



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

“AIRE ACONDICIONADO VEGETAL”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO
P R E S E N T A

MOLINA RODEA RICARDO

ASESOR: M. en I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ



ESTADO DE MEXICO

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por darme la gracia de vivir hasta este instante de poder terminar una carrera universitaria, por las pruebas que me puso a lo largo del camino y las cuales de cierta manera me ayudo a superar.

A mis padres, Ricardo Molina Jiménez y María Guadalupe Rodea Vidal, por todas las enseñanzas a lo largo de estos 24 años, por su paciencia, por haberme educado de la manera en la que lo hicieron espero que esto sea el resultado que ustedes esperaban, se que sin su apoyo no hubiera logrado cumplir con esta meta tan importante en mi vida, gracias por compartir su tiempo y cariño con migo.

A mis hermanos, porque a lo largo de mi carrera igualmente me brindaron su apoyo, Rodrigo, Alitzel y Maricela.

A mis abuelitas, a doña Mari porque sé que aunque no es tanto el tiempo compartido a su lado, siempre que la veo me hace reír y disfrutar el momento, a doña Celia que ya no está a mi lado físicamente, pero este en donde este se sentirá orgullosa por este logro.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de ser parte de la universidad más importante de México, por darme las herramientas para que en un futuro próximo logre las metas que me he trazado, por darme la oportunidad de conocer amigos que son como hermanos Rojo, Xavy, Roger y demás con los que viví grandes experiencias a lo largo de estos años de estudios universitarios, por esos viernes que parecían que nunca terminaban, por las tardes en la cancha de futbol o en las barras, y todas los recuerdos que guardare gratamente por el resto de mi vida.

Al ingeniero David Franco Martínez por su apoyo a lo largo de este proyecto, gracias por darle la importancia que le dio y el interés de que llegara a buen puerto.

INDÍCE

INDÍCE	I
INTRODUCCIÓN	II
JUSTIFICACIÓN	III
CAPÍTULO 1 “CONCEPTOS BÁSICOS”	1
1.1. TERMODINÁMICA	1
1.2. LEYES DE LA TERMODINÁMICA	2
1.3. AIRE	4
1.4. ACONDICIONAMIENTO	4
1.5. VAPOR – GAS	5
1.6. HUMEDAD	5
1.7. TEMPERATURA	5
1.8. AIRE SECO - SATURADO	6
1.9. CONFORT HUMANO	6
1.10. CALOR	7
1.11. CARTA PSICROMÉTRICA	9
1.12. TEMPERATURA DE SATURCIÓN ADIABÁTICA	17
1.13. ENTROPIA	18
1.14. GAS IDEAL	18
1.15. LEY DALTON	22
1.16. LEY DEL GAS IDEAL	23
CAPÍTULO 2 “REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO”	27
2.1. REFRIGERACIÓN	27
2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR	27
2.3. CICLO DE CARNOT	32
2.4. CICLO INVERSO DE CARNOT	33
2.5. DIAGRAMA DE MOLLIERE	34
2.6. COMPRESIÓN MECÁNICA	36
2.7. CARGA TÉRMICA	38
2.8. REFRIGERANTE	40
2.9. PROCESO DE REFRIGERACIÓN	43
2.10. COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	44
2.11. AIRE ACONDICIONADO	62
2.12. PROCESOS PSICROMÉTRICOS	63
CAPÍTULO 3 “AIRE ACONDICIONADO VEGETAL”	66
3.1. AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	66
3.2. REFRIGERACIÓN POR EVAPORACION	67
3.3. FUNCIONAMIENTO	69
3.4. CASO PRÁCTICO	70
3.5. AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO	81
CONCLUSIONES	84
ANEXOS	85
BIBLIOGRAFÍA	89

INTRODUCCION: En los últimos años se ha visto un aumento de la temperatura media de la tierra, a mediados del siglo XIX se registraban 15°C, mientras que en la primera década de este siglo se presentaban 17°C, lo que refleja en un aumento de 2°C. Este cambio se vio favorecido por el suceso histórico llamado revolución industrial así como las consecuentes innovaciones en las máquinas que utilizamos cotidianamente desde aquellos años hasta hoy.

Desafortunadamente no siempre se ha innovado pensando en el cambio climático, ya que este fenómeno se está haciendo más presente hasta nuestros días. Actualmente la humanidad ha comenzado a preocuparse cada vez más por el cambio climático, esto debido al exceso de uso de energía para tareas que se realizan diariamente y la baja eficiencia de las máquinas que utilizamos, como es bien sabido mucha de la energía que se podría aprovechar es disipada en forma de calor al medio ambiente.

Sonaría un poco contradictorio decir que si el humano tiene la sensación de “calor” calentaría el ambiente a su alrededor para sentirse más fresco, pero eso es lo que sucede con los sistemas de aire acondicionado habituales ya que el condensador emite el calor que absorbe de la habitación hacia el medio ambiente.

Esto ha contribuido al calentamiento global ya que en lugares donde antiguamente se tenían temperaturas adecuadas para el confort humano, se han visto afectadas y lugares donde antes no se necesitaban de aparatos que ayudaran a controlar la temperatura hoy en día se requiere de ellos para climatizar.

Es por eso que el ahorro de energía se ha vuelto un tema de importancia mundial buscando maneras más eficientes en el aprovechamiento de la energía y a un menor costo.

Por tal motivo se pretende dar un enfoque de lo que es el aire acondicionado, incluyéndose el proceso de refrigeración y contrastándolo con un sistema de ahorro de energía que tiene por nombre aire acondicionado vegetal, así como mencionar los beneficios que este tipo de climatización en comparación al convencional

JUSTIFICACIÓN: En la actualidad los equipos de aire acondicionado tradicionales generan un consumo elevado de energía eléctrica, lo que conlleva a un aumento en la facturación de empresas y casas habitación, que muchas veces no es posible sobrellevar para quienes llevan la administración, pero que se convierte en algo necesario tanto para el confort de las personas en las casas, gimnasios o centros de entretenimiento, incluso para aumentar la eficiencia de los trabajadores que va de la mano con el desarrollo económico de las empresas.

En la naturaleza quien tiene la tarea de controlar la temperatura de los ecosistemas es la vegetación, la plantas regulan la temperatura y humedad del aire, esto se ve a diferentes latitudes de nuestro planeta, mientras en las zonas desérticas las plantas deshumidifican el aire y existe relativamente un calentamiento sensible, en las zonas tropicales la humedad aumenta y si se combina esto con la evaporación tendríamos un enfriamiento sensible.

Es por eso que el desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito del aire acondicionado vegetal se vuelve el tema de este trabajo, se propondrá el diseño de un sistema de aire acondicionado vegetal para una habitación y se comparará con un sistema de aire acondicionado tradicional tanto en el costo como en el ahorro de energía y en la estética de instalación.

CAPÍTULO I: “CONCEPTOS BASICOS”

En este capítulo se hablará de los conceptos básicos que se usarán en el presente proyecto, para el estudio de esta materia es necesario el conocimiento de ciertas bases que son afines a este tema, la principal es la termodinámica.

1.1 **TERMODINÁMICA:** Es una ciencia derivada de la física que va a estudiar los cambios de energía en forma de calor y capacidad de ésta para realizar trabajo; analiza los efectos a nivel macroscópico de modificaciones en la temperatura, presión, densidad, masa y volumen de la materia.

1.1.2 **PRESIÓN:** Es una magnitud física que mide la cantidad de fuerza perpendicular que es ejercida sobre una unidad de superficie. La presión de un gas la produce el impacto de un gran número de moléculas del gas sobre la superficie considerada, la cual es medida por un manómetro cuando la presión es mayor que la atmosférica o vacuómetros cuando es menor. Por lo tanto una presión absoluta será la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica. Está expresada en Pascales, mmHg, atmosferas y libras sobre pulgada cuadrada.

$$P_{ab} = P_a + P_m \quad (1)$$

Donde:

P_{ab} = presión absoluta (Pa)

P_a = presión atmosférica

P_m = presión manométrica

1.1.3 **MASA:** Es la cantidad absoluta de materia en el cuerpo, es medida en gramos o libras, y debe considerarse que existe una gran diferencia entre masa y peso que es una magnitud vectorial que representa fuerza.

1.1.4 **VOLUMEN:** Es una magnitud física escalar y representa una extensión en tres dimensiones de una región en el espacio. Es derivada de la longitud y por lo tanto sus unidades son el metro cúbico y el litro.

