un vapor.

De todos los ciclos termodinámicos disponibles para la producción de frío los sistemas tritermos a sorción son los más utilizados en la aplicación de energías de baja entalpía como la solar o el calor de desecho industrial, en particular los sistemas a absorción líquido-gas y sólido-gas y los de adsorción sólido-gas, tanto en funcionamiento continuo como intermitente.

1.9.1.1.1 Propiedades del Absorbente

El absorbente debe tener ciertas propiedades para poder ser utilizado como fluido en los ciclos de refrigeración por absorción, como las siguientes:

1.- El absorbente debe tener una fuerte afinidad por el refrigerante. Entre mayor sea esta afinidad, se requerirá una menor cantidad, reduciendo las pérdidas térmicas durante su calentamiento. Sin embargo, si esta afinidad es demasiado grande, será necesario suministrar una gran cantidad de energía para la restitución del refrigerante.

2.- La presión del vapor a la temperatura requerida en el generador debe ser despreciable o muy baja, en comparación con la presión de vapor del refrigerante.

3.- El absorbente debe permanecer en estado líquido durante todo el ciclo, para evitar el problema de cristalización; la estabilidad química debe ser buena y no debe ser corrosivo ni tóxico.

4.- El calor específico debe ser bajo para evitar las pérdidas, la conductividad térmica debe ser lo más alta posible, la viscosidad y la tensión superficial deben ser bajas para facilitar la transformación del calor y la absorción.

5.- El absorbente debe ser menos volátil que el refrigerante, para facilitar su separación en el generador. Si esto no es posible, se requerirá la integración de un rectificador para llevar a cabo esta separación en forma de vapor.

1.9.1.2 Sistemas Refrigerante – Absorbente Utilizados en la Refrigeración por Absorción

Con el objeto de analizar la posibilidad de utilización de cualquier combinación de refrigerante - absorbente, es indispensable conocer las propiedades del refrigerante puro y del absorbente puro, así como las propiedades termodinámicas de sus soluciones. La combinación entre ambos debe por lo menos satisfacer dos principales requerimientos termodinámicos, el primero, una alta solubilidad del refrigerante en el absorbente y segundo, una gran diferencia en los puntos de ebullición entre el absorbente y el refrigerante. Con base en lo anterior se han propuesto un gran número de combinaciones, algunas de las cuales se pueden observar en la tabla siguiente.

Tabla 1.1 Combinaciones refrigerante – absorbente *

REFRIGERANTE	ABSORBENTE
Agua	Soluciones de bromuro, cloruro, ioduro y tiocianato de litio, cloruro de calcio, ácido sulfúrico, etc.
Amoniaco y aminas primarias	Agua, tiocianato de sodio, nitrato de litio, etc.
Compuestos orgánicos halogenados (freones)	Éteres, ésteres, amidas y aminas y otros.

*Fuente: Refrigeración Solar, Pilatowshy, ANES 2008

Aun habiendo una gran cantidad de combinaciones existentes, solo unas cuantas de estas se han utilizado para trabajar con sistemas de refrigeración comercialmente. Dentro de estos sistemas, las combinaciones mas importantes son; agua-bromuro de litio y amoniaco-agua.

1.9.1.2.1 Sistemas Agua – Bromuro de Litio

Este sistema se ha estado utilizando para la operación de refrigeradores por absorción en el acondicionamiento de aire. Su principal ventaja radica en que el agua como un refrigerante tiene un alto calor latente de vaporización, el absorbente no es volátil de tal manera que no se tiene mezcla del absorbente con el refrigerante al salir del generador, por lo tanto no es necesario tener un rectificador y el sistema opera a baja presión y los requerimientos de potencias de bombeo son bajas, el agua no es tóxica y no produce flama.

La desventaja de este sistema radica en que esta combinación es muy corrosiva a los materiales de construcción, el hidrogeno es el producto de la reacción de corrosión el cual incrementa la presión del sistema, por lo tanto baja la eficiencia de operación del ciclo; y además durante la operación del sistema, la combinación está asociada al problema de cristalización del bromuro de litio y de aquí que sea inconveniente sus uso prolongado.

1.9.1.2 Sistemas Amoniaco – Agua

El sistema amoniaco – agua es una de las combinaciones refrigerante – absorbente más antiguas empleadas con éxito en la industria de la refrigeración y aire acondicionado. El amoniaco como refrigerante es muy común en los sistemas de absorción debido a ciertas favorables características termodinámicas, como bajo peso molecular y por lo tanto gran calor de vaporización, aunque su gran desventaja es el alto nivel toxico del amoniaco. El agua es un apropiado absorbente del amoniaco, debido a su bajo costo, disponibilidad y no toxicidad. Tanto el refrigerante como el absorbente son estables y en general compatibles con un gran número de materiales de construcción.

1.9.1.3 Ciclo Continuo de Refrigeración por Absorción para el Acondicionamiento de Aire

1.9.1.3.1 Sistema Agua – Bromuro de Litio

En este principio de funcionamiento el fluido refrigerante es el agua, el cual se absorbe en soluciones de bromuro de litio. Debido a que el refrigerante es el agua, este sistema no permite la producción de frío a temperaturas inferiores a los 0°C, por el problema de la congelación. Sin embargo, esta tecnología es la más apropiada y comercial para el funcionamiento con energía solar por requerir temperaturas de regeneración menos altas y una de las aplicaciones de este sistema es que esta diseñado para la climatización de espacios.

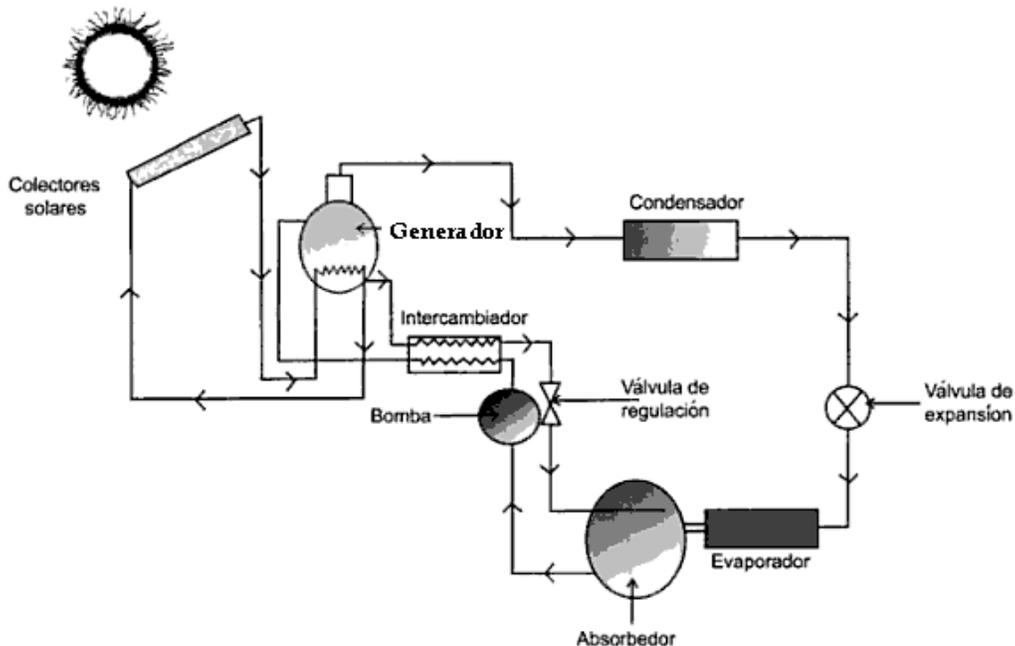


Figura 1.9.1.3.1 Diagrama esquemático de un sistema de absorción

En la figura 1.9.1.3.1 se puede observar esquemáticamente el ciclo a efecto simple de este tipo de maquinas frigoríficas. El circuito de la solución se realiza en el generador y el absorbedor. El líquido es bombeado desde una sección de baja presión en el absorbedor hasta una sección de alta presión en el generador. Por lo tanto se puede considerar que toda la máquina se encuentra entre dos niveles de presión, un conjunto de elementos que operan a una alta presión; el condensador y el generador y otro conjunto de elementos que opera a baja presión; el evaporador y el absorbedor.

La solución líquida es bombeada al generador donde se le suministra energía mediante fuentes exteriores como en nuestro caso, energía solar térmica. La temperatura requerida es impuesta por las propiedades del fluido de trabajo y la operación del resto de componentes en la máquina. El calor suministrado a la solución provoca la ebullición y evaporación del componente más volátil, en este caso el agua, que realiza las funciones de refrigerante. La sal de bromuro de litio es esencialmente no volátil por lo tanto la tendencia a escapar de las moléculas de bromuro de litio es tan pequeña bajo las condiciones encontradas en el generador que se considera que el vapor generado es prácticamente agua pura.

El proceso en el generador es una evaporación parcial. El vapor generado en el fluye al condensador. La solución líquida remanente sale del generador y retorna al absorbedor, esta solución es más concentrada en sal que la que sale del absorbedor. La solución concentrada de retorno al absorbedor pasa por un intercambiador de calor y cede energía a la solución que saliendo del absorbedor se dirige hacia el generador. Este intercambio ocurre entre dos flujos de líquido e implica únicamente transferencia de calor sensible.

El objetivo de este intercambiador interno de energía es reducir las necesidades de energía externa utilizando energía obtenida en la propia máquina, que de otra manera sería desechada. El intercambiador de calor en el circuito de la solución es un componente clave del sistema, por lo que tiene un importante impacto en el diseño de las maquinas de absorción.

La cesión de energía de la solución que retorna al absorbedor hace que llegue a la válvula de expansión. El paso a través de la restricción hace que parte del líquido se evapore. El flujo de dos fases entra en el absorbedor donde la solución concentrada entra en contacto con el vapor procedente del evaporador. El proceso de absorción sucede si el absorbedor es enfriado por un sumidero externo, como una torre de refrigeración. Mientras el vapor es absorbido la fracción de masa del líquido se reduce a los niveles que se encuentran en la entrada del generador.

El ciclo del refrigerante de una máquina de absorción tiene una función idéntica que el correspondiente ciclo en una máquina de compresión de vapor. El vapor fluye del generador al condensador donde es licuado cediendo energía al medio. El líquido que deja el condensador circula por la válvula de expansión descendiendo su presión. Debido al elevado calor latente del agua, la calidad del vapor que se genera en el proceso es relativamente es baja comparada con los refrigerantes comunes utilizados en los sistemas de compresión de vapor. El refrigerante se incorpora al evaporador, la evaporación tiene lugar acompañada por la trasferencia de energía del ambiente del evaporador por lo que todo el refrigerante fluye al absorbedor en forma de vapor.

1.9.1.3.2 Ciclo de Refrigeración por Compresión-Absorción

Un refrigerador operado bajo del principio de la compresión-absorción es como su nombre lo indica una combinación de un refrigerador por compresión y un refrigerador por absorción. Con este tipo de ciclos se combinan las mejores características de ambos en uno solo.

1.9.1.3.2.1 Generalidades del Ciclo por Compresión-Absorción

La figura 1.9.1.3.2.1, muestra esquemáticamente la versión más simple de un refrigerador por compresión-absorción, la cuál está formada por un generador, un absorbedor, un compresor, una bomba y una válvula de expansión.

En el generador, se suministra una cantidad de calor Q_{GE} , para separar el vapor del fluido de trabajo del absorbente. El vapor obtenido es comprimido para dejarlo a una mayor presión a la entrada del absorbedor. La solución diluida, baja concentración del componente más volátil, es bombeada del generador al absorbedor para absorber el vapor proveniente del compresor, disipando una cantidad de calor Q_{AB} hacia el exterior a una temperatura mayor que a la que se suministró calor al generador. Por último, la solución concentrada, alta concentración del componente más volátil, pasa a través de la válvula de expansión hacia el generador dando inicio una vez más al ciclo.

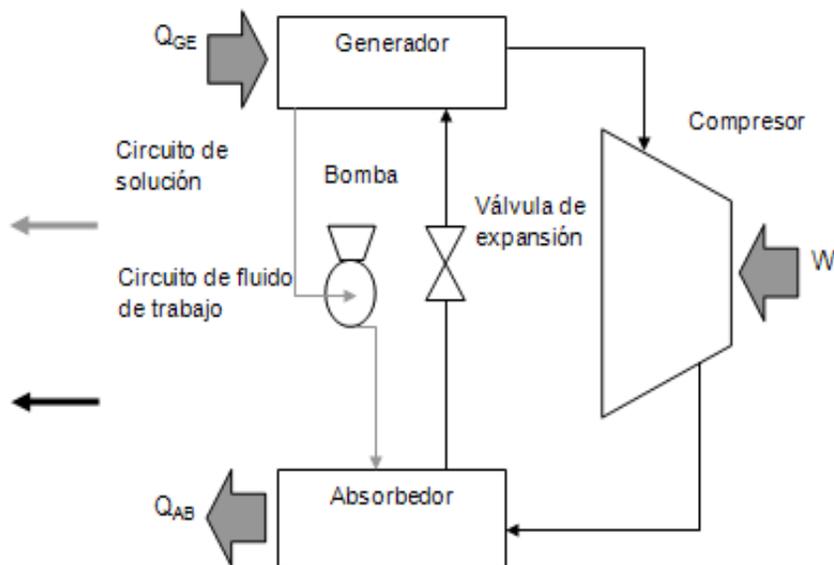


Figura 1.9.1.3.2.1 Diagrama esquemático de un ciclo por compresión-absorción

1.9.1.4 Ciclo De Refrigeración Por Adsorción

Las bombas de calor por adsorción son sistemas sólido/gas, muy semejantes en concepto a los sistemas termoquímicos salvo por la diferencia básica de que la operación entre el sólido y el gas es una adsorción. El efecto térmico se debe a la Δh de

adsorción. La unidad básica del proceso consiste en un recipiente en el cual se lleva a cabo la adsorción sólido/gas, los cuales se llaman adsorbente para el sólido y adsorbato para el refrigerante.

Dicho recipiente se encuentra conectado a un condensador y un evaporador. Al igual que en todos los sistemas por sorción, existe una relación de equilibrio de fases que gobierna los fenómenos de adsorción, transferencia de calor, presión y temperatura de operación.

1.9.2 Sistemas De Refrigeración a Eyección – Compresión

Un sistema de refrigeración por eyecto-compresión combina un ciclo de compresión de vapor y un eyector de vapor. El ciclo por eyecto-compresión se puede considerar como un ciclo por compresión de vapor que emplea para su operación un eyector en lugar de un compresor convencional. El refrigerante es succionado y comprimido a presión de saturación en el eyector a partir del empleo de un fluido motor. El fluido motor deberá ser un fluido del mayor peso molecular posible, pero en la mayoría de las instalaciones convencionales por cuestiones prácticas se emplea el mismo fluido como refrigerante y motor.

Como se puede observar en la figura 1.9.2, una bomba de calor por eyecto – compresión está constituida básicamente por dos circuitos térmicos, uno llamado circuito motor ó caliente y otro llamado circuito frío. El circuito caliente tiene como función producir el vapor del fluido de trabajo en el generador de vapor mediante el suministro de una cantidad de calor Q_G para después pasarlo al eyector.

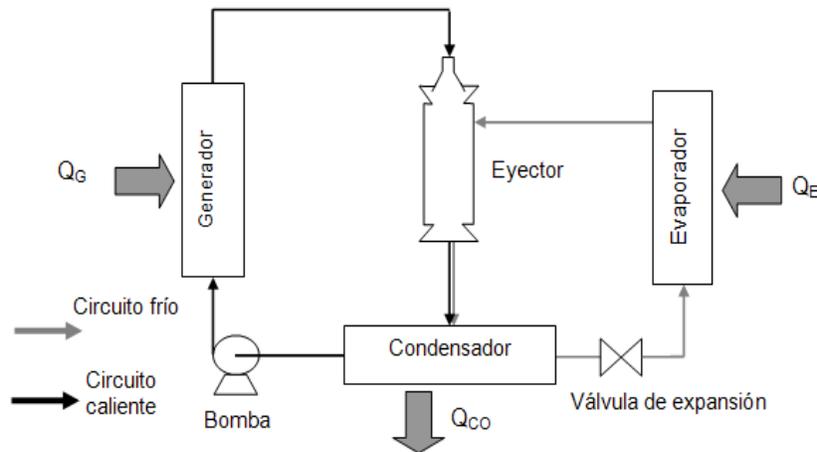


Figura 1.9.2 Diagrama esquemático de un sistemas de refrigeración a eyección

Capítulo II

Desarrollo del Cálculo Térmico del Sistema de Absorción

En este capítulo presentamos la memoria de cálculos de nuestro sistema de aire acondicionado por absorción, con el cual se pretende acondicionar un cuarto de pruebas, mismo que, por medio de la utilización de algunos dispositivos se pretende simular la presencia de dos personas y un equipo de cómputo en condiciones normales, este cuarto de pruebas se encuentra situado en el área metropolitana de la Ciudad de México en donde la radiación global diaria promedio anual es de $413 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{día}$, como se puede observar en el anexo 2.

Tomando como base los resultados teóricos de un programa para la ganancia de calor, mismo que fue realizado anteriormente por el laboratorio de diagnóstico energético, en el cual se acordó trabajar en 1.5 toneladas de refrigeración, es decir, la cantidad de calor que se tendría que retirar del cuarto de pruebas.

En esta memoria de cálculos mostramos principalmente las presiones, temperaturas, entalpías y flujos máxicos en puntos importantes del sistema, así mismo se calcularon otros aspectos, como son los flujos de calor y las áreas de transferencia de calor en cada uno de los componentes que conforman el equipo. Se calcularon también los porcentajes de bromuro de litio para saber donde tenemos una concentración fuerte o débil de refrigerante.

Para la realización de esta memoria de cálculos nos apoyamos tanto en las tablas de vapor saturado como en la gráfica de propiedades de la solución agua-bromuro de litio.

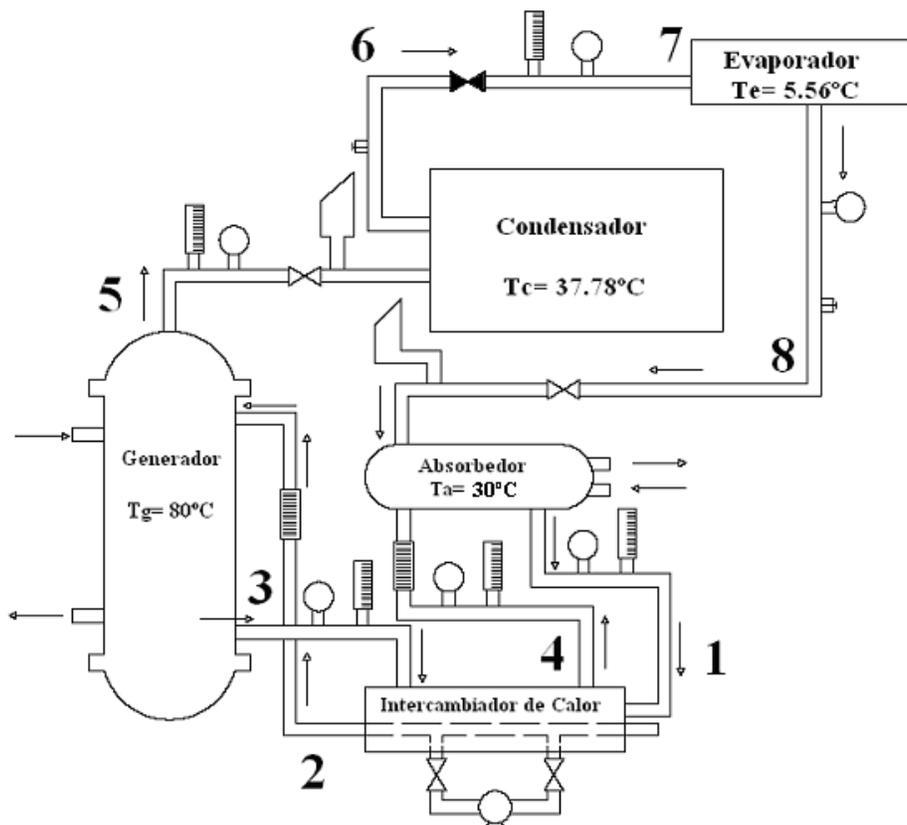


Figura 2.0 Diagrama esquemático del equipo de absorción del sistema ASS

Tabla 2. Propiedades termodinámicas del equipo de absorción del sistema ASS *

Punto Diagrama	Estado	T (°C)	T (°F)	P (mmHg)	h (BTU/lb)	x (%)	\dot{m} (Kg/min)
1	solución	30	86	6.797	-75.7496	54	1.34619
2	solución	67.22	152.99	49.108	-43.2855	54	1.34619
3	solución	80	176	49.108	-32.4641	60	1.21166
4	solución	37.22	98.99	6.797	-64.9282	60	1.21166
5	vapor	80	176	49.108	1136.4	----	0.134529
6	líquido	37.78	100.004	49.108	68	----	0.134529
7	vapor	37.78	100.004	6.797	68	----	0.134529
8	vapor	5.56	42.008	6.797	1079.5	----	0.134529

* Resultados propios

2.1 Cálculo de las Propiedades Termodinámicas

El primer paso fue identificar que proceso ocurre en cada uno de los puntos de nuestro sistema, para esto realizamos la siguiente convención:

- $P_1 = P_4 = P_7 = P_8$ Zona de baja presión.
- $P_2 = P_3 = P_5 = P_6$ Zona de alta presión.
- $P_5 = P_6$ Proceso de condensación a presión constante.
- $P_7 = P_8$ Proceso de evaporación a presión constante.
- $P_1 = P_4$ Paso por el intercambiador de calor a presión constante, zona de baja presión.
- $P_2 = P_3$ Paso por el intercambiador de calor a presión constante, zona de alta presión.

A continuación calculamos la presión en el punto 8, decidimos empezar por en este punto ya que aquí tenemos vapor saturado a una presión de saturación y una temperatura de evaporación de 5.56 °C.

$$T_8 = 5.56 \text{ °C}$$

$$T_8 = 42.008 \text{ °F}$$

De las tablas de vapor saturado, a esta temperatura, obtenemos un valor para la presión en el punto 8 de 0.2676 inHg.

$$P_8 = 0.2676 \text{ inHg} \left| \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} \right| = 6.797 \text{ mmHg}$$

Utilizando las mismas tablas de vapor saturado, a una temperatura de $T_8 = 42 \text{ °F}$, obtenemos un valor para la entalpía en el punto 8 de 1079.5 BTU/lb.

$$h_8 = 1079.5 \text{ BTU/lb}$$

La presión en el punto 8 se encuentra dentro de la zona de baja presión, por lo tanto sabemos que:

$$P_1 = P_4 = P_7 = P_8 = 6.797 \text{ mmHg.}$$

El siguiente punto que consideramos calcular, fue el punto 6, ya que en este punto que se encuentra a la salida del condensador, tenemos líquido saturado a una presión de saturación y una temperatura de condensación de 37.78 °C.

$$T_6 = 37.78 \text{ °C}$$
$$T_6 = 100.004 \text{ °F}$$

De las tablas de vapor saturado, a esta temperatura, obtenemos un valor para la presión en el punto 6 de 1.9334 inHg.

$$P_6 = 1.9334 \text{ inHg} \left| \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} \right| = 49.108 \text{ mmHg}$$

Utilizando las mismas tablas de vapor saturado, a una temperatura de $T_6=100.004^\circ\text{F}$, obtenemos un valor para la entalpía en el punto 6 de 68 BTU/lb.

$$h_6 = 68 \text{ BTU/lb}$$

La presión en el punto 6 se encuentra dentro de la zona de alta presión, por lo tanto sabemos que:

$$P_2 = P_3 = P_5 = P_6 = 49.108 \text{ mmHg}$$

Continuando con el cálculo de las entalpías, tenemos que del punto 6 al punto 7, donde encontramos la válvula de expansión, ocurre un proceso isoentálpico, por lo tanto:

$$h_6 = h_7; \text{ proceso isoentálpico}$$

$$h_7 = 68 \text{ BTU/lb}$$

Y por ultimo, utilizando las tablas de vapor saturado, a una temperatura de $T_5=80^\circ\text{C}$, obtenemos un valor para la entalpía en el punto 5 de 1136.4 BTU/lb.

$$T_5 = 80 \text{ °C}$$
$$T_5 = 176 \text{ °F}$$

$$h_5 = 1136.4 \text{ BTU/lb}$$

Para el cálculo de las entalpías y de las concentraciones de bromuro de litio en los puntos 1 al 4 tenemos que usar la gráfica de “Concentración, tanto por ciento de bromuro de litio en peso” que corresponde a la figura 2.1.