1.1.5 **DENSIDAD:** Es una magnitud física escalar y en un cuerpo la densidad es la masa del cuerpo por unidad de volumen, sus unidades se relacionan de la masa y volumen según la relación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Donde:

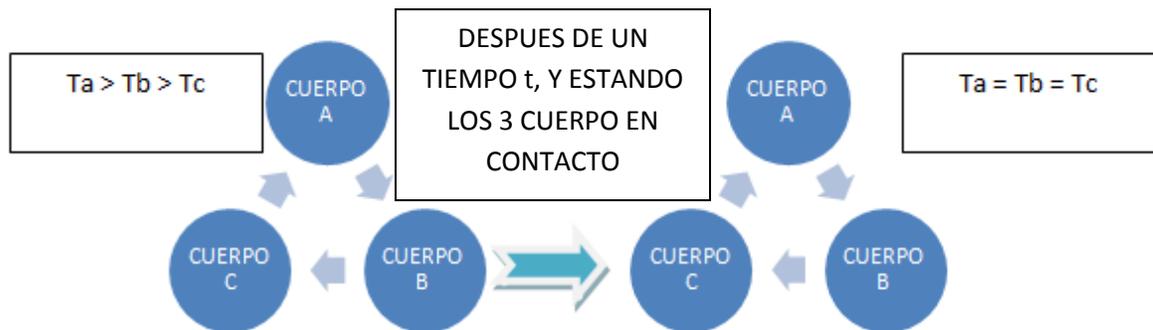
ρ = densidad (kg / m³)

m = masa (kg)

V = volumen (m³)

1.2 La termodinámica esta postulada en tres leyes naturales las cuales rigen en la naturaleza:

1.2.1 **LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA:** Esta ley nos habla del equilibrio térmico; teniendo un cuerpo **A** con una temperatura **T_a** en contacto con otro cuerpo **B** y temperatura **T_b** a diferentes temperaturas, después de cierto tiempo y poniendo ambos cuerpos en contacto, ambos llegarán a la misma temperatura, es decir que uno de los dos cuerpos cederá energía en forma de calor al otro de menor temperatura, y si después se pone en contacto otro cuerpo **C** con **T_c**, estos tendrán la misma temperatura después de un tiempo y llegarán al equilibrio térmico. Imagen 1.1.



Ilustracion 1.1. Ilustracion de la Ley Cero de la Termodinamica del equilibrio termico.

1.2.2 1°LEY DE LA TERMODINÁMICA: Es la ley de la conservación de la energía, fue postulada por el padre de la termodinámica, Sadi Carnot en la cual dice que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma; explicando que la diferencia de energía interna en un sistema estará dada por las entradas y salidas de energía en forma de calor y trabajo. Dentro de esta fórmula están implicadas todos los tipos de energía que en el sistema intervienen (energía cinética, energía potencial, energía química, energía del fluido etc.); esta explicada con la siguiente fórmula:

$$\Delta U = Q - W \quad (3)$$

Donde:

ΔU = cambio de energía interna del sistema aislado (J, cal)

Q = cantidad de calor aportado al sistema, aunque se debe considerar también las pérdidas de calor

W = trabajo realizado por el sistema y trabajo que entra en el sistema

1.2.3 2° LEY DE LA TERMODINÁMICA: Fue enunciada por dos científicos, Rudolf Clasius “no es posible ningún proceso cuyo único resultado sea la extracción de calor de un recipiente a una cierta temperatura y la absorción de una cantidad igual de calor por un recipiente a temperatura más elevada” explicando que el calor fluye del foco de alta temperatura al de baja temperatura, de manera natural e irreversible. Otra explicación es la de Lord Kelvin “es imposible construir una máquina térmica que operando en un ciclo, no produzca otro efecto que la absorción de energía desde un depósito, con la realización de una cantidad igual de trabajo” explicando que en los procesos termodinámicos tendremos “pérdidas” de energía, las cuales no podremos aprovechar al convertir la energía en otra lo que se conoce como la entropía. Imagen 1.2.

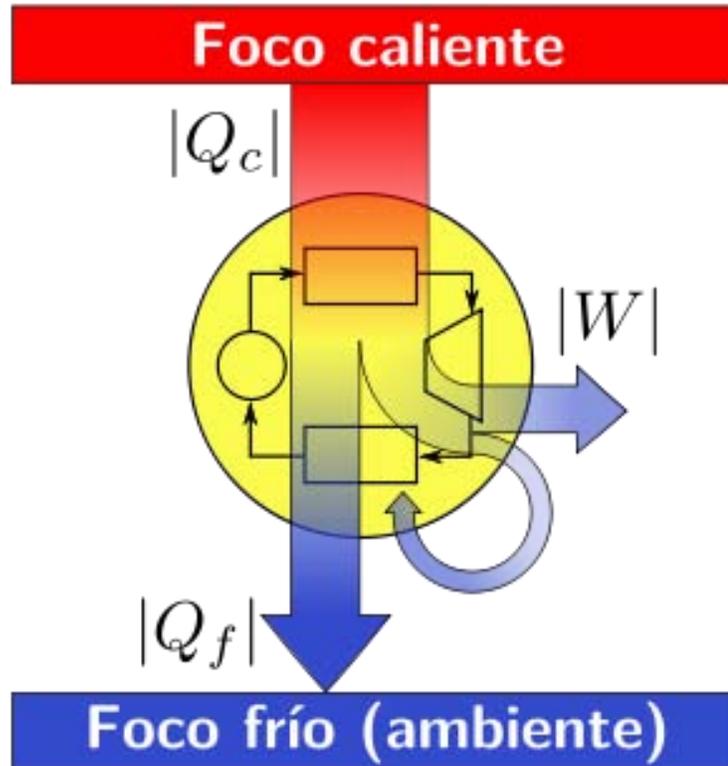


Ilustración 1.2. Explicando la entropía y la dirección del flujo de calor de manera natural

Después de ver las bases en las cuales está fundamentado el proyecto, se iniciará con algo que parece tan sencillo y que es parte de lo que da tema a este trabajo, el aire.

1.3 **AIRE:** Se trata de una mezcla de vapor de agua y aire seco, dependiendo de la cantidad de vapor de agua en esta mezcla se tiene un porcentaje de humedad, el estudio de esta mezcla se puede realizar en una carta psicrométrica.

La segunda parte es relacionada a la preparación de este aire para poder usarlo en los diferentes fines que se necesite, desde el confort humano hasta condiciones especiales para maquinaria.

1.4 **ACONDICIONAMIENTO:** En nuestra materia, al acondicionar hablamos de preparar un espacio para que este tenga condiciones especiales para en ellos realizar cierto tipo de actividades, puede ser por comodidad para personas o por necesidades de equipos que requieren condiciones especiales, todo esto se hace manipulando condiciones de temperatura y humedad.

Se ha hablado que existe una mezcla de aire seco y vapor de agua, pero ¿por qué utilizar la palabra vapor y no gas?

1.5 VAPOR – GAS: La diferencia que se encuentra entre el gas y el vapor es la facilidad con la que estos pueden cambiar de fase líquida a gaseosa o viceversa, mientras el vapor se encuentra cerca de la línea de saturación, es decir su cambio de fase resulta relativamente fácil, el gas está más lejos de esta línea, por lo tanto su cambio de fase será aún más difícil, o lo que es lo mismo, necesitaremos más energía para que un gas esté en fase líquida que un vapor.

Como ya se menciona en el inciso anterior, manipulando ciertas condiciones de temperatura y humedad podemos tener diferentes tipos de aire, pero es conveniente saber a que nos referimos con los conceptos mencionados.

1.6 HUMEDAD: Es la cantidad de agua en estado gaseoso que tenemos presente en el aire atmosférico, en una mezcla con otros componentes, incluyendo contaminantes. La humedad es un factor que nos sirve para evaluar la comodidad de las personas en cierto ambiente, existen diferentes tipos de humedad, pero serán explicados en este mismo capítulo más adelante.

1.7 TEMPERATURA: Es una propiedad de la materia, la cual nos va a indicar la cantidad de movimiento que tienen las moléculas de dicha materia, o lo que es lo mismo, la cantidad de energía interna, a mayor temperatura mayor energía; sus escalas de medición las podemos encontrar en el sistema internacional ($^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{K}$) o en el sistema inglés ($^{\circ}\text{F}$ o $^{\circ}\text{R}$); en el área del aire acondicionado existen diferentes temperaturas como son la de bulbo seco, bulbo húmedo, de rocío, etc., las cuales serán explicadas más adelante dentro de este capítulo.

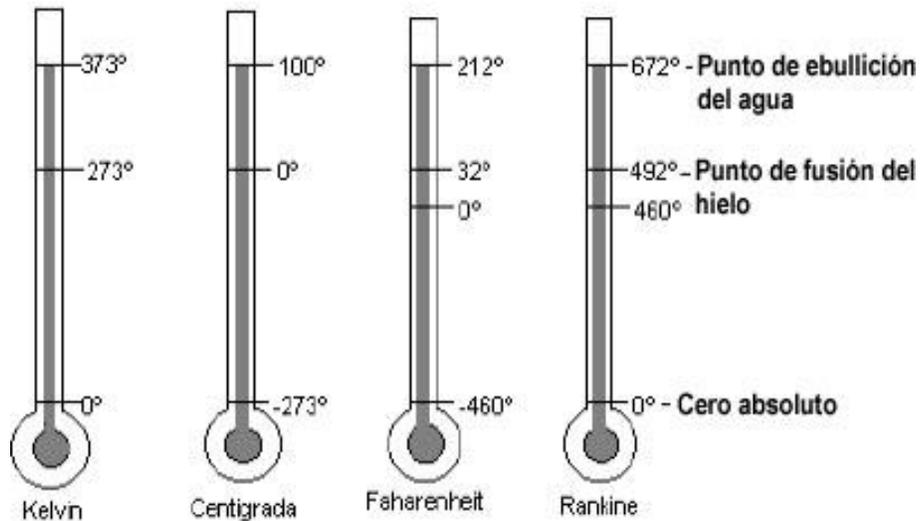


Ilustración 1.3. Ilustración comparando las diferentes escalas de temperatura

1.8 Manipulando estos dos parámetros podemos tener dos diferentes tipos de mezcla de aire, una en donde existe una mayor concentración posible de humedad y otra donde la humedad sea lo menos posible, también se explicarán las medidas de confort para el ser humano y lo que implican los dos parámetros antes explicados.

1.8.1 **AIRE SATURADO:** Es un estado de la mezcla aire seco – vapor de agua donde ya no se puede tener más agua en estado gaseoso y ésta se precipita, condensa o por lo contrario eleva su temperatura y se convierte en aire sobrecalentado, es decir que tenemos al extremo vapor de agua dentro de la mezcla, este tipo de aire es común encontrarlo en zonas tropicales donde las precipitaciones de lluvia son continuas.

1.8.2 **AIRE SECO:** Es la condición contraria al aire saturado, es decir donde la cantidad de vapor de agua que se encuentra en la mezcla es mínimo o nulo, este tipo de aire es común en zonas desérticas donde las lluvias son muy poco comunes.

1.9 **CONFORT HUMANO:** Es un intervalo tanto de humedad como de temperatura en el cual el cuerpo humano siente comodidad para realizar diferentes tipos de actividades, en este intervalo los mecanismos termorreguladores del cuerpo no intervienen cuando se está realizando una actividad sedentaria. Estos intervalos corresponden a una temperatura de bulbo seco entre los 20°C y 25°C y una humedad relativa entre 45% y 55%.

Ahora se hablará de cómo es posible aumentar o disminuir estos parámetros de humedad y temperatura, se necesita energía para ello y se puede encontrar de las siguientes maneras:

1.10 **CALOR:** Es la energía que se transfiere entre dos cuerpos los cuales se encuentran a diferentes temperaturas, ésta energía naturalmente fluirá del cuerpo de alta temperatura al cuerpo de baja temperatura, sus unidades en el sistema internacional de medidas son Joule, calorías y Watt-hora, mientras que en el sistema ingles son BTU (British Thermal Unit) por sus siglas en ingles)

1.10.1 **CALOR LATENTE:** Es la cantidad de energía que requiere la masa de materia para poder cambiar su fase, este cambio de energía no se registra en el termómetro por lo tanto no hay cambio de temperatura y esta dado por la fórmula:

$$Q = m L \tag{4}$$

Donde:

Q = energía en forma de calor (J, cal)

m = masa (kg)

L = calor latente de vaporización o fusión (J / kg)

Tabla 1 Muestra los valores del calor latente de fusión y vaporización de diferentes sustancias

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/kg)
Helio	-269.65	5.23×10^3	-268.93	2.09×10^4
Nitrógeno	-209.97	2.55×10^4	-195.81	2.01×10^5
Oxígeno	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
Alcohol etílico	-114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Agua	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Azufre	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Plomo	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminio	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Plata	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Oro	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Cobre	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

1.10.2 **CALOR ESPECÍFICO:** es la cantidad de energía que requiere la masa de cierta materia para cambiar su temperatura en 1°C sin cambiar su fase, este cambio de energía se puede registrar en el termómetro y se calcula de la siguiente manera:

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (5)$$

Donde:

Q = energía en forma de calor (J, cal)

m = masa (kg)

C_e = calor específico (J / Kg °C)

Tabla 2 Muestra los calores específicos de algunas sustancias a 25°C y presión atmosférica

Sustancia	Calor específico c	
	J/kg · °C	cal/g · °C
Sólidos elementales		
Aluminio	900	0.215
Berilio	1 830	0.436
Cadmio	230	0.055
Cobre	387	0.092 4
Germanio	322	0.077
Oro	129	0.030 8
Hierro	448	0.107
Plomo	128	0.030 5
Silicio	703	0.168
Plata	234	0.056
Otros sólidos		
Latón	380	0.092
Vidrio	837	0.200
Hielo (-5°C)	2 090	0.50
Mármol	860	0.21
Madera	1 700	0.41
Líquidos		
Alcohol (etílico)	2 400	0.58
Mercurio	140	0.033
Agua (15°C)	4 186	1.00
Gas		
Vapor (100°C)	2 010	0.48

Todos estos cambios de temperatura y humedad es conveniente estudiarlos tanto teórica como gráficamente y esto puede hacerse mediante la carta psicrométrica.

1.11 CARTA PSICROMÉTRICA: Es la representación gráfica del comportamiento de la mezcla aire-vapor de agua bajo diferentes condiciones de temperatura, humedad y presión, tiene diferentes parámetros y en ella podemos encontrar básicamente las siguientes cinco propiedades:

- TEMPERATURA DE BULBO SECO
- TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO
- TEMPERATURA DE ROCIO
- HUMEDAD RELATIVA
- HUMEDAD ESPECÍFICA

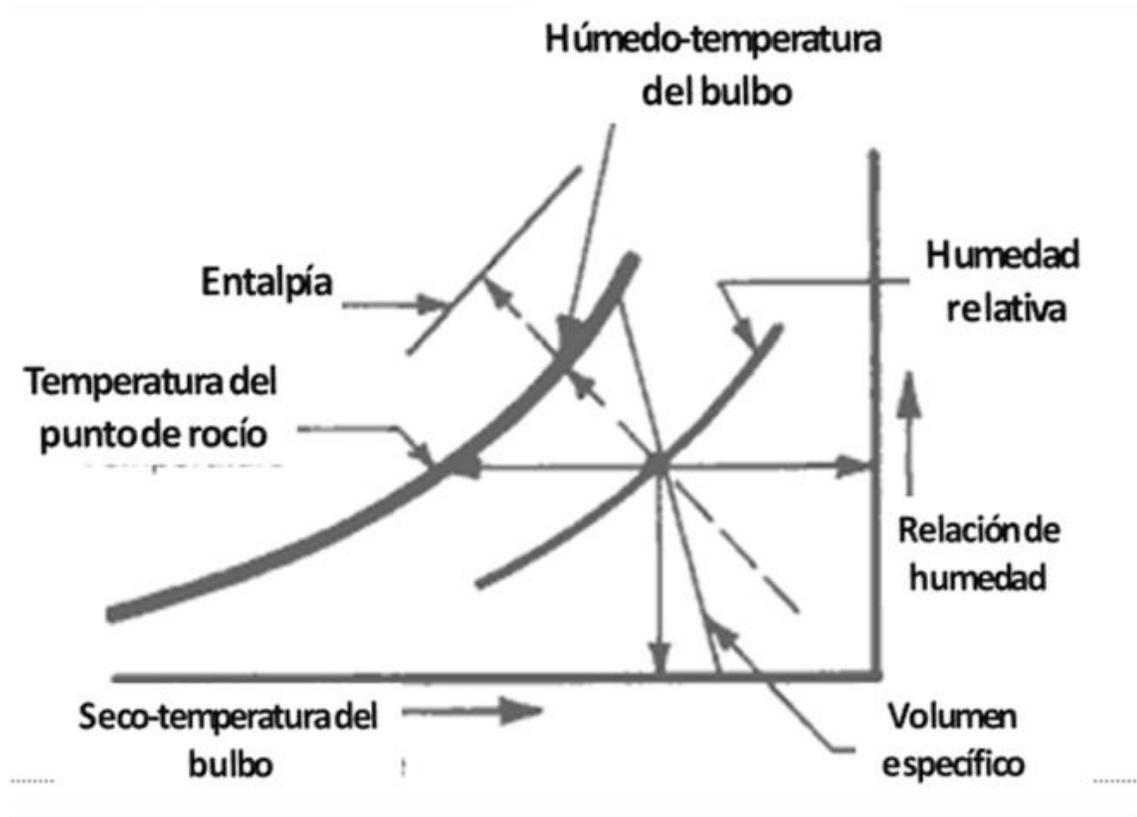


Ilustración 1.4. Ilustración de la carta psicrométrica y las propiedades que se encuentran en ella.