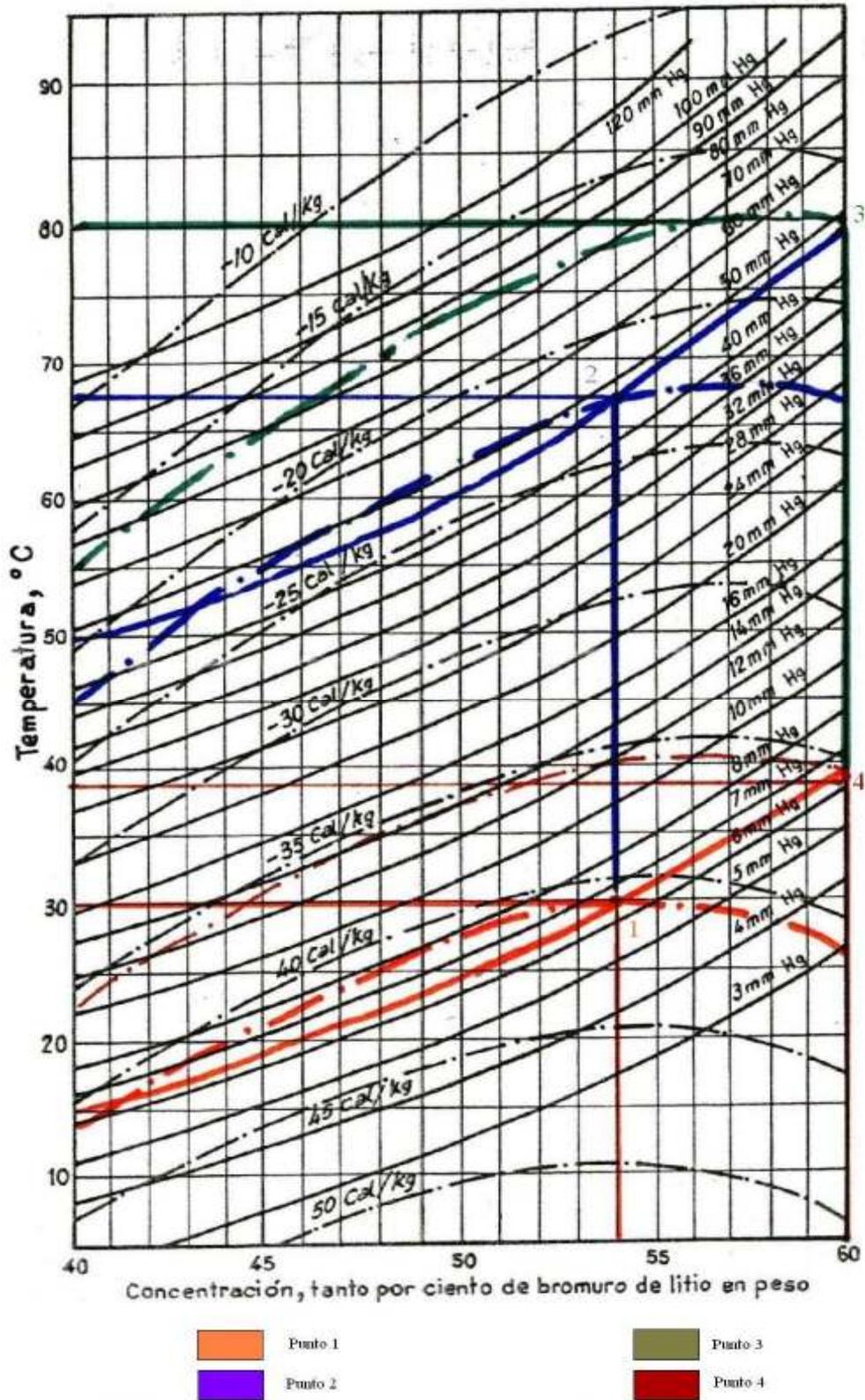


Figura 2.1 Concentración, tanto por ciento de Bromuro de Litio en peso

El primer punto que se calculo fue el punto 1, para el cual tenemos los siguientes datos:

- $P_1 = 6.797 \text{ mmHg}$
- $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Al observar la grafica podemos darnos cuenta que en el punto de intersección de la T_1 con la P_1 encontramos los valores para la entalpía y la concentración de bromuro de litio en el punto 1.

La concentración en el punto 1 es:

$$x_1 = 54\%$$

La entalpía en el punto 1 es:

$$h_1 = -42 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_1 = -42 \text{ cal/Kg} \left| \frac{4.1846 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \right| = -175.7532 \text{ KJ/Kg}$$

$$-175.7532 \text{ KJ/Kg} \left| \frac{0.431 \text{ BTU/lb}}{1 \text{ KJ/Kg}} \right| = -75.7496292 \text{ BTU/lb}$$

Por lo tanto la entalpía en el punto 1 es:

$$h_1 = -75.7496292 \text{ BTU/lb}$$

El siguiente punto que se calculo fue el punto 3, con los datos que a continuación se presentan:

- $P_3 = 49.108 \text{ mmHg}$
- $T_3 = 80^\circ\text{C}$

Al observar la grafica podemos darnos cuenta que en el punto de intersección de la T_3 con la P_3 encontramos los valores para la entalpía y la concentración de bromuro de litio en el punto 3.

La concentración en el punto 3 es:

$$x_3 = 60\%$$

La entalpía en el punto 3 es:

$$h_3 = -18 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_3 = -18 \text{ Kcal/Kg} \left| \frac{4.1846 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \right| = -75.3228 \text{ KJ/Kg}$$

$$-75.3228 \text{ KJ/Kg} \left| \frac{0.431 \text{ BTU/lb}}{1 \text{ KJ/Kg}} \right| = -32.4641268 \text{ BTU/lb}$$

Por lo tanto la entalpía en el punto 3 es:

$$h_3 = -32.4641268 \text{ BTU/lb}$$

Para el cálculo de los puntos 2 y 4, buscamos la entalpía y la temperatura de dichos puntos, ya que sabemos que la concentración de bromuro de litio en los puntos 1 y 2 es igual ya que en dichos puntos encontramos la solución fuerte de refrigerante y que la concentración de bromuro de litio en los puntos 3 y 4 también es igual por que aquí encontramos la solución débil de refrigerante.

Para el punto 2, el cual se calculo con los siguientes datos:

- $P_2 = 49.108 \text{ mmHg}$
- $x_2 = 54\%$

Al observar la grafica podemos darnos cuenta que en el punto de intersección de la P_2 con la x_2 encontramos los valores para la entalpía y temperatura en el punto 2.

La temperatura en el punto 2 es:

$$T_2 = 67.22^\circ\text{C}$$

La entalpía en el punto 2 es:

$$h_2 = -24 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_2 = -24 \text{ cal/Kg} \left| \frac{4.1846 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \right| = -100.4304 \text{ KJ/Kg}$$

$$-100.4304 \text{ KJ/Kg} \left| \frac{0.431 \text{ BTU/lb}}{1 \text{ KJ/Kg}} \right| = -43.2855024 \text{ BTU/lb}$$

Por lo tanto la entalpía en el punto 2 es:

$$h_2 = -43.2855024 \text{ BTU/lb}$$

Por último, el punto 4, que se calcula con los siguientes datos:

- $P_4 = 6.797 \text{ mmHg}$
- $x_4 = 60\%$

Al observar la gráfica podemos darnos cuenta que en el punto de intersección de la P_4 con la x_4 encontramos los valores para la entalpía y temperatura en el punto 4.

La temperatura en el punto 4 es:

$$T_4 = 37.22^\circ\text{C}$$

La entalpía en el punto 4 es:

$$h_4 = -36 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_4 = -36 \text{ Kcal/Kg} \left| \frac{4.1846 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \right| = -150.6456 \text{ KJ/Kg}$$

$$-150.6456 \text{ KJ/Kg} \left| \frac{0.431 \text{ BTU/lb}}{1 \text{ KJ/Kg}} \right| = -64.9282536 \text{ BTU/lb}$$

Por lo tanto la entalpía en el punto 4 es:

$$h_4 = -64.9282536 \text{ BTU/lb}$$

Para el cálculo de flujos másicos en el equipo de absorción se realizaron dos balances de masa y energía, dichos balances tuvieron lugar, primeramente en el evaporador y en segundo lugar el generador.

Para el balance de masa y energía en el evaporador, sabemos que en este punto debemos tomar en cuenta la carga de refrigerante que entra en este intercambiador de calor, así mismo sabemos que los flujos másicos permanecen constantes ($\dot{m}_8 = \dot{m}_7$).

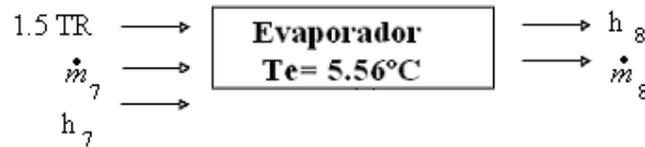


Figura 2.1.1 Balance de materia en el evaporador

$$\dot{m}_7 h_7 + 1.5 \text{ T.R.} = \dot{m}_8 h_8 \quad (1)$$

$$1.5 \text{ T.R.} = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_7 h_7$$

$$1.5 \text{ T.R.} = \dot{m}_8 (h_8 - h_7)$$

$$\dot{m}_8 = 1.5 \text{ T.R.} / (h_8 - h_7) \quad (2)$$

$$1.5 \text{ T.R.} \left| \frac{12000 \text{ BTU/hr}}{1 \text{ T.R.}} \right| = 18000 \text{ BTU/hr}$$

$$18000 \text{ BTU/hr} \left| \frac{0.252 \text{ Kcal}}{1 \text{ BTU}} \right| \left| \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \right| = 75.6 \text{ Kcal/min}$$

$$h_7 = 68 \text{ BTU/lb} \left| \frac{0.252 \text{ Kcal}}{1 \text{ BTU}} \right| \left| \frac{1 \text{ lb}}{0.45359 \text{ Kg}} \right| = 37.7786 \text{ Kcal/Kg}$$

$$h_8 = 1079.5 \text{ BTU/lb} \left| \frac{0.252 \text{ Kcal}}{1 \text{ BTU}} \right| \left| \frac{1 \text{ lb}}{0.45359} \right| = 599.7354 \text{ Kcal/Kg}$$

Con las entalpías en las mismas unidades ya podemos resolver la ecuación (2).

$$\dot{m}_8 = \frac{75.6 \text{ Kcal/min}}{(599.7354 - 37.7786) \text{ Kcal/Kg}} \quad (3)$$

$$\dot{m}_8 = 0.1345299 \text{ Kg/min}$$

Como lo podemos ver en la figura 2, los flujos másicos en los puntos 5, 6, 7 y 8 no sufren ningún cambio por lo que permanecen constantes, por lo tanto podemos decir:

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_8 = 0.1345299 \text{ Kg/min}$$

Para el balance de masa en el generador, sabemos que en este punto debemos tomar en cuenta el porcentaje de bromuro de litio que entra y sale de este intercambiador de calor, así como los flujos másicos que pasan por el mismo.

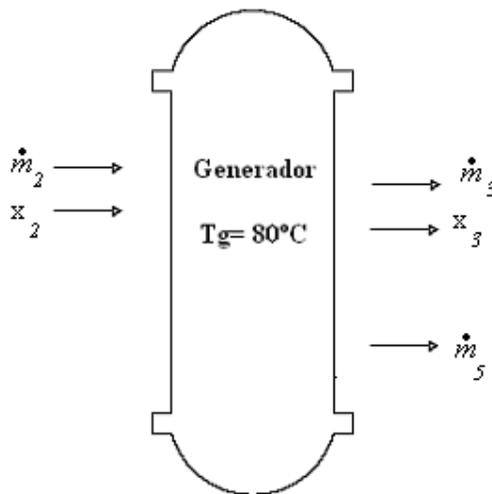


Figura 2.1.2 Balance de materia en el generador

En la figura 2.1.2 podemos observar los flujos másicos y las concentraciones de bromuro de litio que entran y salen del generador y generar el sistema de ecuaciones para determinar dichos flujos.

$$\dot{m}_2 x_2 = \dot{m}_3 x_3 \quad (4)$$

Balance de masas

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_5 + \dot{m}_3 \quad (5)$$

En la ecuación (4) sustituimos las concentraciones:

$$\dot{m}_2(0.54) = \dot{m}_3(0.6) \quad (6)$$

En la ecuación (5) sustituimos \dot{m}_5 :

$$\dot{m}_2 = 0.1345299 + \dot{m}_3 \quad (7)$$

Al sustituir la ecuación (7) en (6) encontramos el valor de \dot{m}_3 .

$$\begin{aligned} 0.6 \dot{m}_3 &= 0.54 \dot{m}_2 \\ 0.6 \dot{m}_3 &= 0.54 (0.1345299 \text{ kg/min} + \dot{m}_3) \\ 0.6 \dot{m}_3 &= 0.072700146 \text{ kg/min} + 0.54 \dot{m}_3 \\ 0.06 \dot{m}_3 &= 0.072700146 \text{ kg/min} \\ \dot{m}_3 &= 1.2116691 \text{ kg/min} \end{aligned}$$

El flujo másico del punto 3 al punto 4 permanece constante ya que en este punto el flujo pasa por la carcasa del intercambiador de calor.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = 1.2116691 \text{ kg/min}$$

Para determinar el flujo másico del punto 2, sustituimos \dot{m}_3 en la ecuación (5).

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 &= \dot{m}_5 + \dot{m}_3 \\ \dot{m}_2 &= 0.1345299 \text{ Kg/min} + 1.2116691 \text{ kg/min} \\ \dot{m}_2 &= 1.346199 \text{ kg/min} \end{aligned}$$

El flujo másico del punto 1 al punto 2 permanece constante ya que en este punto el flujo pasa por los tubos del intercambiador de calor.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 1.346199 \text{ kg/min}$$

2.2 Calculo del Flujo de Calor “Q” en cada uno de los Equipos que Componen el Sistema de Absorción

Tabla 2.1 Valores de “Q” en el equipo de absorción del sistema ASS *

Equipo	BTU/min	BTU/hr	KW
Q Evaporador	300.049771	18002.9862	5.27487498
Q Generador	378.851852	22731.111151	6.6602155
Q Absorbador	371.60061	22296.036619	6.532738
Q Condensador	316.92849	19015.70988	5.57160
Q Intercambiador de Calor	-9.6298	-577.788	-0.16929

* Resultados propios

El primer equipo que calculamos fue el condensador, en la figura 2.2.1, podemos observar los flujos másicos y las entalpías, así como el “Q” que actúan en el.

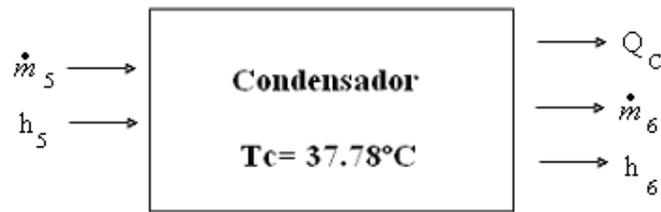


Figura 2.2.1 Balance de energía en el condensador

$$\dot{m}_5 h_5 = Q_C + \dot{m}_6 h_6 \quad (8)$$

$$Q_C = \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_6 h_6 \quad (9)$$

$$Q_C = (h_5 - h_6) \dot{m}_5$$

$$\dot{m}_5 = 0.1345299 \text{ Kg/min} \quad \left| \frac{2.205 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} \right| = 0.2966384295 \text{ lb/min.}$$

Sustituyendo el valor de \dot{m}_5 y las entalpías 5 y 6 en la ecuación (9), obtenemos el valor de Q_C .

$$Q_C = [(1136.4 - 68) \text{ BTU/lb}] (0.2966384295 \text{ lb/min})$$

$$Q_C = 316.9284980778 \text{ BTU/min}$$

El siguiente equipo que se calculó fue el absorbedor para lo cual en la figura 2.2.2 podemos observar los flujos másicos y las entalpías, así como el “Q” que actúan en el.

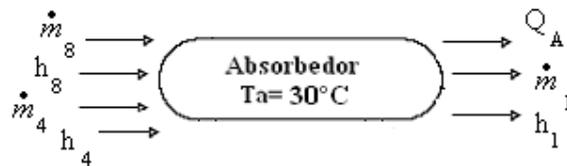


Figura 2.2.2 Balance de energía en el absorbedor

$$\dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_4 h_4 = Q_A + \dot{m}_1 h_1 \quad (10)$$

$$Q_A = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_1 h_1 \quad (11)$$

$$\dot{m}_4 = 1.2116691 \text{ Kg/min} \left| \frac{2.205 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} \right| = 2.6717303655 \text{ lb/min}$$

$$\dot{m}_1 = 1.346199 \text{ Kg/min} \left| \frac{2.205 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} \right| = 2.968368795 \text{ lb/min}$$

Al sustituir los valores de \dot{m}_1 , \dot{m}_4 y \dot{m}_8 así como sus entalpías, en la ecuación (11), obtenemos el valor de Q_A .

$$Q_A = (0.296636 \text{ lb/min}) (1079.5 \text{ BTU/lb}) + (2.6717303655 \text{ lb/min}) (-64.9282536 \text{ BTU/lb}) - [(2.968368795 \text{ lb/min}) (-75.7496292 \text{ BTU/lb})]$$

$$Q_A = 371.6006103 \text{ BTU/min}$$

Continuando con los cálculos de calor en el equipo, seguimos con el generador, en la figura 2.2.3, podemos observar los flujos másicos y las entalpías, así como el “Q” que actúan en el.

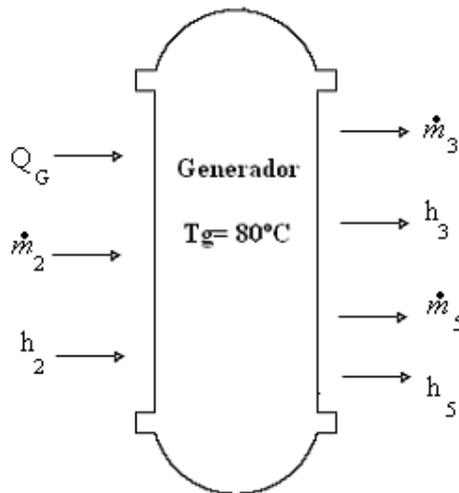


Figura 2.2.3 Balance de energía en el generador

$$Q_G + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5 \quad (12)$$

$$Q_G = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 \quad (13)$$

Al sustituir los valores de \dot{m}_2 , \dot{m}_3 y \dot{m}_5 así como sus entalpías, en la ecuación (13), obtenemos el valor de Q_G .

$$Q_G = (0.2966384295 \text{ lb/min})(1136.4 \text{ BTU/lb}) + (2.6717303655 \text{ lb/min})(-32.46412 \text{ BTU/lb}) - [(2.968368795 \text{ lb/min})(-43.2855024 \text{ BTU/lb})]$$

$$Q_G = 378.8518525 \text{ BTU/min}$$

Se aplico el mismo procedimiento para calcular el calor en el evaporador, en la figura 2.2.4, podemos observar los flujos másicos y las entalpías, así como el “Q” que actúan en el.

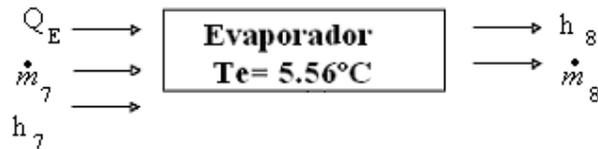


Figura 2.2.4 Balance de energía en el evaporador

$$Q_E + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_8 h_8 \quad (14)$$

$$Q_E = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_7 h_7 \quad (15)$$

Al sustituir los valores de \dot{m}_7 y \dot{m}_8 así como sus entalpías, en la ecuación (15), obtenemos el valor de Q_E .

$$Q_E = (0.2966384295 \text{ lb/min})(1079.5 \text{ BTU/lb}) - (0.2966384295 \text{ lb/min})(68 \text{ BTU/lb})$$

$$Q_E = 300.04977143925 \text{ BTU/min}$$

Para concluir los cálculos de flujo de calor, nos hace falta saber la “Q” del intercambiador de calor del equipo de absorción, en la figura 2.2.5, podemos observar los flujos másicos y las entalpías, así como el “Q” que actúan en el.

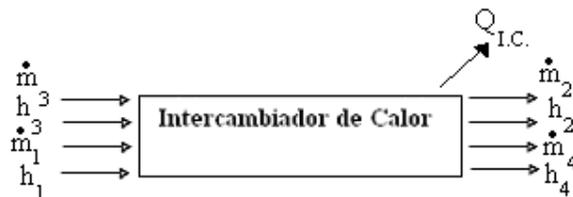


Figura 2.2.5 Balance de energía en el intercambiador de calor

$$\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_1 h_1 = Q_{I.C.} + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 \quad (16)$$

Factorizando la ecuación (16) nos queda:

$$Q_{I.C.} = (h_3 - h_4) \dot{m}_3 + (h_1 - h_2) \dot{m}_1 \quad (17)$$

Al sustituir los valores de \dot{m}_1 y \dot{m}_3 así como las entalpías correspondientes, en la ecuación (17), obtenemos el valor de $Q_{I.C.}$.

$$Q_{I.C.} = [(-32.4641 + 64.9282) \text{ BTU/lb } (2.67173 \text{ lb/min})] \\ + [(-75.7496 + 43.2855) \text{ BTU/lb } (2.96836 \text{ lb/min})]$$

$$Q_{I.C.} = -9.6298 \text{ BTU/min}$$

Es de gran importancia saber si se cumple el balance energético en el sistema, así que se debe cumplir que el calor que se suministro al sistema tiene que ser igual al calor cedido por el mismo, por lo tanto tenemos que:

$$Q_E + Q_G = Q_A + Q_C + Q_{I.C.} \quad (18)$$

Sustituyendo los valores de “Q” para cada equipo tenemos:

$$[(300.049771)+(378.851852)\text{BTU/min}]=[(316.92849)+(371.60061)-(9.6298)\text{BTU/min}]$$

$$678.901623 \text{ BTU/min} = 678.8993 \text{ BTU/min}$$

Con los resultados de “Q” que obtuvimos podemos calcular la eficiencia del sistema, esta es la relación que existe entre la “Q” que utilizamos en el evaporador entre la “Q” que requiere el generador, esto es:

$$Q_E/Q_G = (300.04977143925 \text{ BTU/min}) / (378.8518525 \text{ BTU/min}) \quad (19)$$

$$Q_E/Q_G = 0.79199763564$$

2.3 Calculo de las Áreas de Transferencia de Calor en cada uno de los Equipos que Componen el Sistema de Absorción

Para el cálculo de las áreas de transferencia de calor en cada uno de los equipos de absorción del sistema nos apoyamos en distintas gráficas y tablas de propiedades de intercambiadores de calor que nos ayudaron a encontrar los valores que buscamos.