1.11.1 **HUMEDAD ESPECÍFICA:** Es el porcentaje de humedad en el medio ambiente, es dado por la relación entre los kilogramos de vapor entre los kilogramos de aire seco, es representado por una **W** y en la carta psicrométrica está en el eje vertical de la gráfica.

Su variación va a depender de la cantidad de vapor de agua en el ambiente imagen 1.4.1

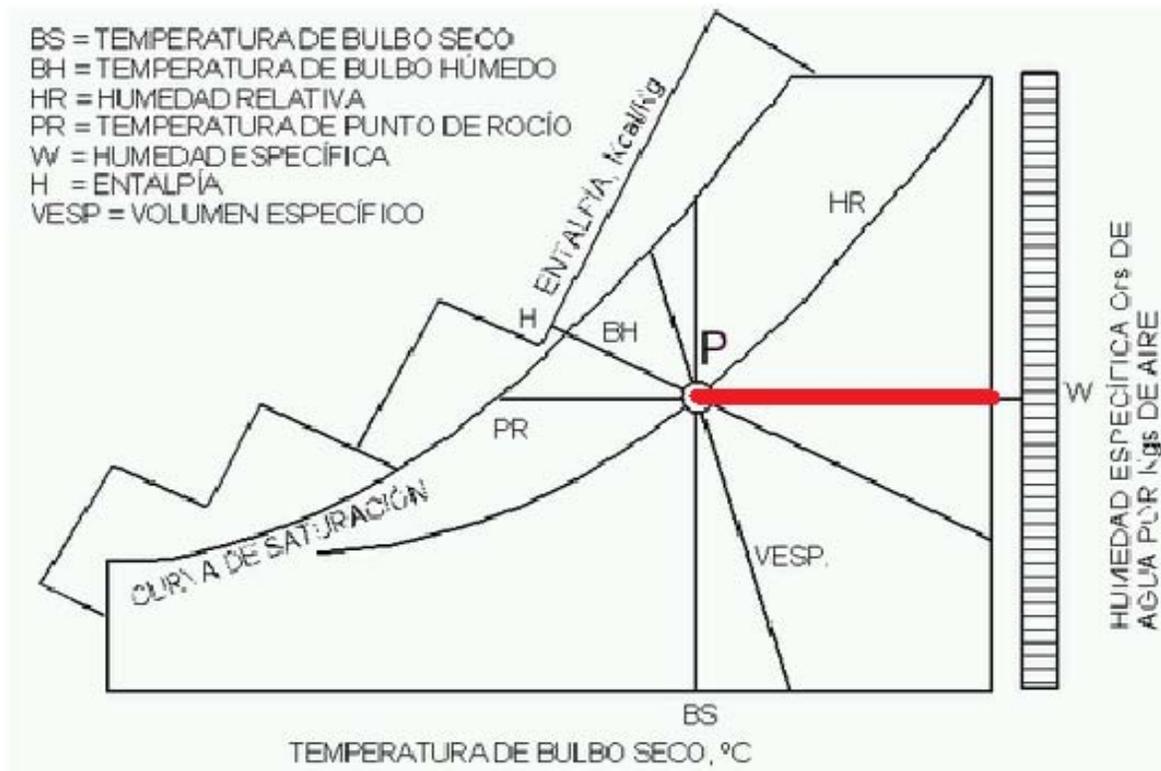


Ilustración 1.4.1. Humedad específica (W)

1.11.2 HUMEDAD RELATIVA: La humedad relativa es una relación, de la presión de vapor entre la presión de saturación a temperatura de bulbo seco dado en cierta estado, es decir la cantidad de agua en el aire entre el total que podría existir si no se condensara la mezcla aire-vapor a la misma temperatura, esta relación se da en porcentajes y se expresa con la letra griega Φ , dentro de la carta psicrométrica son las curvas que van desde el extremo inferior izquierdo hasta el extremo superior derecho.

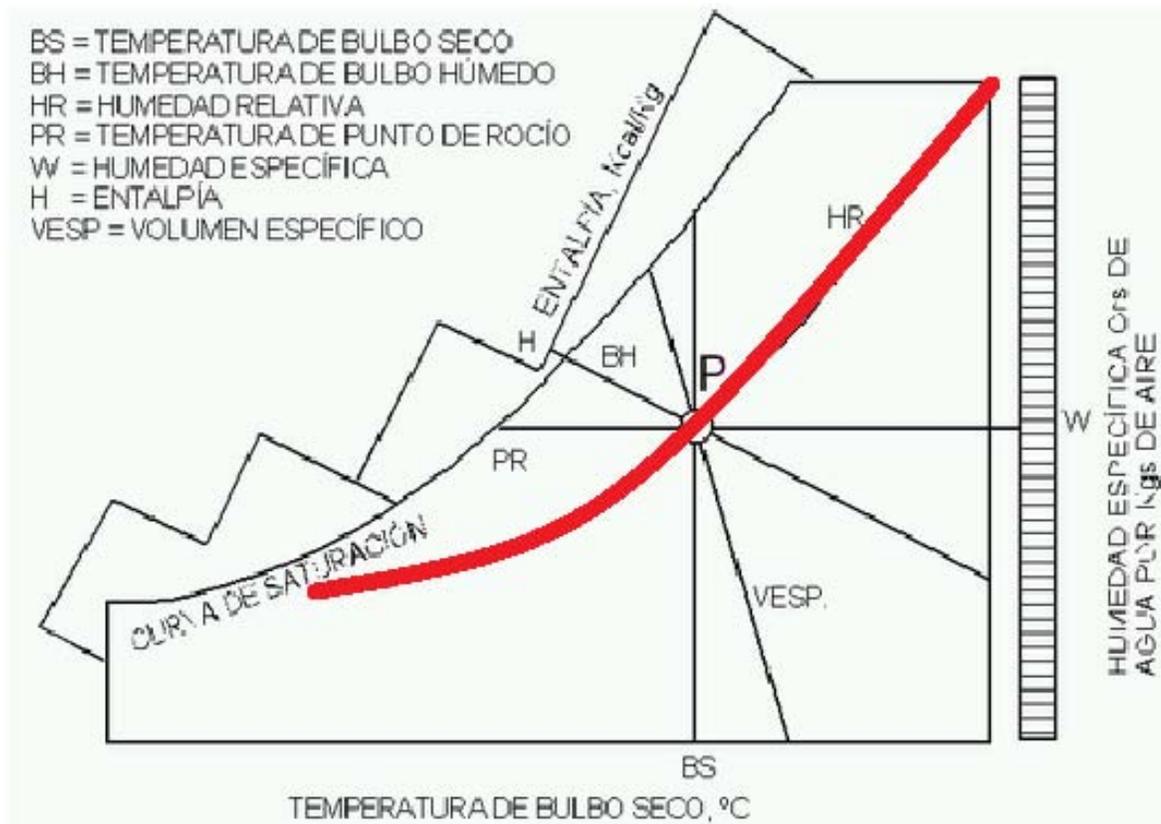


Ilustración 1.4.2. Humedad relativa (Φ)

1.11.3 TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO: Es la temperatura que se toma con un termómetro envolviendo el bulbo en tela húmeda, esta temperatura siempre será menor o igual que la temperatura de bulbo seco y esto se debe a que el aire al pasar por la tela evapora parte del agua que se encuentra en ella y al llegar al bulbo tiene menos energía; sirve de manera indirecta para mostrar la humedad en la mezcla aire-vapor, tiene unidades convencionales de temperatura en °C y se encuentra en la carta psicrométrica en diagonales paralelas a la entalpía desde el extremo superior izquierdo al extremo inferior derecho.