Para empezar con el cálculo de las áreas de transferencia de calor, necesitábamos conocer U_{sup} (coeficiente global de transferencia de calor supuesto) de cada uno de los equipos, la tabla 2.2 muestra los valores de U_{sup} para cada uno de los equipos del sistema, mismo coeficiente se obtuvo del libro “Heat Exchanger Design”.

Tabla 2.2 Valores de U_{sup} *

Equipo	U_{sup}
Intercambiador de Calor	93 BTU/hr ft ² °F
Generador	93 BTU/hr ft ² °F
Absorbedor	46.22 BTU/ hr ft ² °F
Condensador	1500 W/hr m ²
Evaporador	1500 W/hr m ²

* Heat Exchanger Design, Fraas, A. P., 1989

A continuación se presenta el desarrollo de cálculos en cada uno de los equipos del sistema de absorción para determinar el área de transferencia de calor, misma que se determina con la siguiente ecuación:

$$A_{sup} = \frac{Q}{(U_{sup}) (\Delta T_{Corr})} \quad (20)$$

Tenemos los valores de Q y de U_{sup} , nos falta determinar ΔT_{Corr} , para lo cual contamos con la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{Corr} = (FT) (LMTD) \quad (21)$$

Para determinar el valor de FT (factor de diferencia de temperaturas) necesitamos conocer el valor de S y R, para lo cual utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$S = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_1) \quad (22)$$

$$R = (T_1 - T_2) / (t_2 - t_1) \quad (23)$$

Usando los valores de S y R, en las tablas “Factores de Corrección LMTD para Intercambiadores” obtenemos el valor de FT para cada equipo del sistema de absorción.

Ahora el único dato que nos falta por conocer es LMTD, para el cual necesitamos resolver la siguiente ecuación:

$$LMTD = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\ln (\Delta t_h / \Delta t_c)} \quad (24)$$

Para resolver esta ecuación es necesario conocer Δt_h (diferencia de temperatura en la terminal caliente) y Δt_c (diferencia de temperatura en la terminal fría) mismas que determinamos con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta th = T_1 - t_2 \quad (25)$$

$$\Delta tc = T_2 - t_1 \quad (26)$$

Donde:

T_1 = Temperatura a la entrada del fluido caliente.

T_2 = Temperatura a la salida del fluido caliente.

t_1 = Temperatura a la entrada del fluido frío.

t_2 = Temperatura a la salida del fluido frío.

Ahora que conocemos las ecuaciones involucradas para el cálculo del área de transferencia de calor podemos empezar a calcularla para cada uno de los equipos que componen el sistema de absorción.

- Para el Intercambiador de Calor:

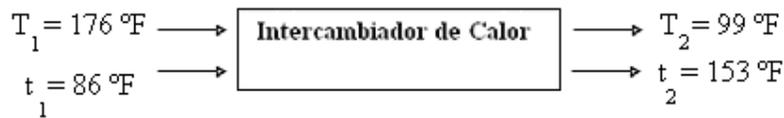


Figura 2.3.1 Temperaturas de trabajo en el intercambiador de calor

De la figura 2.3.1 podemos observar las temperaturas que se presentan en el intercambiador de calor y sustituirlas en las ecuaciones (25) y (26).

$$\Delta th = (176 - 153) \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta th = 23 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta tc = (99 - 86) \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta tc = 13 \text{ }^\circ\text{F}$$

Una vez obtenidos los valores de Δth y Δtc , los sustituimos en la ecuación (24) y obtenemos:

$$LMTD = \frac{(23 - 13) \text{ }^\circ\text{F}}{\ln (23 \text{ }^\circ\text{F}/13 \text{ }^\circ\text{F})}$$

$$LMTD = 17.5271 \text{ }^\circ\text{F}$$

El siguiente paso es calcular FT, para lo cual debemos obtener los valores de S y de R, entonces sustituimos los valores de las temperaturas en las ecuaciones (22) y (23).

$$S = \frac{(153 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}{(176 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$S = 0.744$$

$$R = \frac{(176 - 99) \text{ }^\circ\text{F}}{(153 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$R = 1.149$$

Usando los valores de S y R, en las tablas de “Factores de Corrección LMTD para Intercambiadores” obtenemos el valor de FT para el intercambiador de calor.

$$FT = 0.725$$

Una vez que obtuvimos estos valores podemos sustituir los valores de FT y de LMTD en la ecuación (21) y obtener el valor de ΔT_{Corr} .

$$\Delta T_{\text{Corr}} = (0.725) (17.5271 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$\Delta T_{\text{Corr}} = 12.7070 \text{ }^\circ\text{F}$$

Y por ultimo sustituimos los valores de Q, U_{sup} y ΔT_{Corr} , previamente calculados, en la ecuación (20) y obtenemos el valor para el área de transferencia de calor en el intercambiador de calor.

$$A_{\text{sup}} = \frac{5716.92 \text{ BTU/hr}}{(93 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}) (12.7070 \text{ }^\circ\text{F})}$$

$$A_{\text{sup}} = 4.83766 \text{ ft}^2$$

$$4.83766 \text{ ft}^2 \left| \frac{0.304878 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right|^2 = 0.449663 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sup}} = 0.449663 \text{ m}^2$$

- Para el Generador:

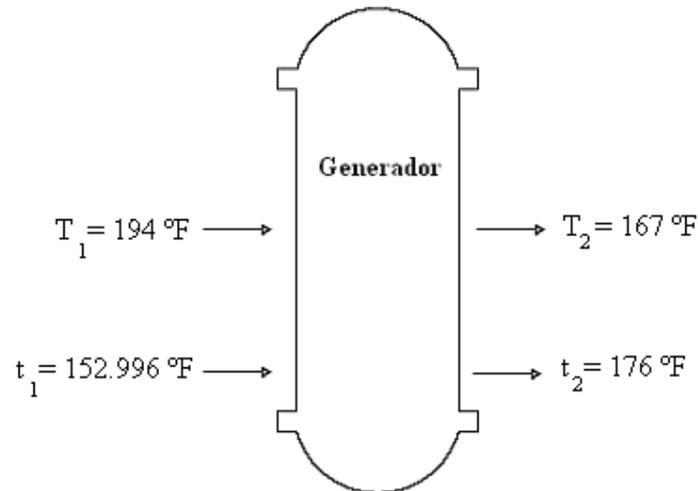


Figura 2.3.2 Temperaturas de trabajo en el generador

De la figura 2.3.2 podemos observar las temperaturas que se presentan en el generador y sustituirlas en las ecuaciones (25) y (26).

$$\Delta th = (194 - 176) \text{ } ^\circ\text{F} - 167 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta th = 18 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta tc = (167 - 152.996) \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta tc = 14.004 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Una vez obtenidos los valores de Δth y Δtc , los sustituimos en la ecuación (24) y obtenemos:

$$LMTD = \frac{(18 - 14.004) \text{ } ^\circ\text{F}}{\ln (18 \text{ } ^\circ\text{F}/14.004 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$LMTD = 15.918495 \text{ } ^\circ\text{F}$$

El siguiente paso es calcular FT, para lo cual debemos obtener los valores de S y de R, entonces sustituimos los valores de las temperaturas en las ecuaciones (22) y (23).

$$S = \frac{(176 - 152.996) \text{ } ^\circ\text{F}}{(194 - 152.996) \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$S = 0.561$$

$$R = \frac{(194 - 167) \text{ } ^\circ\text{F}}{(167 - 152.996) \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$R = 1.173$$

Usando los valores de S y R, en las tablas de “Factores de Corrección LMTD para Intercambiadores” obtenemos el valor de FT para el generador.

$$FT = 0.89$$

Una vez que obtuvimos estos valores podemos sustituir los valores de FT y de LMTD en la ecuación (21) y obtener el valor de ΔT_{Corr} .

$$\Delta T_{\text{Corr}} = (0.89) (15.918495 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$\Delta T_{\text{Corr}} = 14.16746 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Y por ultimo sustituimos los valores de Q , U_{sup} y ΔT_{Corr} , previamente calculados, en la ecuación (20) y obtenemos el valor para el área de transferencia de calor en el generador.

$$A_{\text{sup}} = \frac{22731.111151 \text{ BTU/hr}}{(93 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}) (14.16746 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$A_{\text{sup}} = 17.252249 \text{ ft}^2$$

$$17.252249 \text{ ft}^2 \left| \frac{0.304878 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right|^2 = 1.603606 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sup}} = 1.603606 \text{ m}^2$$

- Para el Absorbedor:

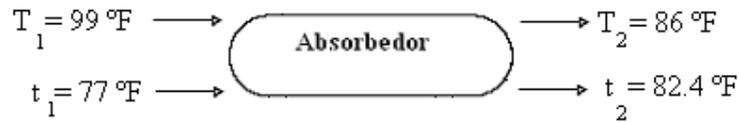


Figura 2.3.3 Temperaturas de trabajo en el absorbedor

De la figura 2.3.3 podemos observar las temperaturas que se presentan en el absorbedor y sustituirlas en las ecuaciones (25) y (26).

$$\Delta th = (99 - 84.2) \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta th = 14.8 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta tc = (86 - 77) \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta tc = 9 \text{ }^\circ\text{F}$$

Una vez obtenidos los valores de Δth y Δtc , los sustituimos en la ecuación (24) y obtenemos:

$$\text{LMTD} = \frac{(14.8 - 9) \text{ }^\circ\text{F}}{\ln(14.8 \text{ }^\circ\text{F}/9 \text{ }^\circ\text{F})}$$

$$\text{LMTD} = 11.660574 \text{ }^\circ\text{F}$$

El siguiente paso es calcular FT, para lo cual debemos obtener los valores de S y de R, entonces sustituimos los valores de las temperaturas en las ecuaciones (22) y (23).

$$S = \frac{(84.2 - 77) \text{ }^\circ\text{F}}{(99 - 77) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$S = 0.3272$$

$$R = \frac{(99 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}{(84.2 - 77) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$R = 1.149$$

Usando los valores de S y R, en las tablas de "Factores de Corrección LMTD para Intercambiadores" obtenemos el valor de FT para el absorbedor.

$$\text{FT} = 0.885$$

Una vez que obtuvimos estos valores podemos sustituir los valores de FT y de LMTD en la ecuación (21) y obtener el valor de ΔT_{Corr} .

$$\Delta T_{\text{Corr}} = (0.885) (11.660574 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$\Delta T_{\text{Corr}} = 10.319607 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Y por ultimo sustituimos los valores de Q, U_{sup} y ΔT_{Corr} , previamente calculados, en la ecuación (20) y obtenemos el valor para el área de transferencia de calor en el absorbedor.

$$A_{\text{sup}} = \frac{22296.036619 \text{ BTU/hr}}{(46.22 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}) (10.319607 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$A_{\text{sup}} = 46.744935 \text{ ft}^2$$

$$46.744935 \text{ ft}^2 \left| \frac{0.304878 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right|^2 = 4.344969 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sup}} = 4.344969 \text{ m}^2$$

- Para el Condensador:

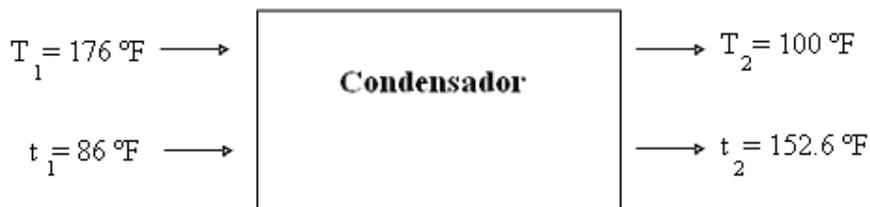


Figura 2.3.4 Temperaturas de trabajo en el condensador

De la figura 2.3.4 podemos observar las temperaturas que se presentan en el condensador y sustituirlas en las ecuaciones (25) y (26).

$$\Delta t_h = (176 - 152.6) \text{ }^\circ\text{F}$$
$$\Delta t_h = 23.4 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_c = (100 - 86) \text{ }^\circ\text{F}$$
$$\Delta t_c = 14 \text{ }^\circ\text{F}$$

Una vez obtenidos los valores de Δt_h y Δt_c , los sustituimos en la ecuación (24) y obtenemos:

$$\text{LMTD} = \frac{(23.4 - 14) \text{ }^\circ\text{F}}{\ln(23.4 \text{ }^\circ\text{F}/14 \text{ }^\circ\text{F})}$$

$$\text{LMTD} = 18.299376 \text{ }^\circ\text{F}$$

El siguiente paso es calcular FT, para lo cual debemos obtener los valores de S y de R, entonces sustituimos los valores de las temperaturas en las ecuaciones (22) y (23).

$$S = \frac{(153.6 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}{(176 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$S = 0.74$$

$$R = \frac{(176 - 100) \text{ }^\circ\text{F}}{(152.6 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$R = 1.14114$$

Usando los valores de S y R, en las tablas de “Factores de Corrección LMTD para Intercambiadores” obtenemos el valor de FT para el condensador.

$$\text{FT} = 0.86$$

Una vez que obtuvimos estos valores podemos sustituir los valores de FT y de LMTD en la ecuación (21) y obtener el valor de ΔT_{Corr} .

$$\Delta T_{\text{Corr}} = (0.86) (18.299376 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$\Delta T_{\text{Corr}} = 15.737463 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$U_{\text{sup}} = 1500 \text{ W/hr m}^2$$

$$1500 \text{ W/hr m}^2 \left| \frac{1}{5.6784} \right| = 264.1589 \text{ BTU/ hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

* 5.6784 es un factor de transformación de W/hr m² a BTU/ hr ft² °F, este dato fue obtenido del libro “Heat Exchanger Design”.

Y por ultimo sustituimos los valores de Q, U_{sup} y ΔT_{Corr}, previamente calculados, en la ecuación (20) y obtenemos el valor para el área de transferencia de calor en el condensador.

$$A_{\text{sup}} = \frac{19015.70988 \text{ BTU/hr}}{(264.1589 \text{ BTU/ hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}) (15.737463 \text{ }^\circ\text{F})}$$

$$A_{\text{sup}} = 4.5741728 \text{ ft}^2$$

$$4.5741728 \text{ ft}^2 \left| \frac{0.304878 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right|^2 = 0.425172 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sup}} = 0.425172 \text{ m}^2$$

- Para el Evaporador:

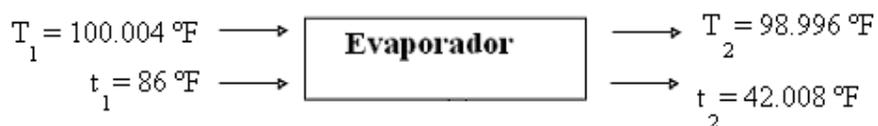


Figura 2.3.5 Temperaturas de trabajo en el evaporador

De la figura 2.3.5 podemos observar las temperaturas que se presentan en el evaporador y sustituirlas en las ecuaciones (25) y (26).

$$\Delta t_h = (100.004 - 42.008) \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_h = 57.996 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_c = (98.996 - 86) \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_c = 12.996 \text{ }^\circ\text{F}$$

Una vez obtenidos los valores de Δt_h y Δt_c , los sustituimos en la ecuación (24) y obtenemos:

$$\text{LMTD} = \frac{(57.996 - 12.996) \text{ }^\circ\text{F}}{\ln(57.996 \text{ }^\circ\text{F}/12.996 \text{ }^\circ\text{F})}$$

$$\text{LMTD} = 30.085595 \text{ }^\circ\text{F}$$

El siguiente paso es calcular FT, para lo cual debemos obtener los valores de S y de R, entonces sustituimos los valores de las temperaturas en las ecuaciones (22) y (23).

$$S = \frac{(42.008 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}{(100.004 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$S = -3.141388$$

$$R = \frac{(100.004 - 98.996) \text{ }^\circ\text{F}}{(42.008 - 86) \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$R = -0.022913$$

Usando los valores de S y R, en las tablas de “Factores de Corrección LMTD para Intercambiadores” obtenemos el valor de FT para el evaporador.

$$\text{FT} = 1$$

Una vez que obtuvimos estos valores podemos sustituir los valores de FT y de LMTD en la ecuación (21) y obtener el valor de ΔT_{Corr} .

$$\Delta T_{\text{Corr}} = (1) (30.085595 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$\Delta T_{\text{Corr}} = 30.085595 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$U_{\text{sup}} = 1500 \text{ W/hr m}^2$$

$$1500 \text{ W/hr m}^2 \left| \frac{1}{5.6784} \right| = 264.1589 \text{ BTU/ hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

* 5.6784 es un factor de transformación de W/hr m² a BTU/ hr ft² °F, este dato fue obtenido del libro “Heat Exchanger Design”.

Y por ultimo sustituimos los valores de Q, U_{sup} y ΔT_{Corr}, previamente calculados, en la ecuación (20) y obtenemos el valor para el área de transferencia de calor en el condensador.

$$A_{\text{sup}} = \frac{18002.9862 \text{ BTU/hr}}{(264.1589 \text{ BTU/ hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}) (30.085595 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$A_{\text{sup}} = 2.26527 \text{ ft}^2$$

$$2.26527 \text{ ft}^2 \left| \frac{0.304878 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right|^2 = 0.210558 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sup}} = 0.210558 \text{ m}^2$$

2.4 Calculo del Flujo Másico de Agua que Circula por el Generador Proveniente del Termo-Tanque

Es de gran importancia saber que flujo másico pasa por nuestro generador, ya que así podemos saber que cantidad de agua necesitamos por unidad de tiempo para mantener la temperatura idónea de trabajo en el mismo.

Para dicho cálculo utilizaremos la siguiente ecuación y la figura 2.4 en donde encontramos las temperaturas del agua a la entrada y a la salida del generador, así como el calor específico del agua.

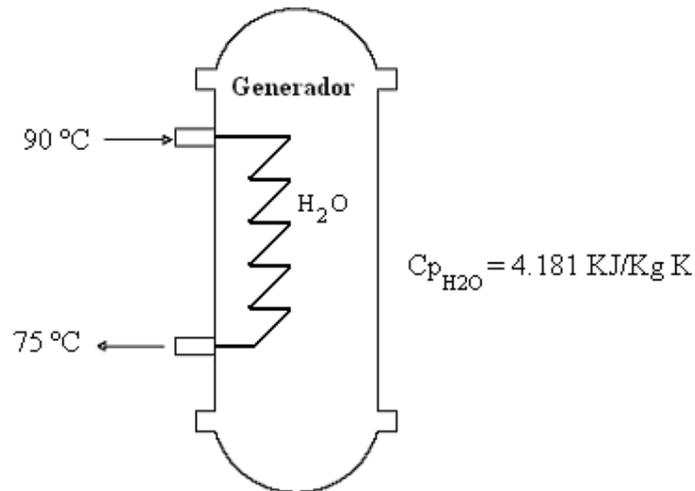


Figura 2.4 Temperaturas a la entrada y a la salida del generador

$$\dot{m} = \frac{Q}{(C_{p_{H_2O}}) (\Delta T)} \quad (27)$$

Anteriormente se calculo el valor de Q para el generador en BTU/hr, para poder sustituirlo en la ecuación (27) hay que transformarlo a KJ/hr.

$$22731.111151 \text{ BTU/hr} \left| \frac{1 \text{ KJ}}{0.94787 \text{ BTU}} \right| = 23981.253917 \text{ KJ/hr}$$

$$Q_G = 23981.253917 \text{ KJ/hr}$$

Posteriormente tenemos que determinar la diferencia de temperaturas que existe entre la entrada y la salida de agua en nuestro generador para lo cual apoyándonos en la figura 2.4, tenemos que:

$$\Delta T = 15 \text{ K}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (23) tenemos:

$$\dot{m} = \frac{23981.253917 \text{ KJ/hr}}{(4.181 \text{ KJ/Kg K}) (15 \text{ K})}$$

$$\dot{m} = 382.384659 \text{ Kg/hr}$$

2.5 Calculo del Flujo Másico de Aire que Circula por el Ventilador del Condensador

A través del ventilador del condensador pasa un flujo de aire que es utilizado para enfriar el serpentín del mismo, dicho flujo se puede calcular y así saber la cantidad de aire que requiere para mantener una temperatura idónea de trabajo.

Para dicho cálculo utilizaremos la siguiente ecuación y la figura 2.5, en donde encontramos las temperaturas del aire a la entrada y a la salida del condensador, así como el calor específico del aire.

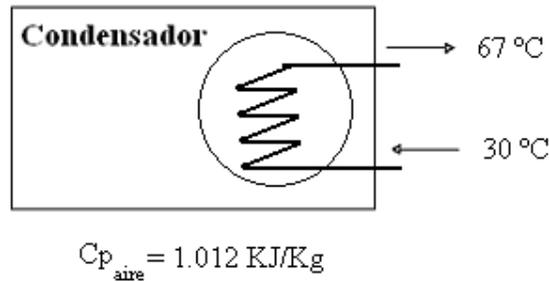


Figura 2.5 Temperaturas a la entrada y a la salida del condensador

$$\dot{m} = \frac{Q}{(C_{p_{\text{aire}}}) (\Delta T)} \quad (28)$$

Anteriormente se calculo el valor de Q para el condensador en BTU/hr, para poder sustituirlo en la ecuación (28) hay que transformarlo a KJ/hr.

$$19015.70988 \text{ BTU/hr} \left| \frac{1 \text{ KJ}}{0.94787 \text{ BTU}} \right| = 20061.516748 \text{ KJ/hr}$$

$$Q_C = 20061.516748 \text{ KJ/hr}$$

Posteriormente tenemos que determinar la diferencia de temperaturas que existe entre la entrada y la salida de aire en nuestro condensador para lo cual apoyándonos en la figura 2.5, tenemos que:

$$\Delta T = 37 \text{ K}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (28) tenemos:

$$\dot{m} = \frac{23981.253917 \text{ KJ/hr}}{(1.012 \text{ KJ/Kg K}) (37 \text{ K})}$$

$$\dot{m} = 535.773868 \text{ Kg/hr}$$

En este capítulo que se dedicó a la memoria de cálculo del sistema de refrigeración por absorción se logró mostrar las propiedades termodinámicas que actúan en él, tales como la temperatura, presión, y la entalpía en cada uno de los puntos importantes del mismo.

Esta parte de nuestro trabajo es de gran importancia ya que fue de gran ayuda conocer las condiciones de trabajo del sistema, porque una vez realizados los cálculos del mismo nos dio una noción de cómo trabaja un sistema de absorción y nos ayudó a reforzar el conocimiento teórico con el que contábamos.

Un aspecto no menos importante, fue que al ya conocer las temperaturas y presiones de trabajo del sistema de absorción, nos dimos a la tarea de investigar los materiales aptos para las condiciones que demanda el equipo, como se pone de manifiesto en el siguiente capítulo.

Capítulo III

Armado y Construcción del Sistema

En este capítulo abordaremos el tema del armado del sistema de aire acondicionado solar. En el mismo hablaremos de la metodología utilizada y de los problemas que se presentaron al armar el equipo. Así como del rediseño del cual fue objeto el generador del equipo.

Con las partes del prototipo del sistema de absorción y los equipos de captación solar ya fabricadas se trabajó en el ensamble de los mismos, para lo cual debido a las características de funcionamiento y a las condiciones de trabajo a las que estará sometido, fue necesario seleccionar el tipo de tubería y el tipo de soldadura a utilizar.

Es importante recalcar que este tipo de sistema de aire acondicionado al trabajar en vacío, debe estar completamente sellado para evitar infiltraciones, así como también estar herméticamente sellado para obtener un funcionamiento adecuado.