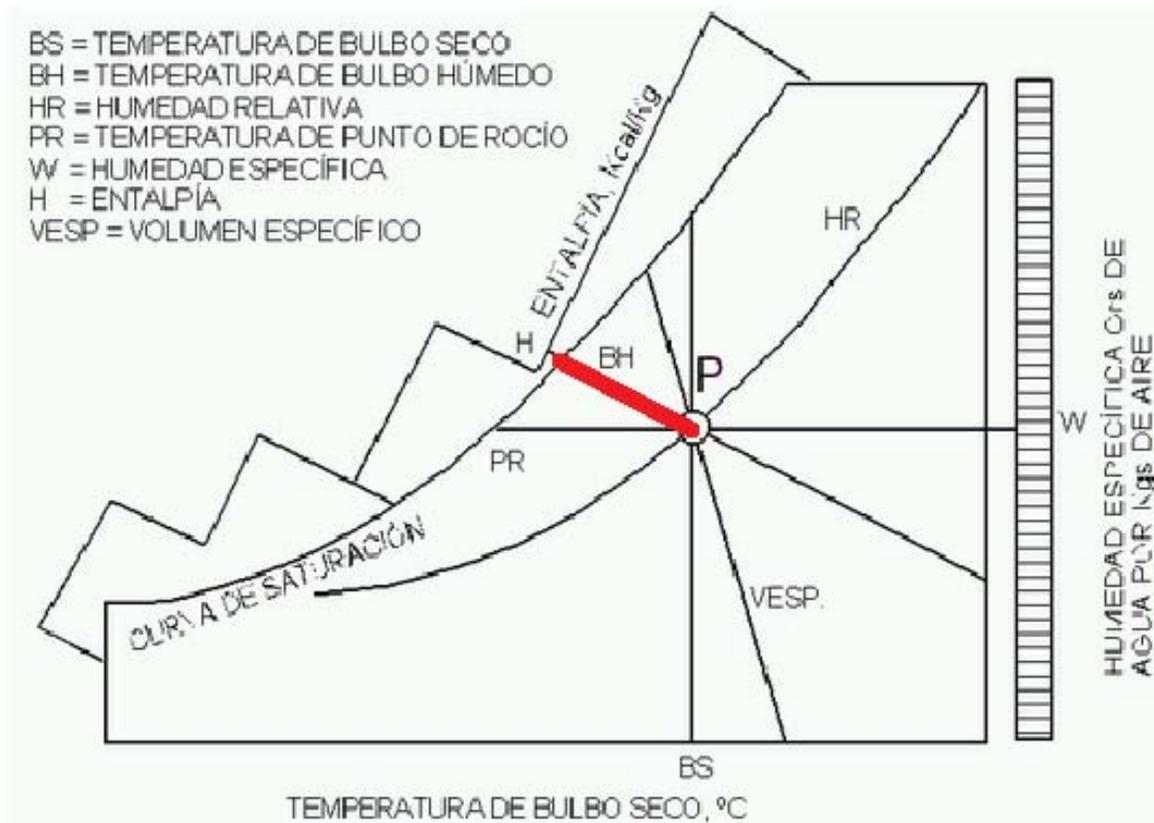


Ilustración 1.4.3. Temperatura de bulbo húmedo

1.11.4 TEMPERATURA BULBO SECO: esta temperatura se toma con un termómetro ordinario y mide la energía cinética de las moléculas que están en el aire y su calor sensible, sus unidades son de °C en el sistema internacional de medidas o °F en el sistema inglés, se encuentra en el eje horizontal inferior dentro del diagrama. Con la variación de esta temperatura tendremos procesos de calentamiento y enfriamiento sensible que serán explicados más adelante.

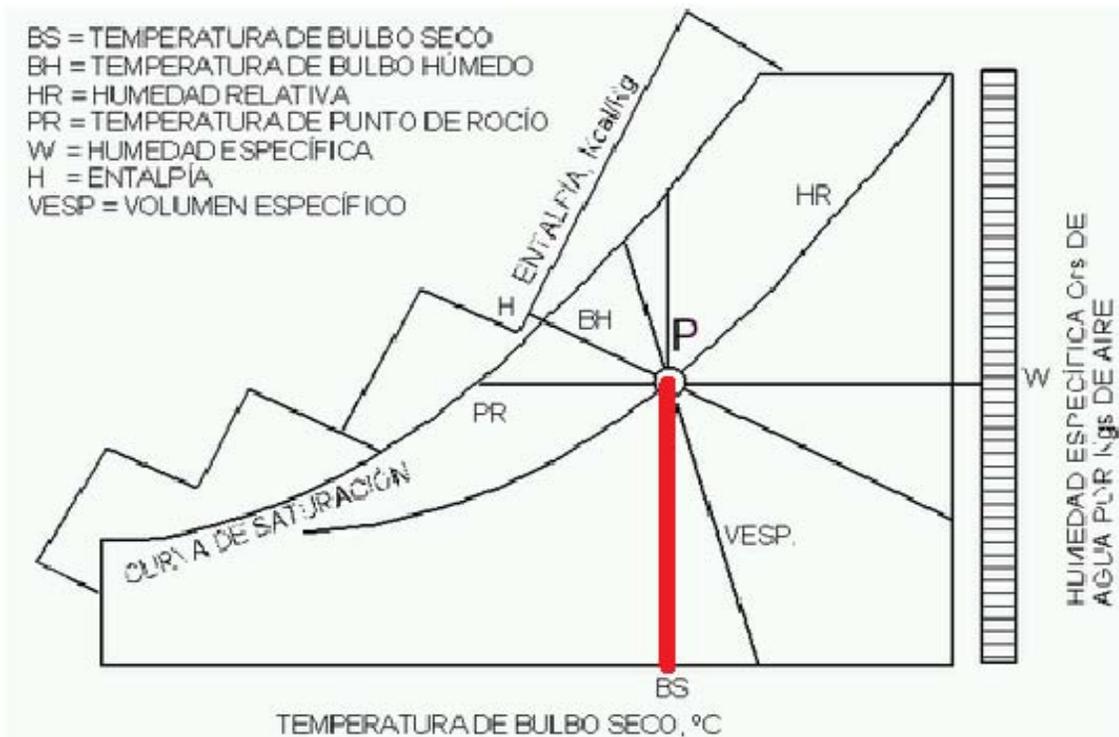


Ilustración 1.4.4. Temperatura de bulbo seco

1.11.5 TEMPERATURA DE PUNTO ROCÍO: Esta temperatura nos indica cuando el agua comienza a condensarse si el aire atmosférico se enfriara pero a presión constante, la encontramos en la carta psicrométrica trazando una línea recta hacia la línea de saturación y de ahí hacia abajo donde se encuentran las temperaturas, por lo tanto la temperatura de punto de rocío siempre será menor que la de saturación adiabática y esta será menor que la temperatura de bulbo seco, al igual que la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco se representa con °C en el sistema internacional de medidas o °F en el sistema inglés; dentro de la carta psicrométrica se traza partiendo de la línea de saturación al 100% de manera horizontal hasta el punto del estado de la mezcla aire-vapor de agua.

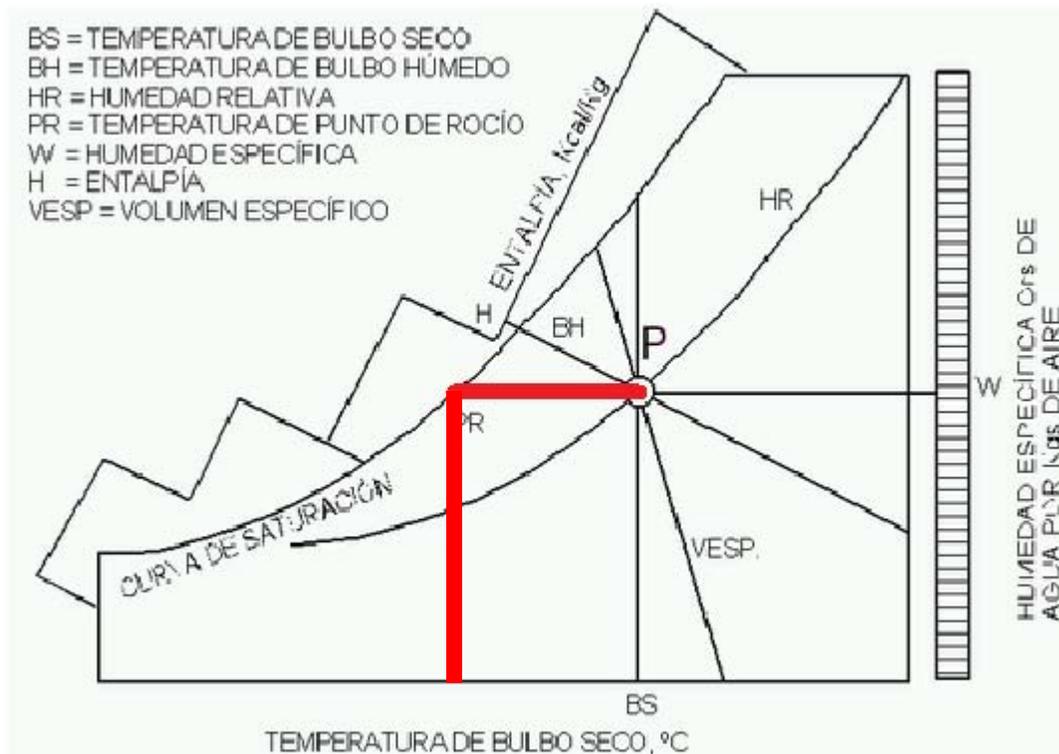


Ilustración 1.4.5. Temperatura de punto de rocío

Otro parámetro que encontramos dentro de la carta es la entalpía, su uso es importante al saber en cada estado de la mezcla la cantidad de energía que el aire está dispuesto a intercambiar con su entorno, también dependerá si la mezcla se encuentra por debajo del nivel de saturación, en la saturación o en el sobrecalentamiento