3.1 Desarrollo

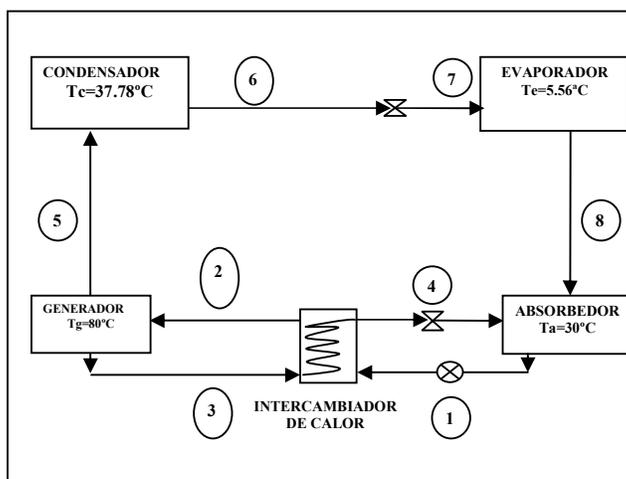


Figura 3.1 Esquema de un sistema continuo y un paso de refrigeración por absorción

Como lo describimos en el primer capítulo, los sistemas de refrigeración por absorción son máquinas de refrigeración que trabajan por ciclo continuo y utilizan únicamente sorbentes líquidos. Las máquinas frigoríficas de absorción se integran dentro del mismo número de producción de frío que las convencionales de compresión, ya que la refrigeración se consigue mediante la evaporación de un líquido a baja presión.

La diferencia entre los dos métodos reside básicamente en el procedimiento seguido para la recuperación de vapores durante el paso de líquido a vapor. En las máquinas de compresión este proceso es encargado al compresor, equipo que también asegura la elevación de presión hasta un nivel suficiente de tal forma que los vapores recuperados pueden ser condensados por cesión de calor a un medio externo. Por lo que respecta a las máquinas de absorción, las funciones del compresor son realizadas por diferentes dispositivos: generador, absorbedor e intercambiador de calor, a lo cual denominamos compresor térmico.

Basados en esta investigación, con los cálculos de las cargas térmicas ya realizados y las partes del prototipo ya construidas, lo siguiente a realizar fue el rediseño de algunas de las partes del equipo, así como la selección de los materiales a utilizar para el ensamble.

3.2 Diseño

La primera fase del diseño a este equipo consistió en la digitalización de cada uno de las partes componentes del equipo utilizando paquetería CAD. Dichas partes, que se pueden observar en la siguiente figura son: El espacio a acondicionar, la plataforma solar, el equipo de absorción (generador, absorbedor, intercambiador de calor, condensador y evaporador), un concentrador solar plano, un termo tanque y un concentrador solar parabólico.

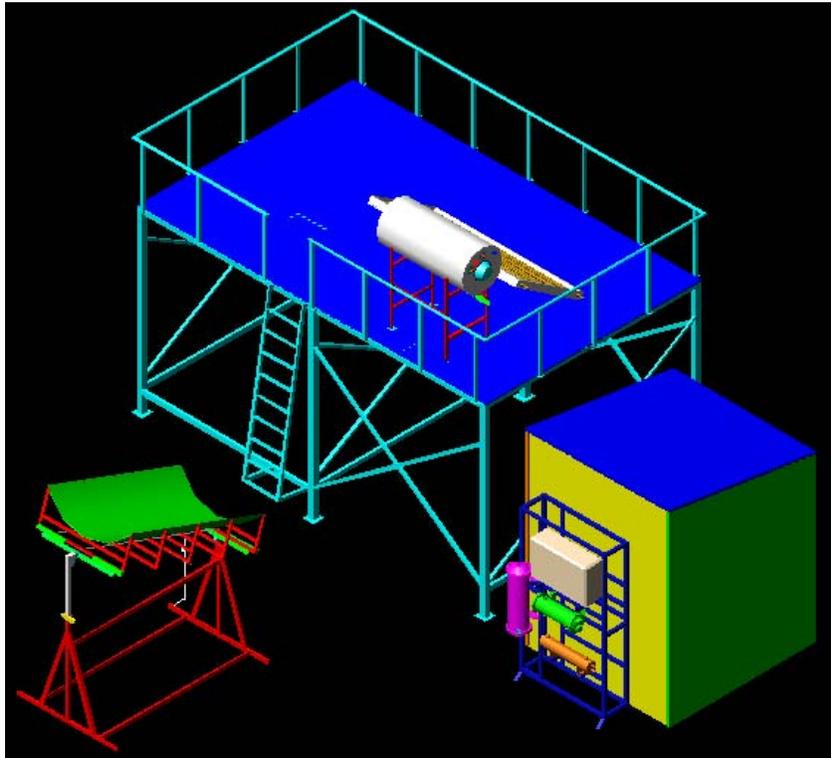


Figura 3.2 Digitalización del equipo

Con la digitalización ya concluida, notamos que era necesario realizar modificaciones importantes al generador para que cumpliera con los requerimientos necesarios como lo veremos a continuación.

Debido al espesor y el tipo de material del que está fabricado el generador fue necesario investigar el tipo de herramienta a utilizar así como las especificaciones de la máquina-herramienta que se utilizó.

La modificación principal hecha al generador fue la realización de una entrada de solución proveniente del intercambiador de calor, para lo cual fue necesario el uso de máquinas-herramientas, así que se solicitó el apoyo al Laboratorio de Manufactura dentro de las instalaciones de la FES Aragón, UNAM, dentro de estas instalaciones se trabajó con máquinas tales como el taladro radial así como el uso de una planta de soldadura eléctrica para incorporar al generador un par de coples, con los cuales este generador quedó listo para su ensamble.



Figura 3.2.1 Generador después del rediseño

3.3 Selección de Material

En este apartado hablaremos de los materiales que decidimos utilizar en la instalación hidráulica del equipo de absorción, misma que une a cada una de las partes componentes del equipo de aire acondicionado, así mismo justificaremos el porque nos decidimos a utilizar este tipo de material.

Basándonos en libros, sabemos que el bromuro de litio acuoso es un gran corrosivo para muchos metales, por tal motivo nos dimos a la tarea de investigar que tipo de tubería sería la mejor opción para esta instalación.

Una vez que se eligió el tipo de tubería que utilizaríamos, nos dimos a la tarea de seleccionar la soldadura con la cual uniríamos a la misma, apoyándonos en las presiones con las cuales trabaja el equipo y revisando manuales de soldadura, seleccionamos la que consideramos más adecuada.

3.3.1 Selección de Tubería

Las condiciones de una instalación solar no presentan ninguna diferencia respecto a las instalaciones hidráulicas de cualquier otro sistema comercial y por lo tanto se suelen utilizar los mismos materiales. Se debe considerar que en el circuito primario las variaciones de temperatura pueden ser muy importantes, lo que representan altas demandas mecánicas sobre las tuberías, que se debe considerar para el diseño de una buena instalación. Los materiales comúnmente utilizados para esta función son el cobre y el polipropileno.

- El cobre es un material muy extendido, fácil de trabajar y con una gran variedad de accesorios y figuras en el mercado. Las uniones se producen por soldadura utilizando diferentes tipos de aleaciones. Tiene un bajo coeficiente de dilatación pero, por el contrario, una elevada conductividad térmica. Es necesario tener presente incompatibilidades con otras conducciones metálicas debido a las corrosiones galvánicas que se pueden minimizar. Utilizando estas medidas el peligro aun continua presente debido a la posibilidad de arrastre de partículas metálicas de diferente material por el circuito.
- El polipropileno es el otro material bastante extendido en uso, que tiene como ventaja un bajo coeficiente de conductividad térmica y compatibilidad con los materiales metálicos. Se une por termofusión y tiene elevada elasticidad mecánica. Por otra parte su costo es elevado y requiere de herramientas específicas.

Basado en los datos que a continuación se presentan y tomando en cuenta las necesidades que se requerían en el equipo, se opto por utilizar tubería de cobre, que es una forma sencilla de unir tubería, reduce costos de instalación y sus características cumplen satisfactoriamente nuestros requerimientos.

Las tuberías de cobre al ser fabricadas por extrusión y estiradas en frío tienen características y ventajas sobre otro tipo de materiales. Su fabricación por extrusión que permite tubos de una sola pieza, sin costura y de paredes lisas y tersas, asegura la resistencia a la presión de manera uniforme y un mínimo de pérdidas de presión por fricción en la conducción de fluidos. Sus dos temples en los tipos normales de fabricación, rígido y flexible, nos brindan una gran facilidad de unión entre sus piezas.

Entre las características principales de las tuberías de cobre rígido podemos recalcar las siguientes:

- Resistencia a la corrosión:** presenta un excelente comportamiento frente a la totalidad de los materiales de construcción y de los fluidos a transportar, asegurando así una larga vida útil a la instalación.
- Se fabrica sin costura:** por lo cual resiste sin dificultad las presiones internas de trabajo, permitiendo el uso de tubos de pared delgada e instalándose en espacios reducidos.
- Continuidad de flujo:** debido a que su interior es liso y terso admite un mínimo de pérdidas por fricción al paso de los fluidos a conducir, manteniendo los flujos constantes.
- Facilidad de unión:** el sistema de soldadura capilar permite efectuar con rapidez y seguridad las uniones de la tubería.
- La sencillez del proceso** para cortar el tubo y ejecutar las uniones, así como la ligereza del material, permiten la prefabricación de gran parte de las instalaciones, obteniéndose rapidez y calidad en el trabajo, así como mayor control de los materiales logrando reducir los costos.

3.3.2 Selección de Soldadura

Lo siguiente a considerar en este proceso, fue la elección del tipo de soldadura que debíamos utilizar, basados en los cálculos del sistema de absorción, principalmente considerando presiones como temperaturas, nos apoyamos en tablas que nos mostraban presiones de trabajo en uniones soldadas y así empezamos con la búsqueda de información para seleccionar la soldadura adecuada.

Una de las principales ventajas que nos ofrecen las tuberías de cobre de temple rígido es precisamente su sistema de unión por medio de conexiones soldables; dicho sistema, elimina el uso de complicadas herramientas, así como de esfuerzos inútiles y demoras innecesarias, haciendo más redituable el empleo de la mano de obra, la soldadura por capilaridad representa ventajas inigualables al ofrecer el medio más rápido en las uniones de las instalaciones.

En general se puede decir que las soldaduras son aleaciones de dos o más metales que en diferentes proporciones se emplean para unir piezas, ya sea por calor directo o por la temperatura alcanzada por las mismas.

Como norma se puede decir que las soldaduras funden a temperaturas menores que las piezas metálicas a unir; por tal motivo, no todos los metales se pueden alear para formar soldaduras: primero, por fundir a elevadas temperaturas; segundo por carecer de resistencia adecuada a la presión o a la tensión y tercero, por no aceptar la aleación con las piezas metálicas a unir.

Al sistema de unión de tuberías de cobre se le denomina soldadura capilar y se le llama así debido a que el espacio que existe entre la tubería y la conexión a unir es tan pequeño que se compara con el grosor de un cabello; mientras más pequeño sea dicho espacio, con mayor facilidad se ejercerá la capilaridad.

El fenómeno físico de la capilaridad se define de la siguiente manera: un cuerpo de paredes cercanas entre sí sumergido en el seno de un líquido, provoca que el líquido ascienda por las paredes del cuerpo. La unión de las tuberías de cobre se realiza por medio de soldaduras blandas o fuertes. En nuestro caso se optó por usar soldaduras blandas que son todas aquellas soldaduras que tienen un punto de fusión debajo de los 450° C; mismas que se emplean de acuerdo al fluido a conducir.

Tabla 3. Puntos de fusión de las soldaduras blandas dependiendo de su composición *

Aleación	Composición	Temperatura de Fusión °C		Temperatura Máxima de Trabajo °C	Presión Máxima de Trabajo (Kg/cm ²)		Densidad gr/cm ³
		Sólido	Líquido		Agua	Vapor	
50/50	50% estaño 50% plomo	183	216	120	10	0.5	8.85
95/5	95% estaño 5% antimonio	232	238	155	18	1.0	7.50

* Manual Técnico de Cobre, Nacional de Cobre S.A. de C.V., 2009

En este caso se usó la soldadura 95/5 porque es recomendada para usarse en instalaciones de vapor húmedo a presiones máximas de 1.0 kg/cm^2 además de ser usada en la conducción de aire acondicionado y calefacción.

Otra aplicación que tiene esta soldadura es en aquellas líneas donde se pudiera llegar a congelar el agua; naturalmente que una instalación no se diseña esperando que se congele el agua; sin embargo ocasionalmente puede llegar a congelarse.

Al aplicar cualquiera de las soldaduras blandas se hace indispensable hacer uso de pasta fundente, dicha pasta debe tener la característica de ser anticorrosiva o exclusiva para soldar tubería de cobre.

Las funciones que desempeña la pasta fundente son: evitar la oxidación del cobre como metal cuando se aplica calor y romper la tensión superficial para facilitar el corrimiento de la soldadura.

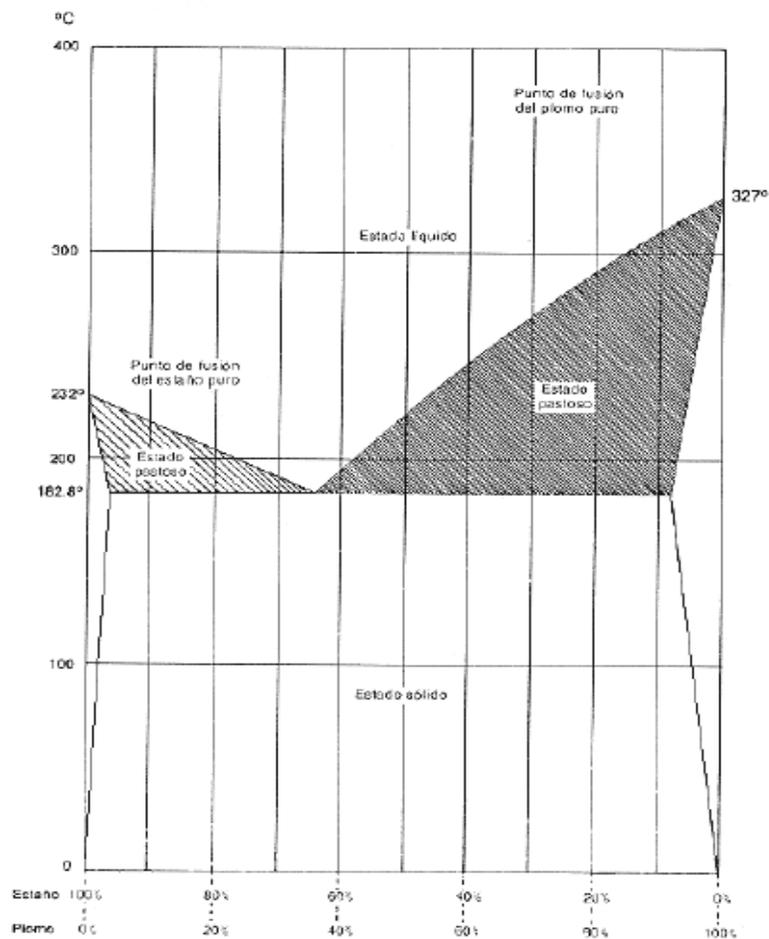


FIGURA 3.3.2 Comportamiento de la soldadura según el porcentaje de estaño contenido

La tabla 3.1 muestra las presiones de trabajo que soportan las uniones soldadas según el tipo de soldadura utilizada.

Tabla 3.1 Valores de la presión de trabajo en las juntas o uniones soldadas *

Soldadura usada en las uniones	Temperatura de servicio	Presión en agua (mmHg)			Presión en vapor saturado
		medidas nominales			
		1/4" a 1"	1 1/4" a 2"	2 1/2" a 4"	
	° C				mmHg
50 % estaño	65.6	7760.15	6465.566	5170.981	-
50 % plomo	93.3	5170.981	4656.09	3876.397	-
	121.1	4398.644	3876.397	2589.169	367.7796
95% estaño	65.6	20683.93	18102.11	14218.36	-
5% antimonio	93.3	15512.94	12931.13	10341.96	-
	121.1	10341.96	9047.379	7760.15	772.3372

* Manual Técnico de Cobre, Nacional de Cobre S.A. de C.V., 2009

En el mercado existen otros tipos de soldaduras que en su interior tienen una resina (alma ácida); sin embargo estas soldaduras no son recomendables para emplearse en la unión de tubería de cobre, pues el fundente que contiene, es insuficiente ya que viene en mínimas proporciones, además de contener ácido, lo que provocaría la corrosión en el cobre.

3.4 Armado

Con los equipos ya digitalizados se probaron varias posiciones de colocación de los equipos sobre una estructura ya fabricada, para lo cual fue necesario un rediseño de la misma. El cual únicamente consistió en la reubicación de los soportes para la colocación de los equipos.

Lo siguiente a realizar fue el instalación del equipo de absorción y la unión a los equipos de captación solar.

Lo primero en esta etapa fue una recopilación de información y manuales sobre como realizar una instalación de cobre con soldadura capilar. Ya teniendo el conocimiento teórico de cómo realizarla se prosiguió a la parte práctica, que consistió en la unión de las tuberías con el equipo así como la incorporación de los diferentes instrumentos de medición, estos son: termómetros, vacuómetro y rotámetros, en puntos específicos del equipo.

Proceso de soldadura paso a paso.

1. Cortar con el cortatubos o con la segueta de diente fino. En caso de usar el segundo, emplear una guía para obtener un corte en escuadra, y de esta manera se logrará tener un asiento perfecto entre el extremo del tubo y el anillo o tope que tiene la conexión en su interior evitando las fugas de soldadura.

2. Limpiar la rebaba que se haya formado al realizar el corte, esto se logra por medio del rimador o la lima de media caña. El cortatubos va provisto de una cuchilla triangular que sirve para rimar el tubo, es decir quitar la rebaba.
3. Limpiar perfectamente el interior de la conexión y el exterior del tubo, con lana de acero o lija de esmeril.
4. Aplicar una capa delgada y uniforme de pasta fundente en el exterior del tubo, esto se hace con un cepillo o brocha, nunca con los dedos.
5. Introducir el tubo en la conexión hasta el tope, girando a uno y otro lado para que la pasta se distribuya uniformemente.
6. Aplicar la flama del soplete en la unión, tratando de realizar un calentamiento uniforme; si es necesario, girar el soplete lentamente alrededor de la unión probando con la punta del cordón de soldadura la temperatura de fusión, después retirar la flama cuando se coloque el cordón y viceversa.
7. Cuando se llegue a la temperatura de fusión de la soldadura, ésta pasará al estado líquido que fluirá por el espacio capilar; cuando este se encuentre ocupado por la soldadura, se formará un anillo alrededor de la conexión lográndose soldar perfectamente.
8. Finalmente quitar el exceso de soldadura con estopa seca, haciendo esta operación únicamente rozando las piezas unidas, es decir sin provocar ningún movimiento en éstas, que de hacerlo podrían fracturar la soldadura que está solidificando.



Figura 3.4. Equipo de absorción armado

En el armado del equipo se colocaron varias tuercas-uni3n con la 3nica finalidad de poder aislar los componentes que lo integran, para que en dado caso de que alguno de estos necesitara de alg3n tipo de mantenimiento o en su defecto alguna reparaci3n, no representara problema alguno dar dicho mantenimiento.

Las tuercas-uni3n por su estructura son m3s factibles a presentar alguna fuga o infiltraci3n en el equipo, para evitar esto fue necesaria la utilizaci3n de un elemento aislante, en nuestro caso la mejor opci3n fue utilizar cinta de tefl3n.

Una vez completado el armado del equipo fue necesario realizar una serie de pruebas para asegurarse que el equipo no presentara ninguna perdida. Tales pruebas consistían en la presurizaci3n del equipo coloc3ndole un man3metro, con lo cual se presentaron los primeros inconvenientes, las perdidas de presi3n. Para ubicar dichas perdidas se utilizaron diferentes m3todos de detecci3n, desde la utilizaci3n una pistola ultras3nica hasta los m3todos convenciones.

3.4.1 Aislamiento

El aislamiento t3rmico de equipos y tuberías cumple la funci3n de reducir la transmisi3n de calor entre el fluido y el ambiente con el objeto de aumentar la eficiencia global de la instalaci3n y el ahorro de energía. Este aislamiento se realiza solamente despu3s de haber efectuado las pruebas de que el sistema este herm3ticamente sellado y de haber limpiado y protegido las superficies de las tuberías y componentes del equipo.

El aislamiento t3rmico en las instalaciones solares tendr3n, como m3nimo, los espesores equivalentes a los indicados a continuaci3n para un material con coeficiente de conductividad t3rmica de 0.04 W/m°C a 20°C.

El aislamiento de intercambiadores cuya superficie sea menor a 2 m² tendr3 un espesor m3nimo de 30mm; para vol3menes superiores, el espesor m3nimo ser3 de 50mm.

El espesor de aislamiento para intercambiadores externos no ser3 inferior a 20mm.

El espesor de aislamiento de tuberías y accesorios situados al interior no ser3 inferior a los valores expresados en la tabla 3.2.

Para tuberías y accesorios situados en el exterior los valores anteriores se incrementaran en 10mm como m3nimo.

Tabla 3.2 Grueso de aislantes para diferentes di3metros de tubería y temperaturas de servicio *

d_{ext} (mm)	Temperatura del Fluido (°C)			
	40 a 60°C	66 a 100°C	101 a 150°C	151 a 200°C
$d < 35$	20	20	30	40
$35 < d < 60$	20	30	40	40
$60 < d < 90$	30	30	40	50
$90 < d < 140$	30	40	50	50
$140 < d$	30	40	50	60

* Tecnología Solar, Ib3ñez Plana, M, 2005

3.4.2 Cristalización y Refrigeración del Absorbente

En las soluciones salinas como el LiBr el componente salino precipita cuando la fracción de masa de sal excede el límite de solubilidad. Este límite dependerá fuertemente de la temperatura y no así de la presión. En el caso del bromuro de litio el precipitado observado es una fase sólida hidratada. Esta sustancia es el sólido húmedo que se forma habitualmente en las tuberías de la máquina de absorción llegando, si no se toman las debidas precauciones, a obstruir las conducciones y detener el funcionamiento de la máquina. Si la obturación ocurre tenderá a producirse en la salida del intercambiador de calor de la solución, espacio donde las temperaturas son relativamente bajas y las fracciones de masa altas. El método más sencillo consiste en asegurar un sumidero de temperatura suficientemente baja para refrigerar el absorbedor.

Los problemas de cristalización son uno de los mayores obstáculos para producir máquinas refrigeradas por aire. Los absorbedores refrigerados por aire funcionan con temperaturas mayores que los refrigerados por agua debido a las características de transferencia energética del primero.

Se debe incluir controles de forma que cuando se dan condiciones de riesgo de cristalización éstas se corrigen, reduciendo la energía que entra en el generador o diluyendo la solución en el absorbedor.

3.4.3 Corrosión y Compatibilidad de Materiales

El bromuro de litio acuoso en presencia de oxígeno es agresivo a muchos metales incluyendo el acero y el carbón. Por ello, a pesar de que la baja presencia de oxígeno desacelera los procesos, a lo largo de la vida de una máquina se pueden observar procesos de corrosión significativos y se deben tomar medidas preventivas para minimizar los efectos. Las medidas más básicas consisten en el control del pH y de los inhibidores de corrosión.

La corrosión del acero o el cobre en presencia de un electrolito como el LiBr acuoso es una reacción multipaso oxidación-reducción que consiste en que iones de hierro o de cobre dejan la superficie del sólido y se combinan con oxígeno a cierta distancia de ella.

El potencial de oxidación de la solución es fuertemente dependiente del pH. Controlando que la solución sea ligeramente básica, los radicales hidroxilo en exceso provocan la oxidación directamente sobre la superficie sólida. El control de pH se realiza añadiendo pequeñas cantidades de HBr (ácido bromhídrico) sin alterar las propiedades de la solución.