1.11.6 **ENTALPÍA:** La vamos a definir como la cantidad de energía que la mezcla aire – vapor puede intercambiar en un estado, se tiene una medida antes de la saturación, durante la saturación y después de la saturación; durante la saturación la entalpía de la mezcla está dividida en entalpía de la parte gaseosa y la de la parte líquida, es decir que la entalpía total es la suma de la entalpía del aire seco mas la entalpía del vapor de agua, se expresa con la letra h, y en la carta psicrométrica aparece en líneas paralelas a las de la temperatura de bulbo húmedo, sus unidades en el sistema internacional son J/kg y en el sistema inglés BTU/lb.

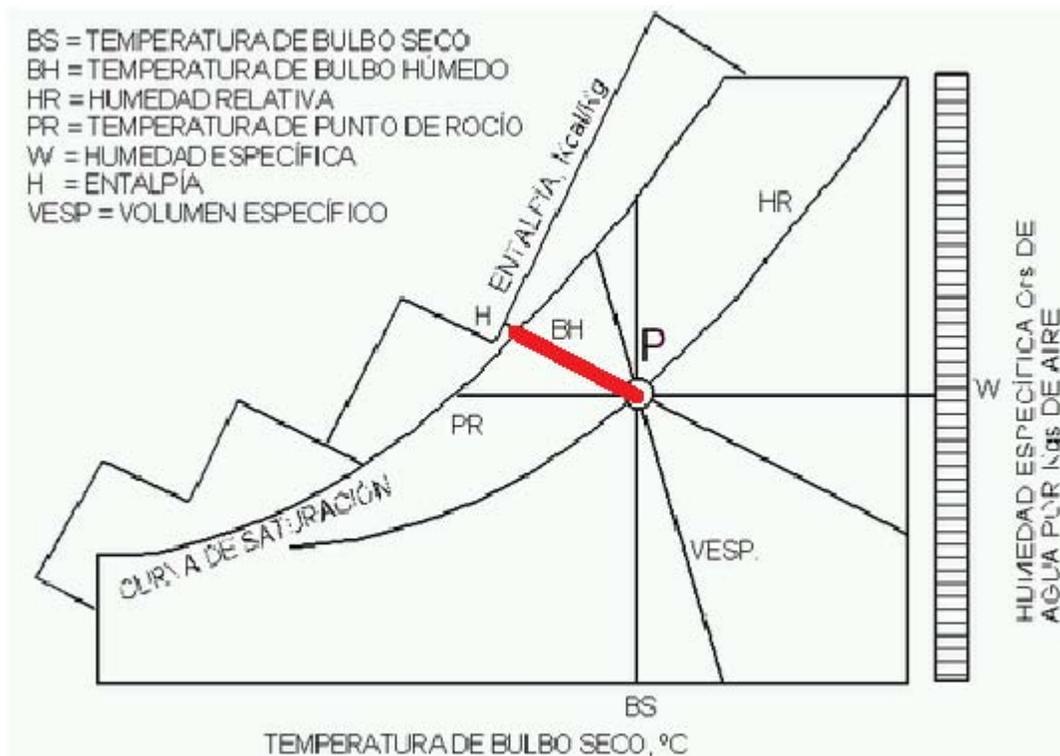


Ilustración 1.4.6. Entalpía

Dentro de la carta psicrométrica también vamos a trazar el volumen específico; estas dos últimas propiedades, el volumen específico y la entalpía nos servirán más para ver las condiciones a las que se encuentra la mezcla después de haberla encontrado en la carta y no para encontrarlo de una forma inicial como lo podríamos hacer con las otras cinco propiedades.

1.11.7 VOLUMEN ESPECÍFICO: Es una propiedad intensiva de la materia (no depende de la masa) y es la cantidad de volumen ocupado por unidad de masa de la materia, por lo tanto es el recíproco de la densidad (m^3/kg).

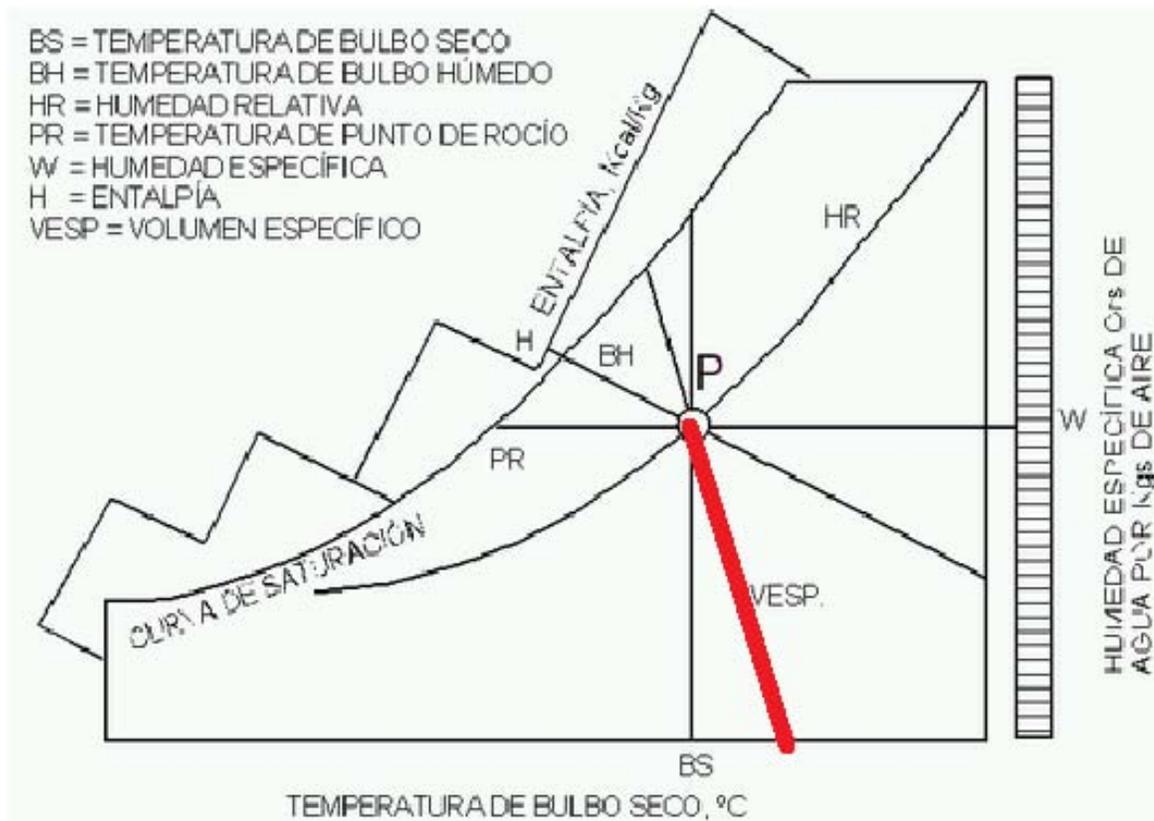


Ilustración 1.4.7. Volumen específico

Otra temperatura que se utiliza en el aire acondicionado pero que no aparece en la carta psicrométrica es la temperatura de saturación adiabática, tal vez la más compleja de entender.

1.12 TEMPERATURA DE SATURACIÓN ADIABÁTICA: Al hacer pasar una corriente de aire por un ducto de condiciones adiabáticas (sin intercambio de calor) donde se encuentra agua en reposo, después de algún tiempo se tendrá una cantidad máxima de humedad debido al rose del aire, a la temperatura en donde tengamos estas condiciones de humedad máxima le llamaremos temperatura de saturación adiabática.



Ilustración 1.5 Conducto aislado térmicamente

Como se observa durante los diferentes procesos que se pueden llevar a cabo es necesario el intercambio de energía del fluido de trabajo con sus alrededores, pero como ya se vio con anterioridad en la segunda ley de la termodinámica no es posible que toda la energía se convierta en trabajo, a esto lo llamamos entropía.

1.13 **ENTROPÍA:** Es la cantidad de energía que la mezcla aire-vapor no puede intercambiar con el exterior, este tipo de energía va en aumento continuamente y no puede detenerse, por lo tanto es un proceso irreversible.

Aparte de la herramienta que es la carta psicrométrica, donde podemos encontrar gráficamente las características del estado de la mezcla, es conveniente saberlas de manera teórica, para eso es de suma importancia el conocimiento de lo que es un gas ideal y bajo que leyes está su comportamiento.

1.14 **GAS IDEAL:** Es aquel que se comporta bajo los postulados de las siguientes leyes:

1.14.1 **LEY CHARLES – GAY LUSAC:** En un proceso a volumen constante, la presión varía directamente proporcional a la temperatura.

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2} = C$$

(6)

Donde:

P = presión

T = temperatura

C = constante

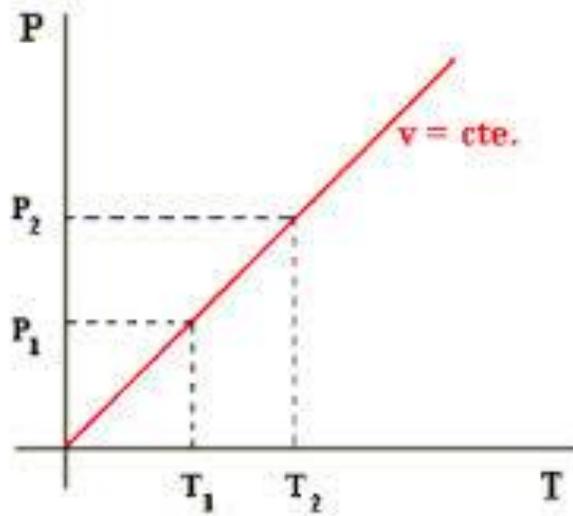


Ilustración 1.6. Gráfica que representa al volumen constante

1.14.2 **LEY CHARLES:** En un proceso a presión constante, el volumen varía directamente proporcional a la temperatura.

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2} = C$$

(7)

Donde:

T = temperatura

V = volumen

C = constante

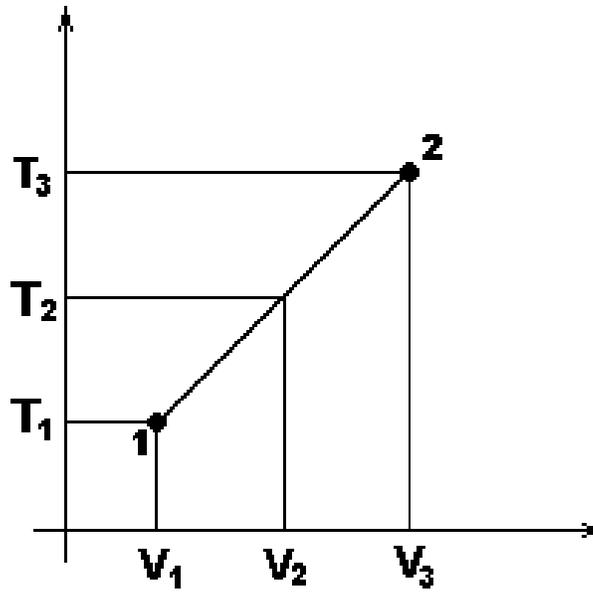


Ilustración 1.7. Gráfica que representa a la presión constante

1.14.3 **LEY BOYLE:** En un proceso a temperatura constante, el volumen de una masa de gas ideal varía inversamente proporcional la presión absoluta durante un cambio de estado.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} = C$$

(8)

Donde:

P = presión

V = volumen

C = constante

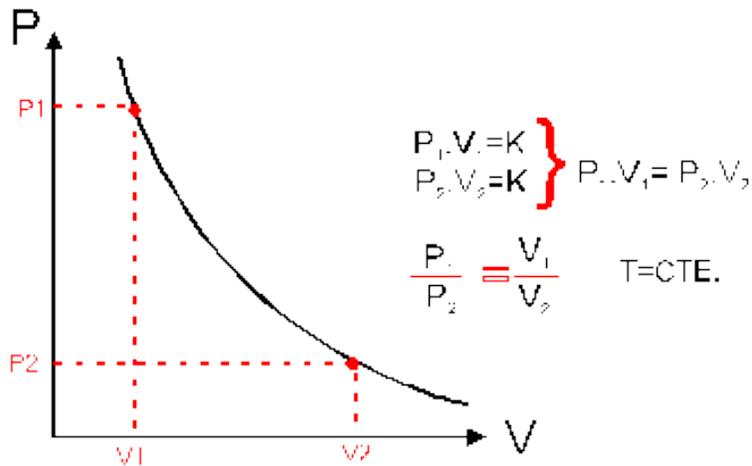
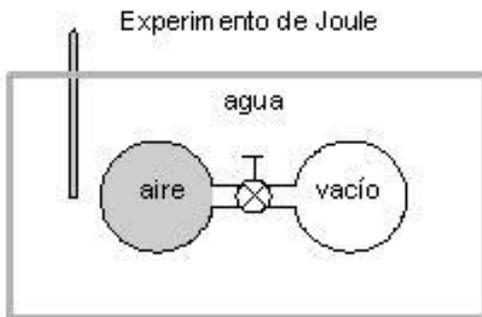


Ilustración 1.8. Gráfica que representa a la temperatura constante

1.14.4 **LEY JOULE:** Esta ley viene formulada después del experimento de Joule y de la cual dedujo que el cambio de energía interna de un gas ideal es función solo del cambio de temperatura

$$U = U(T) \quad (9)$$



1. Estado inicial:
Equilibrio térmico: $T_{\text{agua}} = T_{\text{aire}}$
2. Se abre la válvula y se equilibra la presión
3. Estado final:
No hubo cambio de temperatura
Entre el agua y el aire

Ilustración 1.9. Experimento de Joule

1.14.5 **LEY AVOGADRO:** Explicada por el físico italiano Amadeo Avogadro, expresa que volúmenes iguales de todos los gases ideales a presión y temperatura similares, contienen el mismo número de moléculas. Este enunciado es estrictamente cierto solo para un gas ideal.

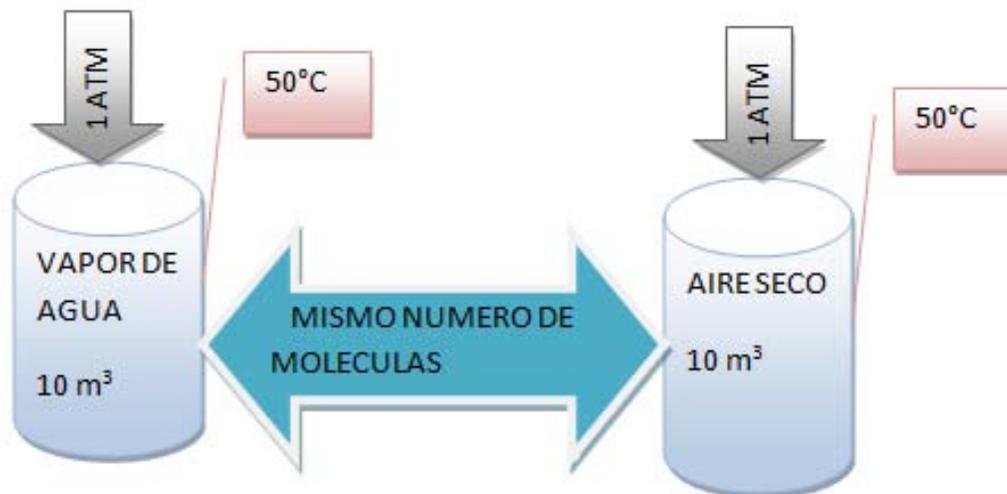


Ilustración 1.10. Representación de la Ley de Avogadro

1.15 **LEY DE DALTON:** En una mezcla de gases o vapores, cada gas o vapor ejerce la misma presión en el mismo espacio total, como si la ejerciera por sí solo, a la misma temperatura de la mezcla”.