Los inhibidores de corrosión nos ayudan a obtener una reducción complementaria en las tasas de corrosión. Se han probado varios aditivos que nos ayudan en este aspecto, uno de ellos es el Li_2CrO_4 (dicromato de litio) o el LiOH (hidróxido de litio). Estos inhibidores han reaccionado con la superficie de la tubería, formando un recubrimiento de óxido estable.

3.5 Pruebas de Vacío

Las presiones típicas de una máquina de absorción de bromuro de litio son subatmosféricas. Las presiones vienen determinadas por las presiones de vapor de los líquidos de trabajo. Por ejemplo en un evaporador a una temperatura de 5°C, considerando que prácticamente contiene agua pura, se trabaja con la presión de 0.872KPa. Estas condiciones introducen importantes retos en el diseño de las máquinas, como son su tamaño, grandes espacios que estén completamente cerrados, que no tengan comunicación con otros objetos debido al volumen específico del vapor, la sensibilidad a gases generados internamente y a efectos de presión hidrostáticos en el diseño del evaporador. Las presiones relacionadas con un sistema de bromuro de litio son relativamente bajas pero la sensibilidad de esta tecnología a cualquier fuga es altísima.

3.5.1 La Técnica del Vacío en los Sistemas de Aire Acondicionado

La instalación o reparación del equipo de aire acondicionado requiere aplicar procedimientos adecuados para realizar la deshidratación parcial o total del ciclo de refrigeración. No siempre la tarea de vacío se realiza correctamente y lamentablemente se corren riesgos de reducir o terminar con la vida útil del equipo en cuestión. En estos tiempos donde la tecnología avanza rápidamente en la fabricación de nuevos equipos, con mejores características de aplicación y eficiencia, no se puede ocultar que la técnica a aplicar en la reparación exige ser cuidadoso y responsable en el manejo.

Algunos circuitos de refrigeración son más extensos, requieren aplicar soldaduras a sus tuberías de cobre y también utilizar aceites anticongelantes sintéticos, los cuales son cien veces más ávidos de absorber humedad que los aceites minerales.

Un equipo es fabricado cuidando siempre que el sistema esté libre de contaminantes y gases no condensables. La limpieza de las tuberías y demás componentes del circuito es una regla de estricto cumplimiento.

Cuando el circuito de refrigeración no requiere ser preparado y armado por el instalador cómo sucede con los equipos compactos, roof-top y máquinas enfriadoras de líquidos etc., no existen riesgos, pero si el equipo es una unidad separada, split type, se deben aplicar técnicas y aplicar procedimientos adecuados para terminar con éxito la instalación.

3.5.2 La Bomba de Vacío

Para saber que capacidad debe tener la bomba debemos conocer previamente que capacidad en TR (toneladas de refrigeración) o Kcal/hr tiene el equipo que estamos instalando o reparando, es importante recalcar que no debemos descuidar como será el transporte de la bomba, en función del peso y el tamaño de la misma.

Para poder elegir la bomba de vacío adecuada debemos considerar que por cada pie cúbico por minuto o por cada 28.56 litros por minuto que dispone la bomba de vacío,

que es su capacidad, podemos emplearla para evacuar o deshidratar equipos con capacidad hasta 6 toneladas de refrigeración (18 000 Kcal/hr o 72 000 BTU/hr).



Figura 3.5.2 Bomba de vacío

Una regla aproximada será entonces: Con $1 \text{ ft}^3/\text{min}$ o 28.56 l/min se pueden evacuar equipos de hasta 6 TR. Por ejemplo, con una bomba de 4cfm podemos evacuar equipos de hasta 24TR.

Hoy están disponibles en el mercado bombas de una y dos etapas que llegan a valores de vacío de 15μ (15micrones), 0.015mmHg , recordando que $1\text{mmHg} = 1000$ micrones.

Las bombas de vacío que disponen de aceite para su lubricación requieren cambio de aceite de acuerdo no solo a su uso, sino también al grado de contaminación en que se encuentra el circuito a deshidratar. Es recomendable cambiar el aceite con frecuencia para evitar disminuir la eficiencia de la bomba, se debe tener en cuenta que el aceite se contamina por medio del vapor de agua que se elimina del circuito.

Es aconsejable que si el circuito a deshidratar contiene mucha humedad, en el mismo momento que la bomba se detiene al terminar la deshidratación, se proceda a retirar su aceite y sustituirlo por otro de las mismas características que aconseja el fabricante, de esta forma se evita que la humedad permanezca dentro de la bomba afectando sus partes mecánicas, ya que esto puede causar que disminuya su eficiencia.

Cuando se comienza el vacío en un circuito nunca se debe hacer funcionar la bomba si la presión en el circuito a evacuar es superior a la presión atmosférica. La presión atmosférica es de 760 mmHg (1 atmósfera) = 14.7 PSI , esta presión es la que soportamos diariamente sobre nuestro cuerpo. El aire que respiramos (78% de Nitrógeno + 21% Oxígeno + 1% de otros gases) rodea nuestro Planeta y por acción de la gravedad se mantiene atraído a la Tierra hasta 960 Km. por sobre el nivel del Mar. La presión atmosférica a mayor altura disminuye y por lo tanto la ebullición se realiza a menor temperatura. De igual forma ocurre con una bomba de vacío aplicada a un circuito de refrigeración, cuánto más disminuye la presión, a menor temperatura entra en ebullición el agua, humedad que puede estar contenida dentro del circuito. Es entonces fácil comprender, que trabajando a presión muy baja y a su vez favorecidos por la temperatura ambiente a la cual se hallan sometidas las partes del equipo (tubería, condensador, evaporador, etc.), las micro gotas de agua que puedan estar dentro del circuito se transforman en vapor y este será extraído por la bomba y será expulsado.

La bomba de vacío debe ser cuidada y mantenida para asegurar que se logre el vacío esperado por eso es importante recomendar lo siguiente:

1. Las bombas en general deben disponer de una válvula manual que asegure interrumpir el trabajo de vacío antes de proceder a detenerla para no perder el vacío logrado hasta ese momento, evitando además que el aceite de la bomba pueda ingresar al equipo por la baja presión en que éste se encuentra, una

interrupción de la energía eléctrica también debe tenerse en cuenta, tratando que una válvula de solenoide (permiten un control on-off mediante variaciones de corriente eléctrica en su bobina) actúe para proteger el vacío logrado hasta ese momento. Las bombas de última generación disponen de válvulas incorporadas para interrumpir el proceso de evacuación.

2. Se debe controlar el estado de la bomba para conocer si no existen problemas de tipo mecánico que hayan disminuido su eficiencia, esto generalmente ocurre cuando las bombas tienen un uso muy frecuente, y el cambio de aceite pasó al olvido.
3. Si disponemos de una bomba que tiene una válvula de lastre, ésta válvula permite que se mezcle aire atmosférico más seco con aire saturado extraído por la primera etapa de la bomba facilitando expulsar la humedad y aumentando la eficiencia de la bomba.

3.5.3 Requerimientos para una Correcta Purga en el Equipo

Se debe asegurar que el circuito en cuestión tendrá todas sus válvulas abiertas en dónde corresponda para que no existan limitaciones en la evacuación. De no tenerse en cuenta puede haber zonas no deshidratadas convenientemente.

Las compuertas de estas válvulas deben estar debidamente cerradas y en condiciones para evitar fugas invisibles que puedan hacer fracasar el vacío o equivocar los diagnósticos ante posibles pérdidas.

Cuándo los circuitos son de gran capacidad se debe estudiar el recorrido y asegurarse que restricciones insalvables como tubos capilares, válvulas de expansión, válvulas de retención no desmejoren o impidan la deshidratación.

En los casos de circuitos de gran volumen, el uso de 2 bombas instaladas en dos lugares estratégicos del circuito, puede ser una muy buena solución. Los lugares apropiados pueden tener límites simétricos con la restricción más severa, como por ejemplo la válvula de expansión, el tubo capilar, etc.

Las mediciones de vacío, deben ser hechas en general en lugares alejados a la conexión de la bomba de vacío, y las mismas se deben tomar como válidas, cuando hallan pasado algunos minutos después de detener a la bomba, a fin de lograr que se estabilice el sistema.

Los niveles de vacío los establece y recomienda el fabricante del equipo, los valores más frecuentes en equipos convencionales están en un rango de vacío entre 500 a 300 micrones. Cuándo se requiere la medición en el circuito, se debe hacer uso de un vacuómetro que permita asegurar no sólo los valores recomendados sino también valorar la eficiencia de la bomba y la técnica aplicada.

Los tiempos de evacuación son dependientes de la eficiencia de la bomba, su capacidad y el grado de humedad que dispone el circuito.

Un circuito puede haber llegado después de cierto tiempo al nivel de evacuación esperado, por lo tanto si se detiene la bomba y por medio del instrumento medimos el vacío, se percibe una pérdida de dicho vacío hasta un cierto nivel, dónde el instrumento queda detenido, en principio puede atribuirse a una pérdida, pero si el instrumento se detiene manteniendo aún un nivel de vacío no despreciable, puede ser que el circuito aún contenga humedad, y al momento de detener la bomba, las micro gotas que aún quedan dentro del circuito al evaporarse aumenta la presión existente del circuito.

Cuando un circuito, después de cierto tiempo de evacuación, llega al nivel de vacío esperado, es recomendable que la bomba continúe el proceso de evacuación por más tiempo, el tiempo sugerido debería ser no inferior a 1/3 del tiempo total empleado para llegar al vacío requerido. A continuación, antes de detener la bomba, debemos interrumpir la operación de ésta, cerrando la válvula, que la vincula con el circuito.

Cómo es de esperar, el vacuómetro podrá ser leído y en este caso podemos comentar algunos posibles resultados:

- El vacuómetro disminuye su valor hasta mantenerse invariable. Este movimiento, que surge a partir de la detención de la bomba, es atribuible a la búsqueda de equilibrio interno del sistema. Si la medición no sufre modificaciones con el transcurso del tiempo, se habrá logrado el fin buscado.
- El vacuómetro muestra un crecimiento acelerado. En este caso estaremos frente a una pérdida en depresión, que debemos localizar. Si bien esta búsqueda deberá ser orientada a cargar al sistema con Nitrógeno, a fin de su localización. No debe pasar inadvertido que exista el problema de pérdida en las conexiones realizadas para esta tarea.
- Por último si se presenta una pérdida, que detiene al instrumento en un valor de vacío no deseado, y dicho valor permanece con un crecimiento casi imperceptible, podremos estar frente a un sistema dónde aún permanecen micro gotas que al evaporarse hacen aumentar la presión interna del sistema. En este último caso debemos intentar continuar haciendo vacío y transcurrido cierto tiempo reiterar la medición.

Por todo lo expuesto se recomienda usar siempre los instrumentos adecuados, aplicarlos con frecuencia y sacar conclusiones en cada práctica. La experiencia que se va adquiriendo es la herramienta que nos lleva a un manejo responsable de los procedimientos adecuados de refrigeración.

Capítulo IV

Propuestas de Mejoras

En este capítulo proponemos una serie de mejoras al sistema de aire acondicionado solar, mismas que consideramos darán solución a problemas que encontramos en el armado del equipo y durante el proceso en el que le realizamos pruebas al mismo.

Así mismo consideramos que estas mejoras contribuirán a que el equipo prolongue su vida útil, mantenga las condiciones de trabajo adecuadas y requiera de un mínimo mantenimiento preventivo.

4.1 Construcción de un espacio destinado al Equipo de Absorción

Actualmente los intercambiadores de calor que conforman el equipo de absorción se encuentran a un costado de la caseta que se está acondicionando, en la figura 4.1 se puede observar su posición actual.



Figura 4.1 Ubicación actual del equipo de absorción

Como podemos ver en la figura anterior, el equipo del sistema de absorción se encuentra a la intemperie lo que nos provoca algunos inconvenientes, tal es el ejemplo:

- Desgaste del aislante
- Oxidación
- Deterioramiento en vacuómetros y termómetros
- Acumulación de polvo
- Infiltraciones en la tubería
- Que gente ajena al equipo lo manipule

Tomando en cuenta estos inconvenientes es claro observar que el equipo requerirla de un mantenimiento tanto preventivo como correctivo a corto plazo, lo que nos representa un costo extra tanto en materiales como en mano de obra.

Por lo anterior consideramos que seria de gran funcionalidad construir un espacio exclusivo adjunto a la caseta en donde se encuentren los equipos que conforman el sistema de absorción.

Para la construcción de este nuevo espacio hemos considerado paneles prefabricados con aislamiento llamado "Multymuro" o en su defecto "Multytecho". Este mismo material fue utilizado en la construcción de la caseta la cual se esta acondicionando.

Multytecho y Multymuro de fachadas son paneles prefabricados en línea continua, están compuestos por dos láminas de acero galvanizado y cuentan con un pre-pintado, unidas por un núcleo de espuma rígida de poliuretano, formando un elemento tipo sándwich y con diseño de junta del tipo hembra y macho para un fácil ensamblado.

Las siguientes tablas presentan las especificaciones de los componentes de Multymuro y Multytecho, en la tabla 4 se encuentra las propiedades de la lámina de acero que conforma el panel.

Tabla 4. Especificaciones de la lámina de acero *

Lámina (acero)	Galvanizada y pre-pintada
Calibre	26 (0.019" / 0.49 mm.) MULTYMURO y MULTYTECHO. 28 (0.016" / 0.41 mm.) MULTYTECHO.
Calidad	Comercial SAE-1010, con bajo contenido de carbón.
Obtención	Por el proceso de laminación en frío y galvanizado conforme a la Norma ASTM A-653.
Límite de fluencia	2,800 Kg./cm ² mínimo.
Galvanizado	Recubrimiento de zinc aplicado por el proceso de inmersión en caliente para obtener una capa tipo G-90 (equivalente a 0.9 Oz/pie ² por ambas caras), con la finalidad de proteger el acero contra la corrosión.
Pinturas	POLIESTER ESTANDAR Revestimiento de acabado a un espesor de 0.8 mm, aplicado sobre una base o primer epoxy de 0.2 mm, de espesor, sometidos a un tratamiento de curado en horno. DURAPLUS Recubrimiento de alta resistencia a la corrosión, a un espesor de 0.8 mm, que aplicados sobre un primer epoxy de 0.8 mm, de espesor, crean un sistema de

	<p>recubrimiento de excelentes características y propiedades.</p> <p>PLASTISOL</p> <p>Capa de acabado de 6.0 mm, de espesor aplicada sobre un primario prime-a-sol de 0.2 mm, diseñada para maximizar la durabilidad de los edificios expuestos a una intemperie severa o atmósferas corrosivas, con formulaciones que resisten la decoloración aún en las condiciones ambientales más agresivas.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

* Boletín técnico 1, Muros y techos, MULTY PANEL S.A. de C. V., 2009

La tabla 4.1 nos muestra las propiedades con las que cuenta la espuma de poliuretano que la hacen un excelente aislante, misma que se encuentra en el interior del panel de acero.

Estas propiedades aislantes con la que cuenta este panel hacen que sea una excelente opción para nosotros ya que nuestra finalidad es que el espacio que contendrá a los equipos de absorción sea totalmente resistente a la intemperie.

Tabla 4.1 Especificaciones de la espuma rígida de poliuretano *

Auto-extinguible	Debido a que incluye en su formulación un retardante contra el fuego.
Conductividad térmica	Factor K = 0.132 BTU / Hr ft ² °F A una temperatura de 75°F (24°C), conforme a la Norma ASTM C-518.
Absorción de agua	0.03 lb / ft ² ó 0.146 Kg / .m ²
Transmisión de vapor de agua	2 Perms (promedio). 1 Perm es una unidad que equivale a: un grano de vapor de H ₂ O / ft ² hr inHg. Una libra de vapor de H ₂ O es igual a 7,000 granos.
Resistencia a la difusión de vapor de agua	Forma una película de protección compacta que dificulta la penetración del vapor de agua.
Resistencia a la intemperie	Resistencia a las influencias atmosféricas, la luz solar y la lluvia producen únicamente una alteración del color de la superficie expuesta, tornándose ésta ligeramente quebradiza.
Resistencia a los productos químicos	Excelente resistencia al agua, agua de mar, vapores de ácidos, a la mayoría de los solventes, hidrocarburos y aceites minerales.

* Boletín técnico 1, Muros y techos, MULTY PANEL S.A. de C. V., 2009

Tabla 4.2 Tabla de pesos propios de los paneles multymuro y multytecho *

ESPESOR	Multytecho Kg/m ²		Multymuro Kg/m ²
	CALIBRE		CALIBRE
	26/26	26/28	26/26
1"	10.6	9.22	-----
1 ½"	11.15	9.77	10.74
2"	11.69	10.32	11.44
2 ½"	12.27	10.90	11.98
3"	12.84	11.46	12.22
4"	13.97	12.59	13.61
5"	15.45	14.07	14.75
6"	16.78	15.40	15.89

* Boletín técnico 1, Muros y techos, MULTY PANEL S.A. de C. V., 2009

Tanto la tabla 4.2 como la tabla 4.3 nos muestran otras propiedades del Multymuro, en la primera encontramos el peso en kilogramos por cada metro cuadrado del panel y en la segunda tabla observamos las conductancias y resistencias térmicas de los mismos, cabe mencionar que el espesor que seleccionamos para este propósito es el de 2".

Tabla 4.3 Conductancias y resistencias térmicas de los paneles (considerando películas de aire)*

ESPESOR	VERANO				INVIERNO			
	MUROS		CUBIERTAS		MUROS		CUBIERTAS	
	U	R	U	R	U	R	U	R
1"	-----	-----	0.114	8.75	-----	-----	0.120	8.36
1 ½"	0.081	12.29	0.080	12.53	0.082	12.21	0.082	12.14
2"	0.062	16.08	0.061	16.32	0.063	16.00	0.063	15.93
2 ½"	0.050	19.87	0.050	20.11	0.051	19.79	0.051	19.72
3"	0.035	28.57	0.035	28.57	0.039	25.64	0.039	25.64
4"	0.032	31.23	0.032	31.47	0.032	31.15	0.032	31.08
5"	0.029	34.48	0.026	39.05	0.025	40.00	0.026	38.66
6"	-----	-----	0.021	46.62	-----	-----	0.022	46.23

* CONDUCTANCIA TERMICA (K) = 0.132 BTU in/hr ft²°F Referencia: ASHRAE Fundamentals 1985

4.1.1 Procedimiento de mantenimiento a los paneles "Multytecho y Multymuro"

Es recomendable que al terminar la instalación de los paneles, éstos reciban una limpieza necesaria para remover la grasa, tierra, polvo y marcas de manejo normales, debidas a la instalación. Para algunas manchas difíciles se recomienda que sean lavadas individualmente con una solución suave de agua y detergente doméstico aplicada con un trapo, esponja o cepillo. Estas áreas deberán ser bien enjuagadas con agua después de limpiar, para remover todos los residuos de solución.

Se debe prestar particular atención en la remoción de rebabas de metal sueltas o ligeramente incrustadas en la capa de pintura de la lámina, así como cualquier fragmento o elemento de metal, tales como clavos, remaches, tornillos, etc. Estas partículas, originadas por el uso de taladros o por cortes en el lugar de la instalación, contienen acero al carbón, las cuales, si son dejadas, se oxidarán rápidamente y serán una fuente de corrosión.

Una lavada anual con agua a presión, mantendrá la instalación en óptimas condiciones. Después de algunos años, puede llegar a ser necesario lavar la instalación con una solución de detergente suave y un cepillo.

La superficie deberá mojarse antes de limpiar y deberá ser enjuagada inmediatamente después, pero antes de que la solución pueda secarse sobre la superficie. Cabe resaltar que nunca se deben utilizar solventes o "thinners" para la limpieza de la pintura de acabado.

El acabado original de los paneles Multytecho Y Multymuro, al haberse intemperizado, servirá excelentemente como un primario de alta calidad o recubrimiento base para una pintura propiamente seleccionada para ser aplicada en el lugar de la instalación.

En caso de que se quiera pintar posteriormente es esencial que la superficie original sea limpiada adecuadamente antes del repintado y que la pintura nueva sea confirmada como compatible con el acabado original. Si se tiene en cuenta las precauciones normales, no tendríamos porque encontrar alguna dificultad en este aspecto.

Los selladores deben ser aplicados en el lugar de la instalación y con la cantidad especificada por Multypanel, S.A. de C.V., para que su vida útil de servicio se prolongue al máximo. Las superficies de contacto deben estar libres de grasa, polvo o cualquier otro contaminante; así también tenemos que evitar pisar sobre las zonas selladas durante el proceso de curado.

Cualquier sellador expuesto a la intemperie pierde sus propiedades en forma acelerada, por lo que esto deberá evitarse. Los selladores que recomienda la empresa Multypanel para sus productos son los siguientes:

- SIKAFLEX 1-a de Sika Mexicana, S.A. de C.V.
- DURETAN de Productos Pennsylvania, S.A. de C.V.
- DC-914 de Dow Corning de México, S.A. de C.V

La frecuencia de las inspecciones depende de cada proyecto, pero no deberá ser menor a una vez cada 2 años. La forma correcta de revisar los sellamientos se hace mediante la introducción de lanas dentro de los espacios a sellar, con la finalidad de detectar faltas de material o de adherencia. En caso necesario se deberá retirar todo el sellador antiguo y dejar las superficies limpias, libres de cualquier material que evite la adherencia del sellador a los sustratos.

4.2 Modificación a la posición que ocupa actualmente el Condensador del Sistema de Absorción

Una vez terminado el armado del equipo nos percatamos que la posición del condensador del sistema de absorción no era precisamente la mejor opción ya que como se puede observar en la figura 4.2 el condensador queda muy próximo a la pared de la caseta acondicionada.



Figura 4.2 Posición actual del condensador

Por la cercanía que existe entre la pared y el condensador, este puede ver afectado considerablemente su rendimiento y por consiguiente el de todo el sistema de absorción, por este mismo motivo investigamos en manuales de instalación de fabricantes de condensadores y a continuación enlistamos diferentes aspectos que consideramos de gran importancia para lograr una instalación correcta de esta unidad.

1. Se debe dejar espacio alrededor de la unidad exterior para que la unidad pueda ventilarse normalmente. En la figura 4.2.1 se pueden observar las distancias recomendadas que debemos mantener entre las paredes del condensador y sus alrededores.
2. El lado del edificio que da al norte o al este es el más apropiado para la instalación. Si no se puede evitar realizar la instalación en lado del edificio que da al sur o al oeste, deberá prepararse una cubierta para la unidad, teniendo en cuenta que la cubierta no deberá obstruir la ventilación de la unidad y así evitar la exposición de luz solar directa.
3. Se recomienda no poner la unidad en un lugar que esté muy sucio ni en un lugar que se moje cuando llueva.
4. Colocar el condensador tan cerca del evaporador como sea posible. La diferencia de alturas recomendada entre las unidades no debe ser de más de 5 metros.
5. Se debe de instalar la unidad en un lugar estable para reducir al mínimo la vibración o el ruido.
6. La instalación del condensador debe de ser en un lugar que facilite realizar trabajos de mantenimiento y reparación.

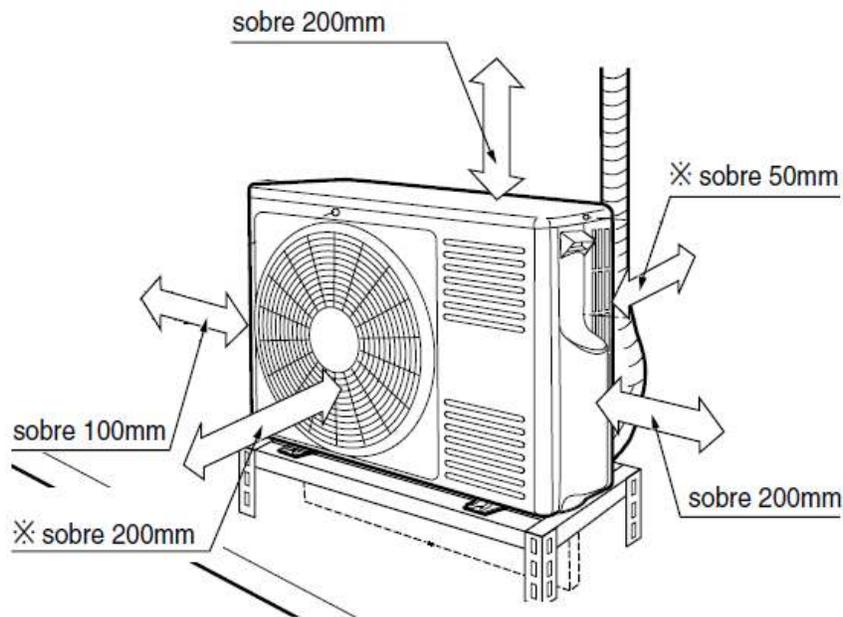


Figura 4.2.1 Distancias que deben existir entre el condensador y el lugar donde se va a instalar

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente en este capítulo nos dimos a la tarea de digitalizar las propuestas al equipo de aire acondicionado solar. Para dicho fin se contó con paquetería CAD, en el siguiente apartado presentamos el trabajo realizado con dicho software.

4.3 Digitalización del espacio que contendrá al Sistema de Absorción

Como lo propusimos en el primer punto de este capítulo, creemos que con la construcción de un espacio destinado exclusivamente al sistema de absorción obtendremos beneficios significativos en cuanto a mantenimiento y a la eficiencia del mismo sistema.

Para dicho fin se trabajó con el programa Solid Works 2007, con el cual se logró después de varias ideas y modificaciones, darle forma a nuestra propuesta.

La caseta que se propone para que contenga a los equipos del sistema de absorción se muestra en la figura 4.3, en dicha figura podemos observar un dibujo técnico en donde apreciamos la estructura y las dimensiones de la misma.

Como se puede apreciar en la figura siguiente, el diseño de la caseta es muy simple, consta de una estructura principal en donde estarán la mayoría de los equipos del sistema de absorción, ya que en la parte superior de esta misma estructura adecuamos un espacio exclusivo para el condensador del sistema, dicho espacio cumple con las especificaciones de instalación anteriormente señaladas.

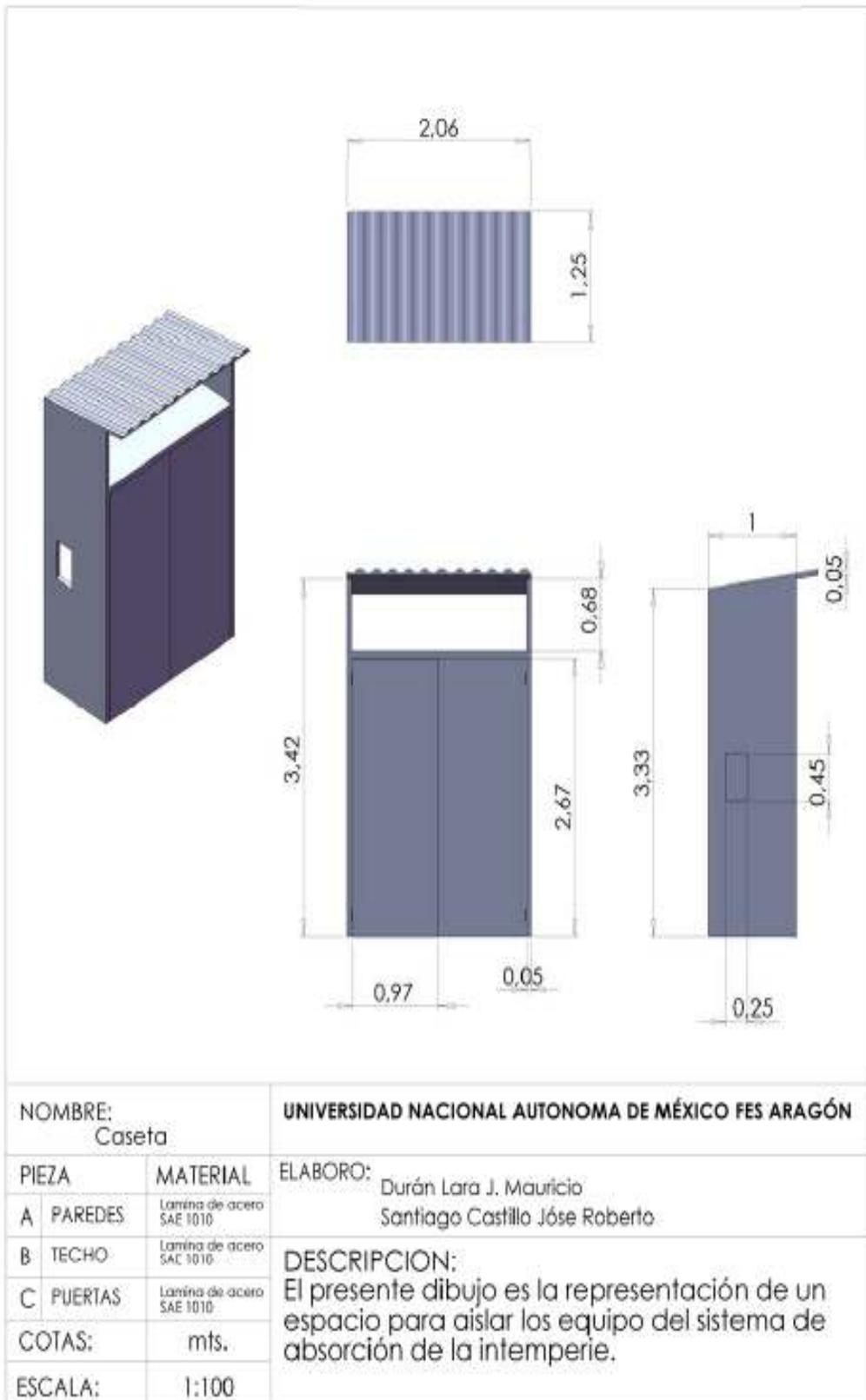


Figura 4.3 Dibujo técnico de la casta anexa que contendrá al sistema de absorción

Esta estructura en su parte posterior estará unida a la caseta a acondicionar, en uno de sus costados cuenta con una pequeña ventana la cual nos servirá para poder observar los manómetros y termómetros ubicados en esa sección.

Por ultimo la parte frontal de esta caseta esta conformada por dos puertas, esto nos permitirá un fácil acceso a cualquier intercambiador, termómetro, vacuómetro o rotámetro del equipo así como un fácil acceso a cualquier punto del sistema en caso de brindarle mantenimiento.

Para poder tener una idea clara de cómo quedaría el equipo de aire acondicionado solar con estas modificaciones, la figura 4.3.1 y la figura 4.3.2 nos muestran el ensamble que realizamos en el cual podemos observar la caseta principal, los equipos de absorción con la nueva posición del condensador y la caseta que aislara el sistema del medio ambiente.

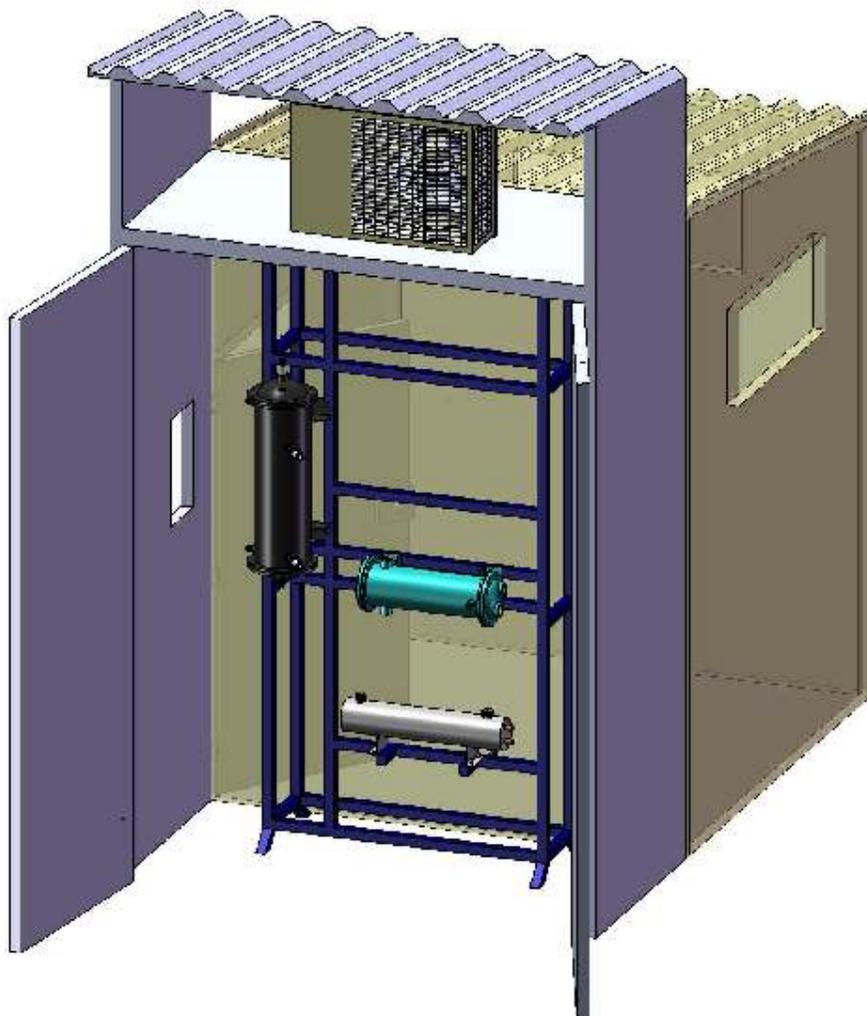


Figura 4.3.1 Digitalización de las mejoras al equipo AAS

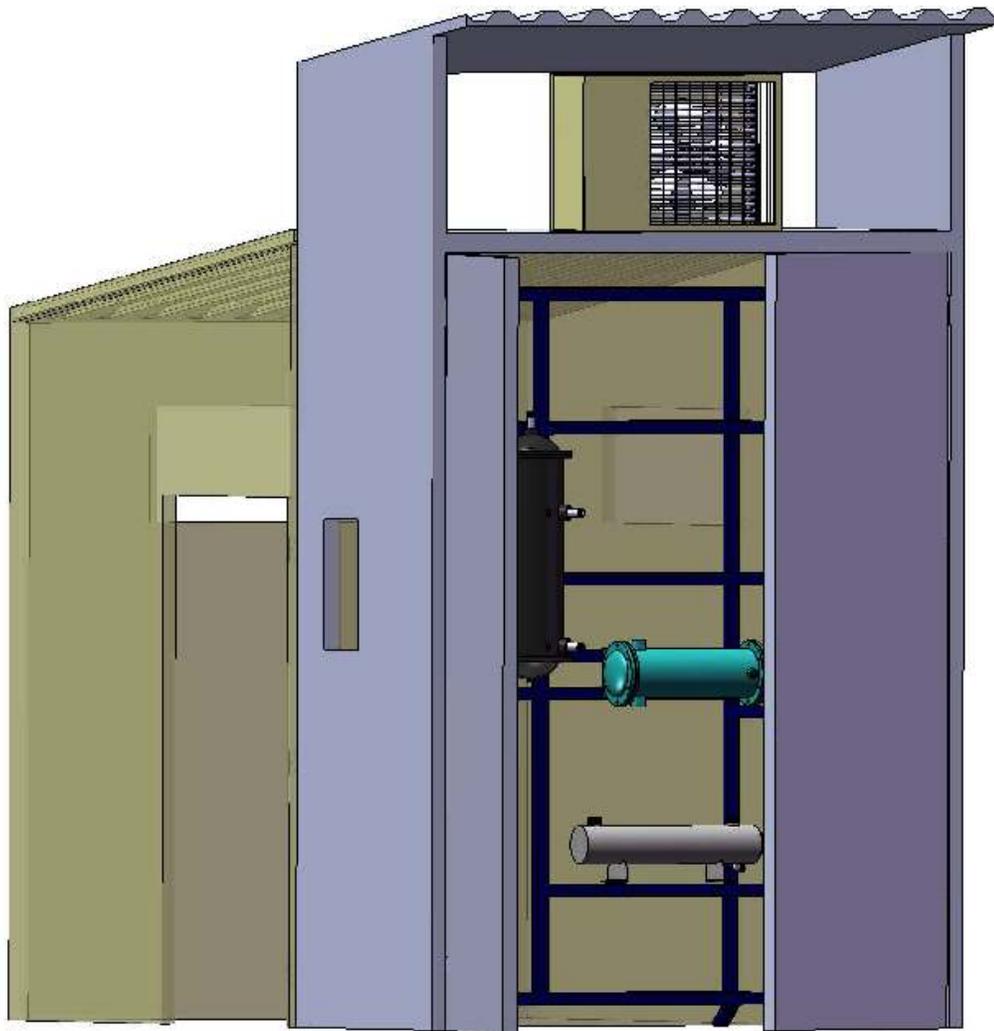


Figura 4.3.2 Vista del equipo ASS desde un ángulo diferente

Conclusiones

El diseño y armado del equipo de Aire Acondicionado Solar exigió de un gran compromiso ya que represento una ardua labor por parte de todas las personas involucradas en este proyecto.

Este proyecto constituyo un reto para nosotros ya que nos represento poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera y aplicarlos a un aspecto práctico.

Tomando en cuenta lo anterior, el primer reto que se nos presento fue el cálculo de la carga térmica del sistema de absorción para lo cual realizamos una memoria de cálculos para conocer las propiedades termodinámicas en cada punto del sistema. El punto central de este reto, fue la investigación que realizamos para conocer las áreas de transferencia de calor en cada uno de los intercambiadores del equipo.

Una vez terminada la memoria de cálculos, el siguiente reto que se nos presentó consistió en que había que realizarle un rediseño al equipo que ya se tenía armado en el Centro Tecnológico, el punto mas importante de este rediseño fue aplicado al generador del sistema de absorción que utilizamos para iniciar el ciclo de enfriamiento, teniendo en cuenta que es el “motor” del sistema, este intercambiador de calor necesitaba cumplir al 100% con las especificaciones.

En este punto cabe mencionar que fue de gran ayuda el uso de paquetería CAD, para lo cual necesitamos consultar manuales y tutoriales para lograr la digitalización de cada uno de los componentes del equipo y así se logro saber cual seria la configuración final del rediseño que le aplicamos al equipo, primordialmente al generador.

Antes de empezar con el armado del equipo tuvimos que capacitarnos en le tema de la soldadura, para lo cual consultamos libros y en especial adquirimos tutoriales en video en donde con varias horas de practica logramos obtener una soldadura adecuada.

El primer inconveniente que se presento una vez terminado el armado del equipo, fue la presencia de infiltraciones en la tubería de cobre que une a los equipos del sistema de absorción.

En esta etapa del proyecto se invirtió cerca de un mes para encontrar la solución a este problema, ya que no nos fue del todo simple solucionar este inconveniente, se reviso cada una de las soldaduras que realizamos, utilizando diversos métodos para la detección de dichas infiltraciones, tales como el uso de jabonadura, presurización del equipo y hasta dispositivos ultrasónicos, hasta que el equipo resistió las condiciones de vacío requeridas.

Con la experiencia obtenida buscando solucionar el problema de infiltraciones en la tubería del equipo, en el cual participaron los tesistas del laboratorio de diagnóstico energético, se elaboro un manual para la detección de fugas, mismo que representa una solución al problema de fugas o infiltraciones que se llegaran a presentar en este o en otros equipos de aire acondicionado.

El resolver los problemas que se presentaron durante este proyecto nos dejó una gran experiencia, ya que al estar en contacto con el equipo logramos anticipar algunas fallas y realizarle pequeñas modificaciones.

Una gran satisfacción que nos dejó este proyecto fue el haber participado en la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar que organiza cada año la Asociación Nacional de Energía Solar con la publicación de un artículo titulado “Rediseño y armado del sistema AAS, “Aire Acondicionado Solar” mismo que expusimos dentro de las sesiones técnicas de este congreso.

Así mismo, consideramos que el haber participado en este proyecto nos brindó una visión de lo que es el ámbito profesional, ya que una instalación como la que realizamos, en todos sus aspectos, no dista en mucho de una instalación industrial.

Teniendo en cuenta este aspecto, hoy en día los sistemas de acondicionamiento de aire funcionan a base de un gran consumo de energía eléctrica, por lo que consideramos que el uso de esta tecnología resultaría de gran ayuda para disminuir el consumo de energéticos de origen fósil.

Actualmente un equipo de aire acondicionado por compresión de 18,000 BTU/hr consume una potencia cercana a los 1272 Kwh, lo que representa costos muy altos en el consumo de energía eléctrica, principalmente en ciudades ubicadas en el norte del país, donde se llegan a facturar bimestralmente recibos de energía eléctrica en verano de \$3,000 tan solo por el uso de estos equipos.

Con un equipo de absorción y alimentado con energía solar térmica como el que presentamos, se pueden ahorrar dos terceras partes del consumo de energía eléctrica, y como consecuencia, lograríamos reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, un tema de gran interés actualmente.

Con lo manifestado anteriormente, podemos observar que este sistema podría ser una solución en el ahorro de energía, principalmente para las casas – habitación en regiones al norte y al sur del país, donde encontramos una radiación global diaria promedio anual de 500 y 400 (cal/cm²*día) respectivamente.

Sabemos que actualmente los sistemas de absorción en industrias trabajan con la mezcla amoníaco – agua, conocemos que el amoníaco es altamente tóxico, mismo que lo hace muy peligroso para utilizarlo en un sistema que se pretende colocar en casas – habitación donde muchas veces no se tienen los cuidados adecuados de una instalación así como una cultura de mantenimiento, ya que si se llegara a presentarse una fuga podría ser mortal. Mismo motivo por el cual se escogió trabajar con la mezcla agua – bromuro de litio para el sistema de absorción.

Nuestro sistema de aire acondicionado solar es apenas el primer prototipo de este proyecto de ahorro de energía, aun así se logró encontrar la configuración adecuada para los intercambiadores de calor que lo conforman, lamentablemente aun tiene el inconveniente de que sus dimensiones son demasiado grandes, por lo que se pretende para prototipos subsecuentes reducir el tamaño de los intercambiadores.

Un aspecto no menos importante es la vida útil de este tipo de sistemas que utilizan el principio de absorción para refrigerar un espacio, que a diferencia de un sistema de refrigeración por compresión que tiene una vida útil de 10 años, un sistema de absorción tiene una vida útil de 20 años.

El tema del armado no estaría completo sin mencionar el costo del mismo, este primer prototipo del equipo de absorción tuvo un costo aproximado a los \$30,000. Este aspecto nos llevo a la conclusión de que con un sistema como el que proponemos podríamos buscar apoyo gubernamental, de la C.F.E: por dar un ejemplo o de la iniciativa privada para instalar este equipo a cualquier propietario de un sistema mini-split.

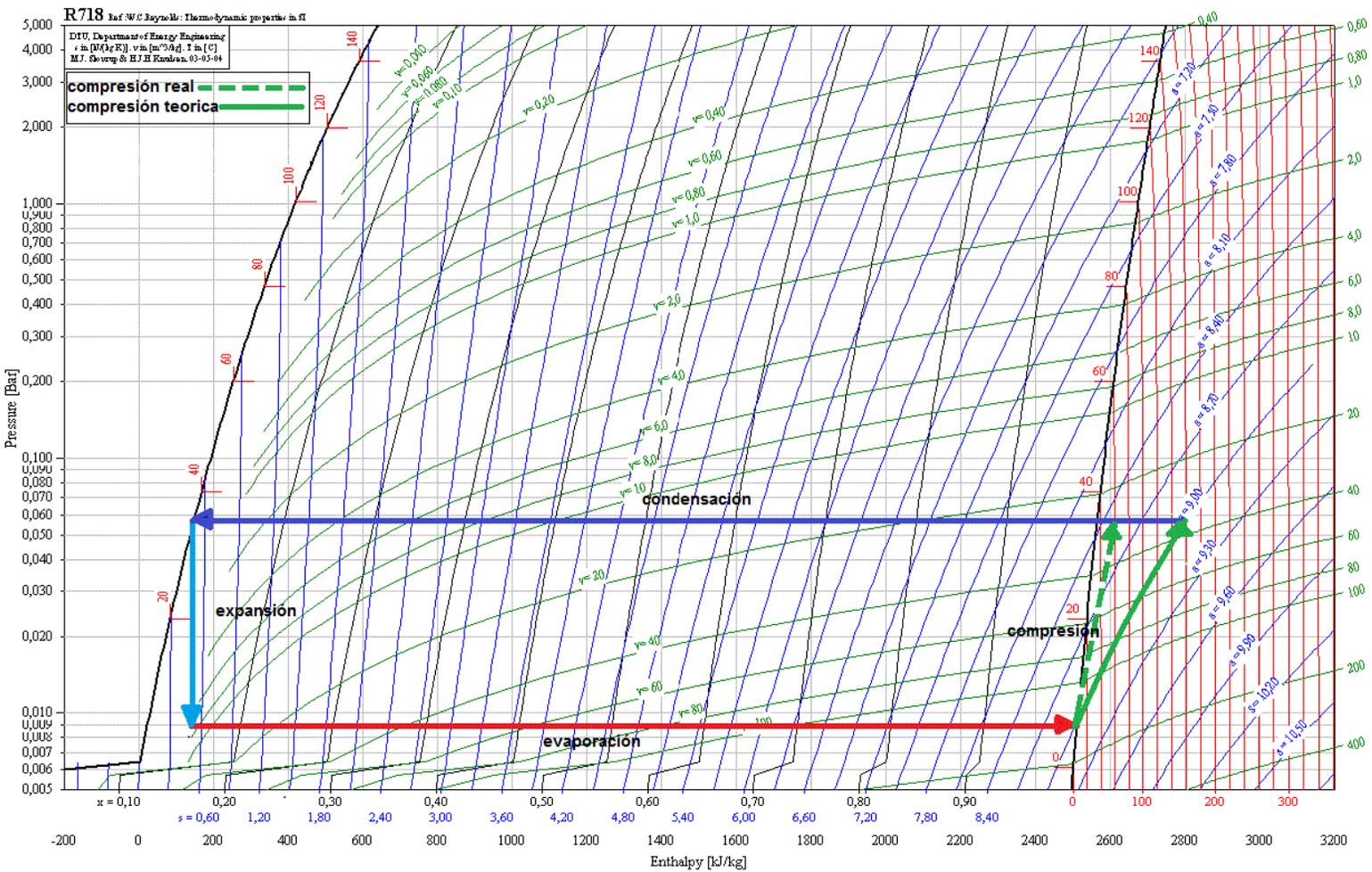
Por tal motivo consideramos que se debería enfatizar el apoyo al desarrollo de proyectos que se basen en el uso de energías renovables porque como sabemos el uso de este tipo de tecnología demanda de una fuerte inversión de recursos económicos lo que en muchos casos frena el desarrollo e investigación en este tipo de proyectos.

Porque proyectos como este, que ya cuenta con el apoyo de la Universidad, lo único que necesitan es de una importante difusión para seguir con su desarrollo e investigación para que estas innovaciones no se queden en un laboratorio. Lo siguiente seria implementar el uso de este sistema en todos los lugares donde se use aire acondicionado en la facultad, por dar un ejemplo.

Pero consideramos que la experiencia más importante que nos brindo trabajar en este proyecto es que toma en cuenta lo que en la actualidad es quizá uno de los temas con mayor importancia a nivel mundial, “Las energías renovables”

Estamos convencidos que el uso de las energías renovables cada vez se vuelven mas indispensables, hoy en día talvez a muchos les parezca que el uso de este tipo de energías como fuente principal en la producción de energía sea aun un tema lejano pero cada día crece mas el interés por el uso y desarrollo de este tipo de energía.

Anexo 1. Comportamiento del refrigerante R-718 dentro de nuestro sistema de absorción (Diagrama Mollier).



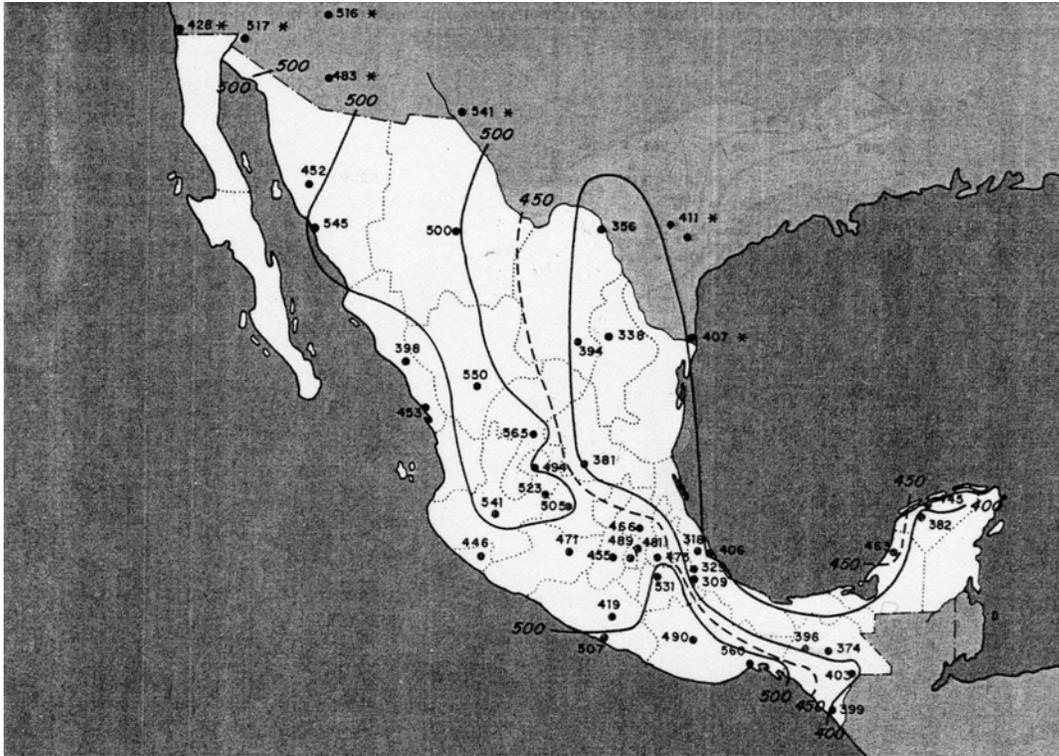


Figura A1.3 Radiación global diaria promedio en el mes de marzo ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{día}$)

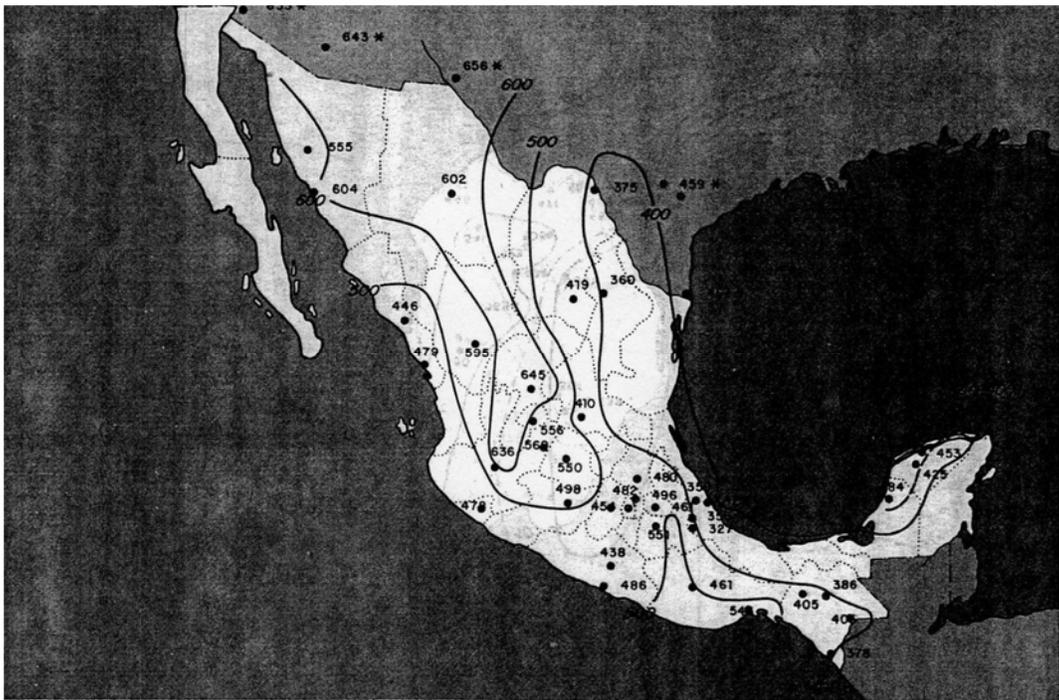


Figura A1.4 Radiación global diaria promedio en el mes de abril ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{día}$)

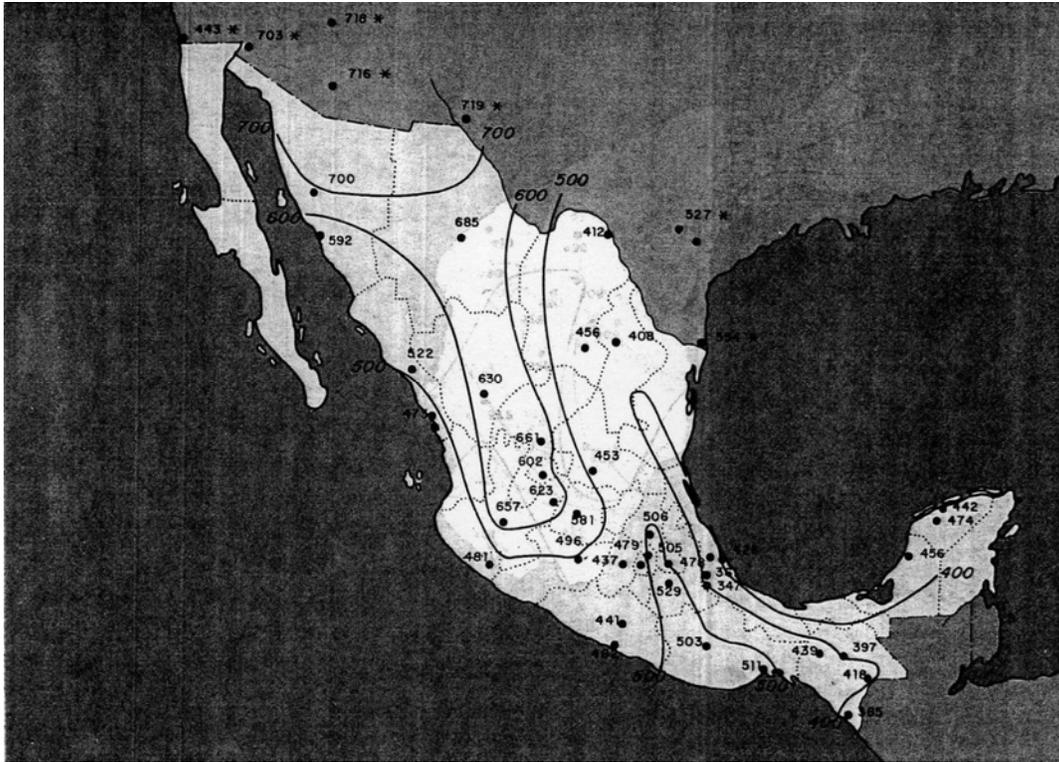


Figura A1.5 Radiación global diaria promedio en el mes de mayo (cal/cm²*día)

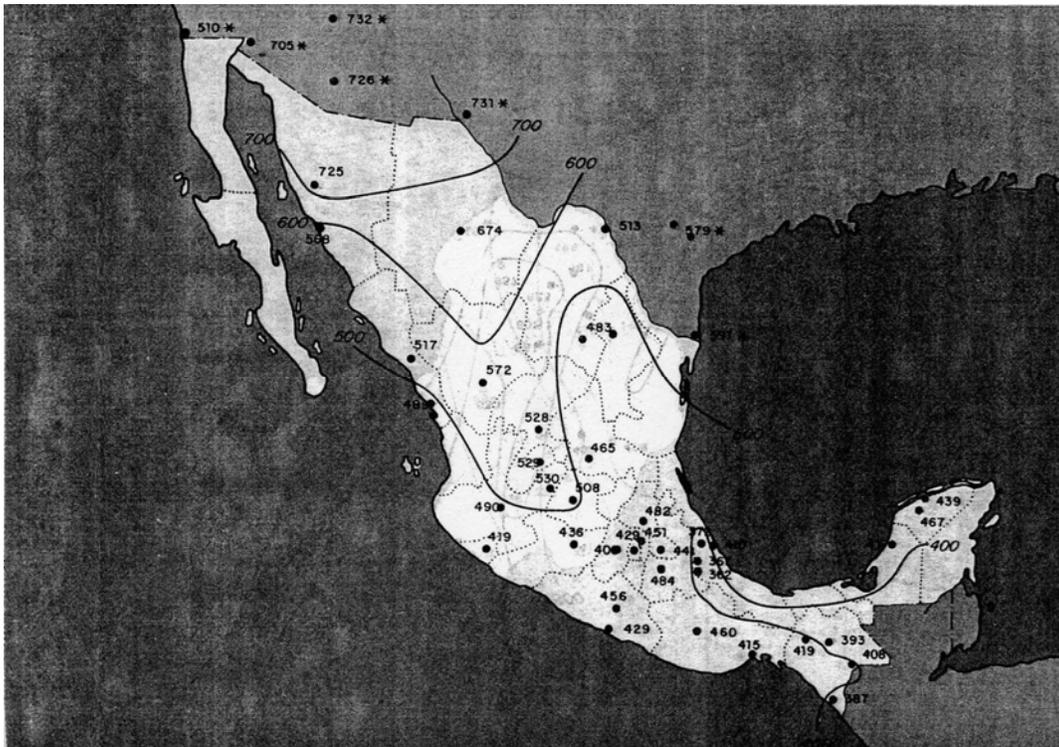


Figura A1.6 Radiación global diaria promedio en el mes de junio (cal/cm²*día)

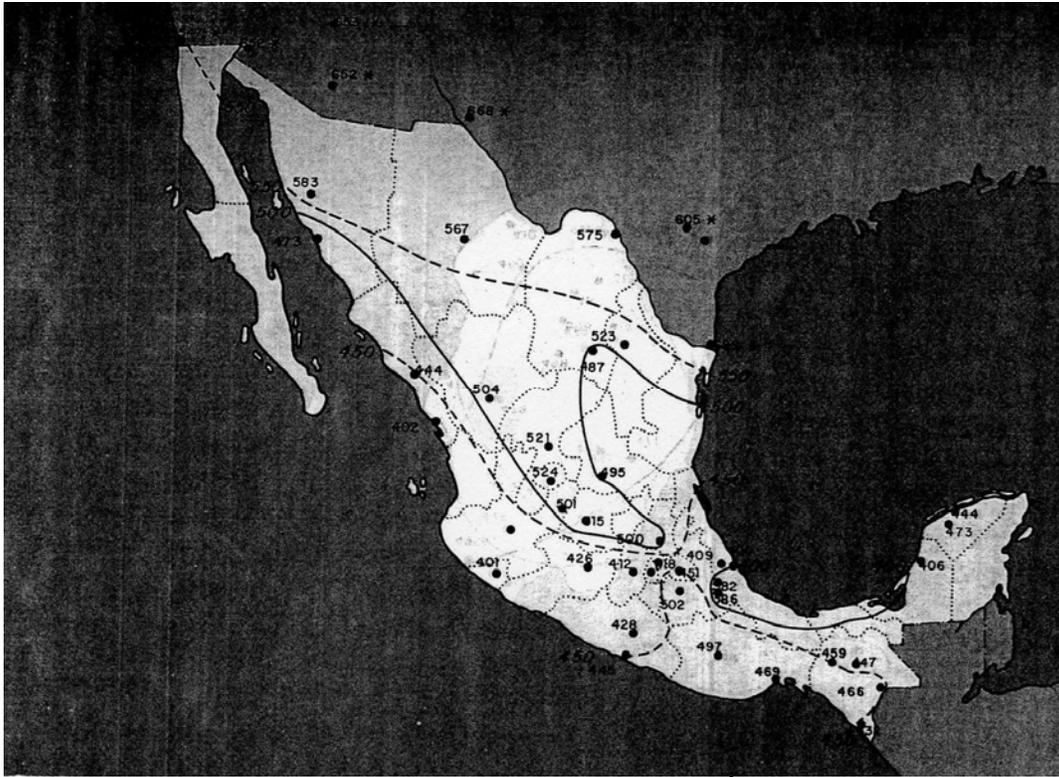


Figura A1.7 Radiación global diaria promedio en el mes de julio ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{día}$)

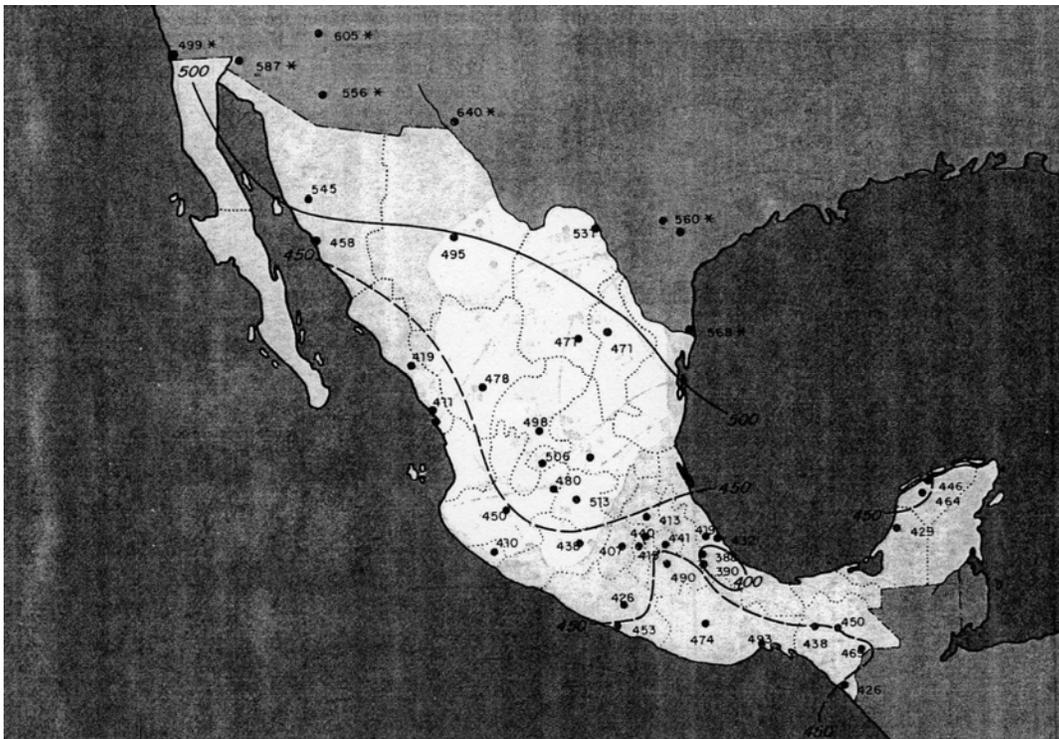


Figura A1.8 Radiación global diaria promedio en el mes de agosto ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{día}$)

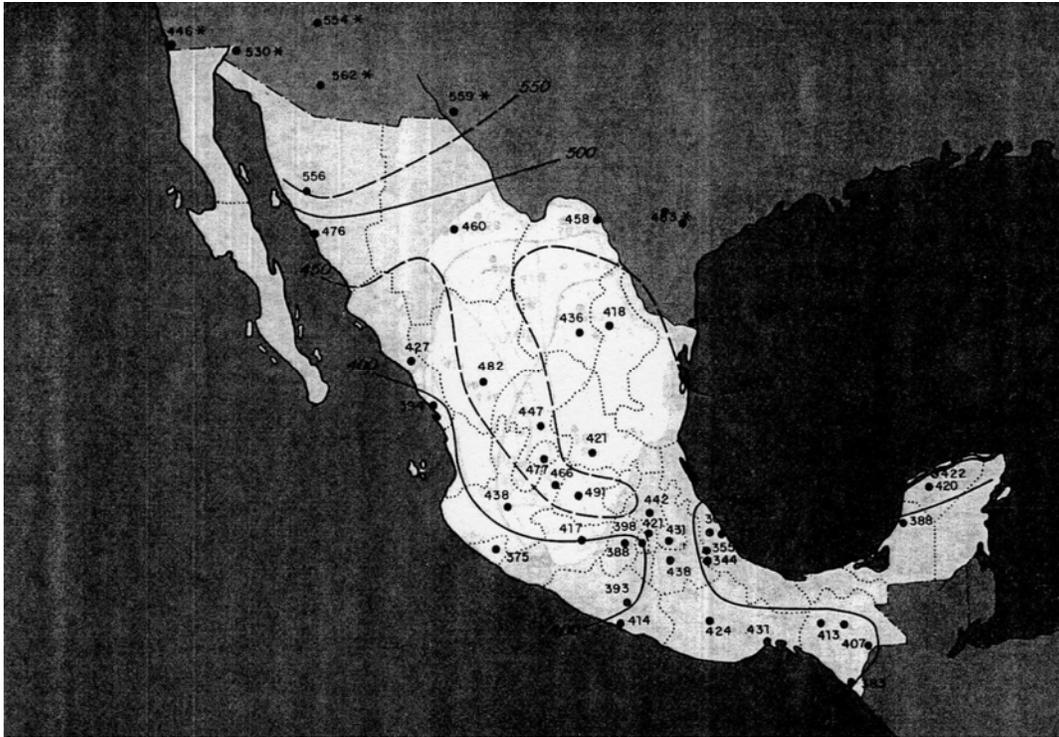


Figura A1.9 Radiación global diaria promedio en el mes de septiembre (cal/cm²*día)

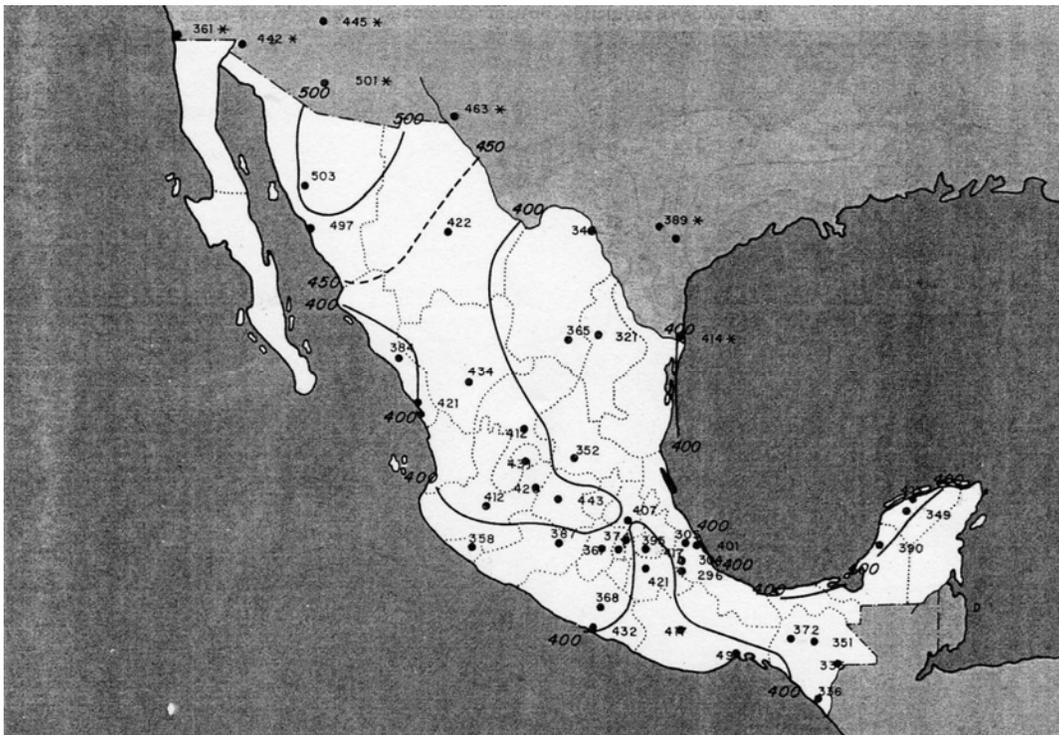


Figura A1.10 Radiación global diaria promedio en el mes de octubre (cal/cm²*día)

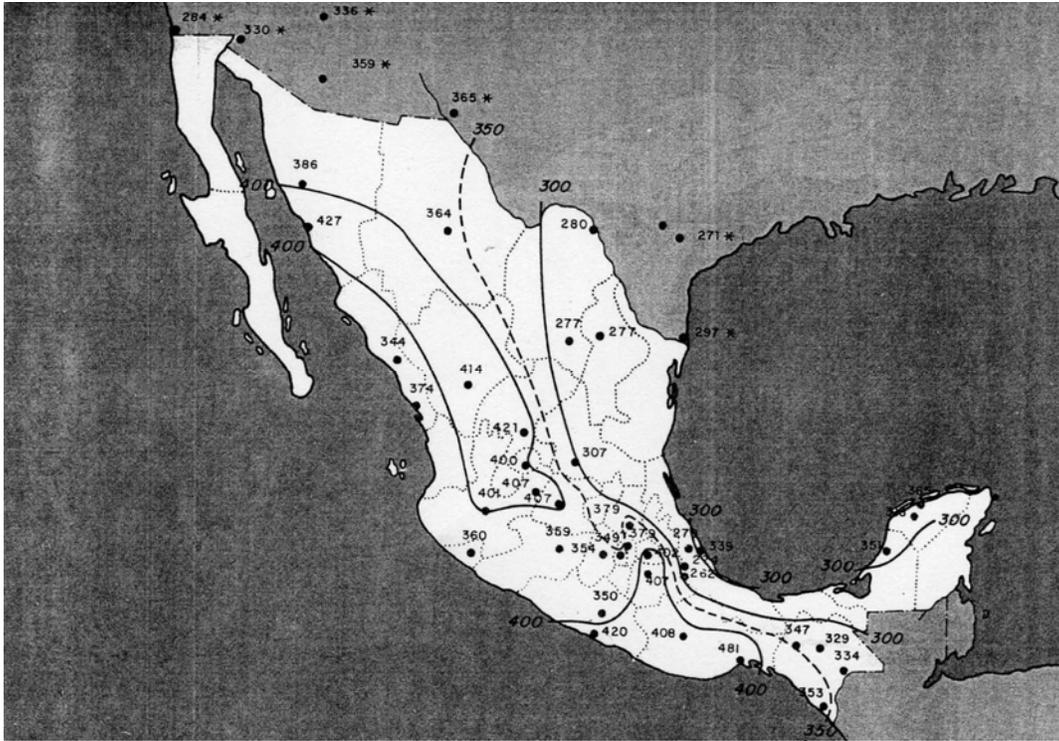


Figura A1.11 Radiación global diaria promedio en el mes de noviembre (cal/cm²*día)

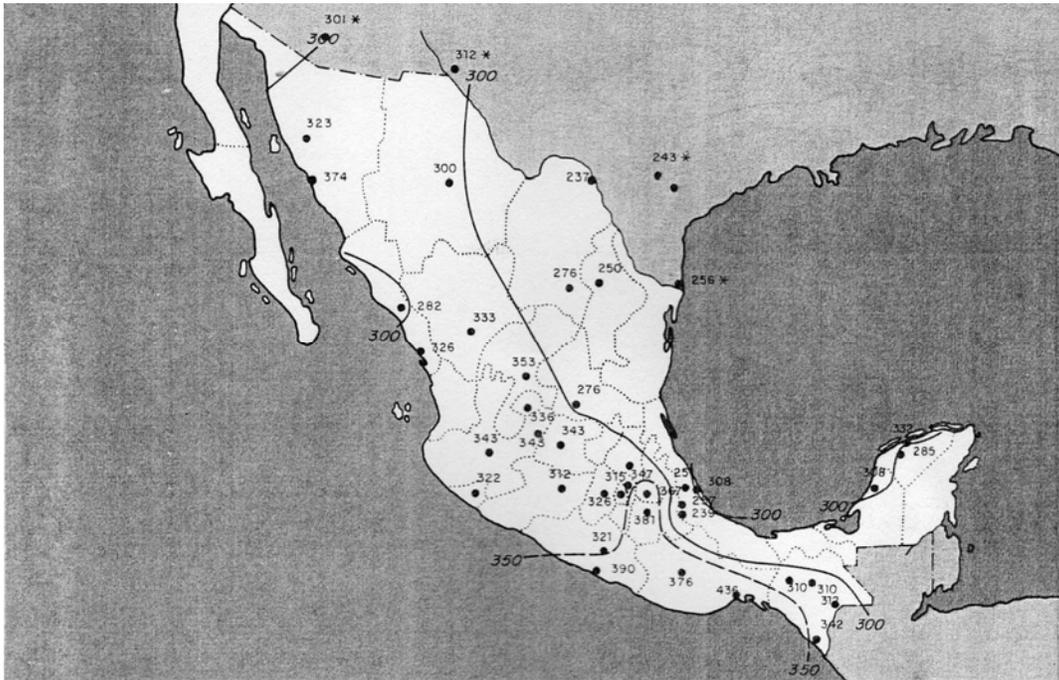


Figura A1.12 Radiación global diaria promedio en el mes de diciembre (cal/cm²*día)

Anexo 3. Fotografías: proceso de armado del equipo ASS.















Glosario:

Acondicionamiento de Aire: Es un proceso en donde la temperatura, contenido de humedad, la calidad y el movimiento de aire dentro de un espacio son controlados. El término calidad de aire significa su limpieza y sus condiciones de pureza.

Absorción: Fenómeno natural en el cual la sustancia absorbida entra en la red cristalina del material absorbente. La absorción emplea una reacción química para capturar el vapor.

Adsorción: Es un fenómeno natural en el cual átomos o moléculas de una sustancia se concentran en la superficie de la otra. La adsorción emplea la atracción física entre el vapor de una sustancia y los lugares activos de la superficie adsorbente.

Adsorbente: Sustancia, generalmente sólida, con una gran capacidad de adsorción. Usualmente suele tener estructura porosa.

Aspiración: Inducción de aire dentro de la corriente primaria de aire.

Azeotropos: Mezclas refrigerantes que tienen los mismos puntos máximo y mínimo de ebullición. A estas mezclas se les llama azeotrópicas.

Bomba de Calor: Es una máquina térmica que permite transferir energía en forma de calor de un foco a otro según se requiera. Para lograr esta acción, es necesario un aporte de trabajo dado que por la segunda ley de la termodinámica, el calor se dirige de manera espontánea de un foco caliente a otro frío, y no al revés, hasta que sus temperaturas se igualan.

Bulbo Húmedo: Se le coloca un trozo de algodón en la punta del termómetro del bulbo seco. Para obtener una lectura de bulbo húmedo, el trozo de algodón debe mojarse y tener una cantidad suficiente de aire que pase por él.

Bulbo Seco: Se refiere a un termómetro normal.

BTU: (British Thermal Unit) Unidad térmica requerida para elevar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit.

Calor: Energía producida por la vibración acelerada de las moléculas, que se manifiesta elevando la temperatura y dilatando los cuerpos.

Calor de Sorción: Es la cantidad de energía cedida cuando se produce la sorción, indica la fortaleza de la unión entre el sorbato y sorbente.

Calor Latente: (Calor Oculto) Es el calor que, sin afectar a la temperatura, es necesario adicionar o sustraer a una sustancia para el cambio de su estado físico. Específicamente en psicrometría, el calor latente de fusión del hielo es 79.92 Kcal/Kg.

Calor Latente de Condensación: Es el calor que se utiliza para cambiar de vapor a estado líquido.

Calor Latente de Evaporación: Es el calor que se utiliza para cambiar de líquido a vapor.

Calor Latente de Fusión: Es el calor que se utiliza para cambiar de sólido a líquido o de líquido a sólido.

Calor Específico: Cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de una libra de una sustancia un grado Fahrenheit. El calor específico del agua es 1.

Calor Sensible: Es el calor empleado en la variación de temperatura de una sustancia cuando se le agrega o sustrae calor. En otras palabras, es el calor que ocasiona un cambio de temperatura. Y que puede ser medido con un termómetro.

Calor Total: Suma del calor sensible y el calor latente.

Caloría: Es la cantidad de calor que tenemos que añadir a 1Kg de agua a 15°C de temperatura para aumentar esta temperatura en 1°C. Es equivalente a 4 BTU.

Cambio De Estado: Es el cambio en las propiedades físicas de una sustancia debido a la adición o sustracción de calor latente.

Cavitación: Condición gaseosa localizada, que se origina dentro de la corriente de un líquido.

Ciclo Termodinámico: Cualquier serie de procesos termodinámicos tales que, al transcurso de todos ellos, el sistema regrese a su estado inicial; es decir, que la variación de las magnitudes termodinámicas propias del sistema sea nula.

Coefficiente de Rendimiento: Relación del trabajo realizado en comparación de la energía empleada. Se calcula dividiendo la capacidad térmica total entre la entrada eléctrica total.

Colector Plano: Es un dispositivo que convierte la irradiancia solar en energía térmica, siendo estos los conversores fototérmicos o termoconvertidores.

Colector Parabólico: Colector solar curvo con lentes que concentran los rayos solares en un punto focal.

Colector Rastreador: Un colector de energía solar que constantemente se pone a sí mismo en posición perpendicular a los rayos del sol, conforme éste gira.

Columna de Agua: La presión estática ejercida por una columna de agua sobre una pulgada cuadrada.

Combustible: Sustancia susceptible o capaz de encenderse y quemarse.

Combustibles Fósiles: Recursos naturales que se usan como combustible, tales como el carbón, petróleo y gas.

Compresor: Dispositivo que bombea o cambia el vapor refrigerante de baja presión a alta presión.

Compresor Semihermético: Un juego de motor y compresor impulsado directamente que puede ser desarmado y recibir mantenimiento en campo.

Condensado: Humedad extraída del aire que pasa a través del serpentín evaporador, en forma de fluido.

Condensador: Parte de un mecanismo de refrigeración que convierte vapor refrigerante en líquido.

Conducción: Es el flujo de calor a través de una sustancia de una partícula a otra partícula adyacente dentro del mismo material, un ejemplo sería la conducción de calor a través de una barra de metal cuando se calienta uno de sus extremos.

Convección: Es la transmisión de calor debido a la circulación de un líquido o un gas tal como el aire. El movimiento puede ser debido a cambios de densidad originados por el cambio de temperatura en cuyo caso se llama convección natural. Si la circulación es producida por un ventilador o una bomba, la transmisión de calor es por convección forzada.

Depresión Del Termómetro Húmedo O Diferencia Psicrométrica: Es la diferencia de temperatura entre el termómetro seco y el termómetro húmedo.

Deshumidificación: Proceso de remoción de la humedad del aire.

Delta T: (ΔT) Diferencia de temperatura entre el medio y la temperatura de condensación del refrigerante.

Desecante: Agente secador empleado para remover la humedad del refrigerante mediante la adsorción del agua hasta que su presión de vapor iguale la presión de vapor del sistema.

Desorción: Es la separación entre sorbato y sorbente. Cuando esta ha sido completada se dice que el sorbente ha sido regenerado y posee las mismas propiedades que al principio del ciclo.

Diagrama Presión-Entalpía: Diagrama que grafica propiedades del refrigerante, tales como la presión, el calor y la temperatura. También se conoce como **Diagrama de Mollier**.

Ducto: Conducto que lleva el aire desde la unidad de ventilación del evaporador hasta el espacio acondicionado.

Energía Térmica: La Energía térmica se debe al movimiento de las partículas que constituyen la materia. Un cuerpo a baja temperatura tendrá menos energía térmica que otro que esté a mayor temperatura.

Entalpía o Calor Total: Es una cantidad que indica el contenido de calor de la mezcla de aire y vapor de agua, por encima de 0°C. Se expresa en Kcal por Kilogramo de aire seco.

Entropía: Medida del desorden de un sistema físico, y por tanto de su proximidad al equilibrio térmico.

Estratificación: La disposición en capas horizontales que adoptan los fluidos producida por diferencia de temperaturas.

Evaporador: Parte de un mecanismo de refrigeración que evapora el refrigerante y absorbe el calor.

Extractor: Dispositivo ajustable para dirigir una porción de aire desde el ducto de alimentación hasta una rama secundaria.

Factor U: El recíproco del factor resistente del aislamiento.

Frío: Por definición este término no existe. Es simplemente una sensación de falta de calor.

Frigoría: Es la cantidad de calor que tenemos que sustraer a 1Kg de agua a 15°C de temperatura para disminuir esta temperatura en 1°C. Es equivalente a 4 BTU.

Herméticamente Sellado: Términos que describen un sistema de refrigeración que tiene un compresor impulsado por un motor totalmente encerrado en una carcasa, gabinete o alojamiento sellado.

Humedad: Condición relativa a la cantidad porcentual de agua contenida en el aire.

Humedad Absoluta: (densidad del vapor) Es el peso del vapor de agua por unidad de volumen de aire, expresada en gramos por metro cúbico de aire

Humedad Específica: Es el peso del vapor de agua por unidad de peso de aire seco, expresada en gramos por kilogramo de aire seco. El aire atmosférico contiene cierta cantidad de humedad pero su capacidad no es ilimitada. Cuando contiene el máximo posible, se dice que está saturado y constituye la humedad específica de saturación.

Humedad Relativa: Es la relación de la presión de vapor de agua en el aire a la presión del vapor saturado a la misma temperatura.

Humidificador: Dispositivo empleado para agregar y controlar la cantidad de humedad de aire.

Índice Solar: Número de 1 al 100 que indica el porcentaje de agua casera caliente que podría haber sido suministrada ese día por un sistema solar típico para agua caliente.

Junta o Unión Movable: Junta o unión de tubería que se hace con un codo de 90° y un codo macho y hembra de servicio.

Leyes Termodinámicas: Los principios de refrigeración se basan en dos leyes termodinámicas: 1) El calor siempre se transmite del cuerpo caliente al frío. Nunca viaje del objeto más frío al más caliente. 2) El calor es una forma de energía y la energía no puede destruirse; únicamente puede transformarse.

Maquina Térmica: Es aquella que utiliza el resultante de un determinado proceso de alteración de la temperatura para aumentar la cantidad energética de un fluido. Será, luego, precisamente, el aumento en la energía de dicho fluido, lo que dé, a modo de resultado, una determinada cantidad de energía mecánica.

Medio: (Médium) Sustancia para transferir calor. Agua, aire y salmuera se usan como medios condensadores.

Movimiento Del Aire: Este efecto del aire sobre el cuerpo humano incrementa la proporción de humedad y calor disipados respecto a lo que correspondería a un aire en reposo, eso da lugar a que la sensación de calor o de frío llegue a experimentar alguna variación.

Muro o Pared Expuesta: Muro o pared que tiene un lado en el área acondicionada y el otro a la intemperie o dando a un área no acondicionada.

Oscilación de Temperatura: El cambio de temperatura en interiores, en grados, en relación con el cambio de grados de la temperatura en el exterior en un día determinado.

Pérdida Total de Presión: Perdida por fricción en los ductos que debe vencer el ventilador para proporcionar el volumen de aire requerido para el espacio acondicionado.

Pies Cúbicos por Minuto: (pcm) El área libre en pies cuadrados por la velocidad de avance.

Pies de Carga: Diferencia de presión entre la presión de succión de la bomba y la presión de descarga de la bomba. Hay 2.31 pies de carga por cada PSI.

Pies por Minuto: Medida de velocidad de una corriente de aire.

Presión Absoluta: Es la presión indicada en un manómetro más la presión atmosférica.

Presión Barométrica: Es la fuerza ó peso ejercido por la atmósfera. La presión barométrica nominal es de 29.92 pulg. de Hg. ó 14.7 PSI.

Presión Crítica: La presión de vapor a la temperatura crítica.

Presión del Lado de Alta: Presión de condensación.

Presión de Velocidad: Fuerza en el aire que lo mueve hacia delante en un ducto.

Presión Estática: Fuerza hacia fuera del aire dentro de un tubo, ducto o recipiente.

Presión Saturada: Presión de evaporación que corresponde a la temperatura ambiente.

Presión Total: Suma de la presión de velocidad y la presión estática, expresada en pulgadas de agua.

Presión De Vacío: Es la medición de una presión menor que la atmosférica ó que la presión barométrica y se expresa comúnmente en pulgadas de Hg.

Proceso Adiabático: Cualquier proceso termodinámico que tenga lugar en un sistema sin intercambio de calor con el medio que lo rodea.

Proceso Isotérmico: Cualquier proceso a temperatura constante, tal como la compresión o la expansión de un gas, que va acompañado por la adición o remoción de calor en una proporción y velocidad tales que son exactamente suficientes para mantener un temperatura constante.

Psicrometría: Es la ciencia que estudia las propiedades físicas del aire atmosférico. Dicho aire está constituido por una mezcla de aire seco y vapor de agua. El aire seco es una mezcla de varios gases, siendo la composición general la siguiente:

Nitrógeno	77%
Oxígeno	22%
Anhídrido carbónico y otros gases	1%

Cuando la presión atmosférica permanece constante, el aire tiene la capacidad de retener una cantidad variable de vapor de agua en relación a la temperatura del aire. A menor temperatura, menor cantidad de vapor y a mayor temperatura, mayor será la cantidad de vapor de agua.

Psicrómetro: Instrumento utilizado para medir la humedad relativa del aire atmosférico.

Punto de Balance: Punto en el cual la capacidad de la bomba de calor iguala la pérdida de calor de la estructura.

Pureza Del Aire: El acondicionamiento de aire dentro de un recinto implica la dilución de los olores humanos, este punto exige de una gran ventilación dentro del recinto a acondicionar, Así mismo se debe tener presente la eliminación de las partículas sólidas suspendidas en el aire introducido en dicho recinto, esto es un punto importante a tomar en cuenta no solo por lo que concierne en el ámbito de la salud, sino también involucra aspectos de confort, ya que un recinto en estas condiciones implicaría un ambiente molesto y sucio para una persona.

Purga: Soltar el aire comprimido a la atmósfera.

Radiación: Es la transmisión de calor a través del espacio de un material a otro estando este último a una temperatura más baja que el primero. Los rayos solares son un ejemplo de calor radiante. Es de notarse que el calor radiante no calienta directamente el aire sino solamente a los otros materiales donde incide. Debido a esto se dice que el aire es diatérmico.

Radiación Nocturna: Pérdida de energía por radiación al cielo nocturno.

Refrigeración: Consiste en reducir y mantener en un espacio delimitado a una temperatura más baja que la del ambiente inmediato. Uno de los medios más obvios para enfriar un cuerpo, es ponerlo en contacto físico directo con un cuerpo de menor temperatura, llamado agente refrigerante, ya que la energía térmica se trasmite desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.

Registro: Combinación de rejillas y compuerta de tiro ensamblados.

Rendimiento Mecánico: Relación entre el trabajo útil obtenido y el trabajo consumido.

Rendimiento Térmico: Relación entre la potencia efectiva y la potencia térmica del combustible.

Salto Térmico: Es toda diferencia de temperaturas. Se suele emplear para definir la diferencia entre la temperatura del aire de entrada a un acondicionador y la salida del mismo y también para definir la diferencia entre la temperatura del aire en el exterior y la del interior.

Sistema de Bromuro de Litio: Utiliza agua como refrigerante y bromuro de litio como absorbedor.

Sistema Pasivo: Sistema de transferencia directa de energía en el que el flujo de ésta se produce a través de medios naturales.

Sobrecalentamiento: Es el calor en un vapor arriba del calor contenido en las condiciones de saturación. El sobrecalentamiento aumenta la temperatura de un vapor y se mide en grados sobre la temperatura de saturación, o bien, es la intensidad de calor medible, mayor que la temperatura de evaporación del líquido, pero a la misma presión existente.

Soldadura Capilar: Esta basada en el fenómeno físico de la capilaridad. La capilaridad es una propiedad física de los líquidos por la que estos puede avanzar a través de un canal minúsculo (desde unos milímetros hasta micras de tamaño) siempre y cuando el líquido se encuentre en contacto con ambas paredes de este canal y estas paredes se encuentren suficientemente juntas.

Solutos: Componente de una disolución que se encuentra en menor proporción, de modo que puede disolverse en otro componente que es mayoritario.

Solvente: Sustancia usualmente líquida capaz de disolver una o más sustancias.

Sorción: Es la avidez que muestran las sustancias, sólidas o líquidas, por el vapor de agua.

Sumidero de Calor: Es un lugar donde se acumula el calor al no existir un mecanismo conveniente de disipación.

Sumidero Térmico: Espacio con aire líquido al que se transfiere calor desalojado del hogar o casa. En una bomba de calor, el aire que rodea el hogar o la casa se usa como sumidero térmico durante el ciclo de enfriamiento.

Tanque Recibidor: Previsión contra un exceso de refrigerante durante las demandas de carga-pico y el bombeo descendente.

Temperatura: Es la intensidad ó nivel al cual el calor puede ser medido.

Temperatura Absoluta: (°R) Es la temperatura en grados Fahrenheit más 460°, ó en otras palabras el 0 absoluto menos 460 °F. Teóricamente en este punto hay una ausencia total de energía.

Temperatura Ambiente: La temperatura que rodea a un objeto por todos lados.

Temperatura De Bulbo Húmedo: Es la temperatura indicada por un termómetro, cuyo deposito está envuelto con una gasa o algodón empapados en agua, expuesto a los efectos de una corriente de aire intensa; es la temperatura a la cual la evaporación del agua abate la temperatura del aire.

Temperatura de Bulbo Seco: La temperatura del aire indicada por un termómetro ordinario.

Temperatura Crítica: La temperatura más elevada a la que un refrigerante puede permanecer en estado líquido.

Temperatura de Punto de Rocío: Temperatura a la que el vapor, con humedad del 100%, comienza a condensarse como líquido.

Temperatura Media: Temperatura promedio para un día dado.

Temperatura De Saturación: Es la temperatura de ebullición de un líquido. Para un vapor representa la temperatura más baja posible sin que se presente el proceso de condensación.

Termodinámica: Física de la relación entre el calor, que es la forma mas baja de energía, y las otras formas de energía.

Termosifón: Circulación natural de un gas o líquido que ocurre cuando se calienta. El material caliente, más ligero, se eleva, mientras que el material más frío desciende. Eventualmente, el material caliente llega hasta el tope superior.

Tiro: Distancia que viaja la corriente de aire desde la salida hasta la velocidad terminal.

Tonelada De Refrigeración: Es el calor equivalente para fundir 2000 libras de hielo a 32 °F en 24 Hrs. Es equivalente a 288 000 BTU/día, 12 000 BTU/hr y 200 BTU/min.

Toxicidad: Grado en que algo es venenoso o tóxico.

Transferencia De Calor: Es el movimiento de una cantidad de calor de un lugar a otro ó sea flujo de calor.

Tiro de agua: La presión de aire de 0.01 pulgadas a 0.03 pulgadas (2.49 a 7.47 KPa) de una columna de agua llevada sobre la flama.

Tubo Capilar: Tipo de dispositivo para control de refrigerante que produce una caída deliberada de presión por medio de la reducción del área de la sección transversal del flujo.

Tubo Pitot: Dispositivo para medir la presión total, la presión estática y la presión de velocidad dentro de un ducto.

Unidad de Absorción: Un sistema que sustituye a un compresor por un absorbedor y un generador.

Válvula Automática de Expansión: Dispositivo de control de refrigeración operado por el lado de baja presión del sistema. Permite que permanezca la línea a una presión constante del lado de baja mientras está trabajando el compresor.

Válvula King: Válvula colocada en la salida del tanque recibidor. La válvula de servicio de recibidores de líquidos.

Vapor Halógeno: Vapor químico emitido por refrigerantes halogenados, tales como los freones.

Válvula Termostática de Expansión: Un control preciso de refrigerante que controla el flujo hacia el evaporador en la producción exacta para la velocidad de evaporación.

Viscosidad: Medida de la calidad con que se fluye. Un aceite de alta viscosidad es grueso y de vaciado lento.

Zona De Confort: Son unas condiciones dadas de temperatura y humedad relativa bajo las que se encuentran confortables la mayor parte de los seres humanos. Estas condiciones oscilan entre los 22°C y los 27°C (71-80°F) de temperatura y el 40 al 60 por ciento de humedad relativa.

Bibliografía:

LIBROS:

Academia Hütte de Berlín, (1978), *Manual del Ingeniero*, (28° Edición), Gustavo Gili S.A., Barcelona.

Burghardt, M. David., (1984), *Ingeniería termodinámica*, (2° Edición), Harla, México.

Carless, J., (1995), *Energía renovable*, EDAMEX, México.

Carrier Corporation. Carrier Air Conditioning Company, (1987), *Manual de aire acondicionado*, McGraw-Hill, Barcelona

Faires, V. M., (1982), *Termodinámica*, (2° Edición), Limusa, México.

Fraas, A. P., (1989), *Heat Exchanger Design*, (2° Edición), Wiley, E.U.A.

Havrella Raymond, A., (1988), *Fundamentos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire*, McGraw-Hill, México.

Hernández Goribar, E., (1973), *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*, Limusa, México.

Horwitz, H., (1990), *Soldadura: Aplicaciones y práctica*, Alfaomega, México.

Ibáñez Plana, M.; Rosell Polo, J. R.; Rosell Urrutia, J. I., (2005), *Tecnología Solar*, Mundi-Prensa, Madrid.

Jennings Burgess, H., (1970), *Aire acondicionado y refrigeración*, Continental, México.

Manrique, José A., (1984), *Energía solar: Fundamentos y aplicaciones fototérmicas*, Harla, México.

Pilatowsky Figueroa, I.; Best y Brown, R.; García Valladares, O.; Rivera Gómez Franco, W.; Hernández Gutiérrez, J. I., (2008), *Curso de Actualización, Refrigeración Solar*, ANES, México.

Planchard, D. C.; Planchard, M. P., (2007), *Solid Works 2007 tutorial*, Schroff Development Corporation, EUA.

Stoecker, W F., (1965), *Refrigeración y acondicionamiento de aire*, McGraw-Hill, New York.

Tajadura Zapirain, J. A., (2006), *AutoCAD 2006/2007 avanzado*, McGraw-Hill, México.

Artículos:

Franco Martínez, D., (2007), “Avances del proyecto de investigación AAS: aire acondicionado solar para aplicarse en la FES Aragón” en *Memoria de Artículos técnicos de la XXXI Semana Nacional de Energía Solar*, ANES, México.