El vapor de agua en la atmosfera no se rige exactamente por las leyes que gobiernan los gases, pero son lo suficientemente aproximadas para usarlas en la práctica.

Las mezclas de vapor de agua-aire se rigen prácticamente por la ley de Dalton. Por lo tanto se sugiere de la ley anterior que cualquier mezcla de gases ejerce una presión total igual a la suma de las presiones parciales ejercidas independientemente por cada gas.

$$P_A + P_B + P_C + \dots + P_N = P_T \quad (10)$$

Donde:

P_A = presión del fluido A

P_B = presión del fluido B

P_C = presión del fluido C

P_T = presión total

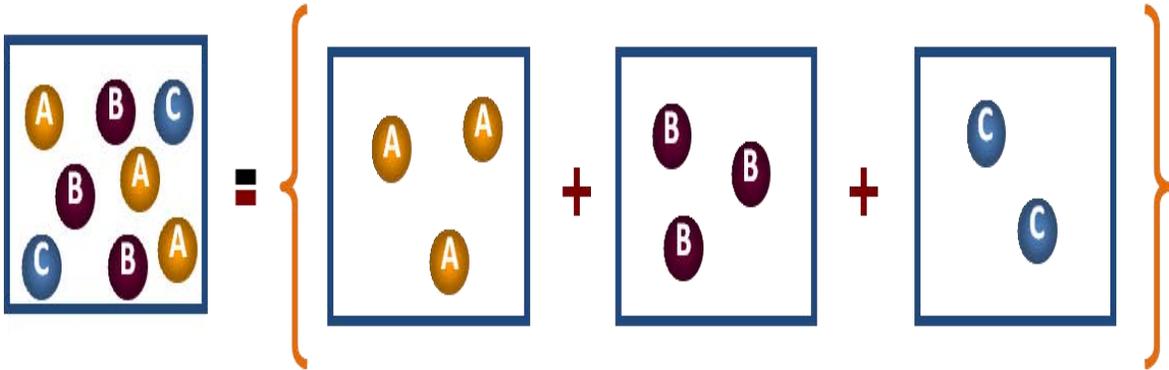


Ilustración 1.11. Representación de la Ley de Dalton

1.16 Una vez explicadas cada una de las leyes las cuales intervienen en la ley de los gases ideales ahora si es posible saber cómo se deduce dicha ley y enunciarla.

Utilizando las tres primeras leyes (Charles, Gay-Lussac ,Boyle) se sabe que en un gas ideal:

(6) $V = CTE$ $P / T = CTE$

(7) $P = CTE$ $V / T = CTE$

(8) $T = CTE$ $P * V = CTE$

$$\frac{P V}{T} = CTE = R \quad (11)$$

1.16.1 Donde R es una constante para un gas ideal particular y se le denomina constante específica de un gas o simplemente constante del gas

Tabla 3 Muestra la constante particular de diferentes gases en el sistema internacional y sistema ingles

GAS	R S. INGLES $\frac{ft-lb}{lb \text{ } ^\circ R}$	R S. INTER. $\frac{kg-m}{kg \text{ } ^\circ K}$
AIRE	53.3	29.24
AMONIACO	90.73	49.64

CO ₂	35.1	19.25
CO	55.1	30.22
HIDRÓGENO	766.54	420.17
NITRÓGENO	55.1	30.22
OXÍGENO	48.3	26.49
VAPOR DE AGUA	85.77	47.05

1.16.2 Tendríamos entonces que la ecuación característica de un gas en particular.

$$PV = mR_p T$$

(12)

Donde:

P = presión absoluta (Pa)

V = volumen (m³)

m = masa (kg)

R_p = constante específica del gas ($\frac{kg \cdot m}{kg \cdot ^\circ K}$)

La masa molecular **M** es la relación entre la masa de la molécula de una sustancia entre la unidad de masa molecular

$$M = \frac{m}{n}$$

(13)

Donde:

M = masa molecular

m = masa de la sustancia

n = numero de moléculas

1.16.3 Si despejamos la masa de la ecuación anterior y la sustituimos en la ecuación característica de los gases tendríamos entonces que:

Despejamos m de (13) y sustituimos en (12)

$$P V = M n R T$$

(14)

1.16.4 Y de multiplicar la masa molecular por la constante del gas se ha descubierto que en todos los gases ideales esta multiplicación da una constante denominada constante universal de los gases ideales, que es una constante física que relaciona entre sí diversas funciones de estado termodinámicas, estableciendo esencialmente una relación entre la energía, la temperatura y la cantidad de materia.

$$M R = \hat{R}$$

(15)

Donde:

M = masa molecular

R_p = constante específica del gas ($\frac{kg\ m}{kg\ ^\circ K}$)

\hat{R} = constante universal de los gases

La cual da lugar a la ecuación general de los gases ideales

$$PV = n \hat{R} T$$

(16)

DONDE EL VALOR DE \hat{R} ES:

$$R = \left\{ \begin{array}{l} = 0,08205746 \left[\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \\ = 62,36367 \left[\frac{\text{mmHg} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \\ = 1,987207 \left[\frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \\ = 8,314472 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \\ = 8,314472 \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \end{array} \right.$$

Ilustración 1.11. Diferentes valores para la constante universal de los gases

CAPÍTULO II: “REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO”

El proceso llamado refrigeración se basa en mecanismos por los cuales se transfiere energía de un sistema a otro, por medio de máquinas encargadas para dicho trabajo, esto fundamentado desde el siglo XVII por el padre de la termodinámica; Sadi Carot. Para estos procesos es necesario saber acerca del fluido apto para transportar dicha energía llamado refrigerante, así como las cargas térmicas, qué es lo que las produce, en qué cantidad y de igual manera explicar las partes de la máquina capaz de realizar el proceso de refrigeración.

REFRIGERACIÓN:

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA REFRIGERACIÓN: Desde varios siglos antes de Cristo se tiene evidencia de que las personas sabían que los alimentos se podían preservar de mejor manera en ambientes fríos que en los cálidos, también era de su conocimiento que a una distancia de entre 1 y 2 metros bajo tierra encontraban una temperatura menor que en la superficie y por esa razón guardaban alimentos en este tipo de almacenes.

Años después los chinos en invierno llenaban sótanos con hielo para que en épocas de verano pudieran aprovecharlo; los romanos y griegos obtenían nieve de las montañas que tenían cerca de sus ciudades y lo llevaban a pozos que recubrían de paja por su capacidad de aislante térmico.

Los principales usos de la refrigeración van desde el uso doméstico con la producción y conservación de alimentos y bebidas hasta en la industria farmacéutica y química para la elaboración por condensación de aditivos y medicamentos, en la industria siderúrgica para tratamientos en frío de metales y el uso que se le da como climatización.

2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR: La refrigeración consiste, mediante procesos térmicos, en reducir y mantener en un espacio delimitado una temperatura más baja que la del ambiente que lo rodea, es decir extraer calor de un objeto o área determinado y cederlo a otro capaz de admitir esta energía térmica.

2.2.1 CONDUCCIÓN: Uno de los mecanismos más obvios con el que podemos conseguir esto es mediante la conducción, que sería poner un cuerpo a una menor temperatura en contacto con el cuerpo que queremos refrigerar, el cual debería estar a mayor temperatura, en este caso se

estaría aplicando la segunda ley de la termodinámica, un ejemplo de esto sería una hielera, donde se coloca el hielo y sobre él se colocan los objetos que se quieren enfriar, la principal forma en la que va existir cambio de temperatura sería por contacto.

La fórmula de la conducción térmica es la siguiente

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{kA\Delta T}{L}$$

(17)

Donde:

Q = transferencia de calor (cal)

Δt = intervalo de tiempo de transferencia de calor (seg)

K = constante de conductividad térmica (J/seg m °C)

A = área transversal en dirección de flujo de calor (m²)

ΔT = diferencia de temperaturas (°C)

L = longitud en dirección del flujo de calor (m)

Tabla 4 Conductividad térmica de diferentes materiales

Material	Conductividad térmica [W/(m·K)]
Metales	35 (plomo) 381 (cobre)
Hormigón	1,63 - 2,74
Agua	0,60 (líquida) - 2,50 (hielo)
Mortero de cemento	0,35 - 1,40
Ladrillo macizo	0,72 - 0,90
Bloques de hormigón	0,35 - 0,79
Ladrillo hueco	0,49 - 0,76
Enlucidos de yeso	0,26 - 0,30
Ladrillo multialveolar	0,20 - 0,30
Maderas, tableros	0,10 - 0,21
Hormigón celular	0,09 - 0,18
Aislamientos	0,026 - 0,050
Aires (sin convección)	0,026

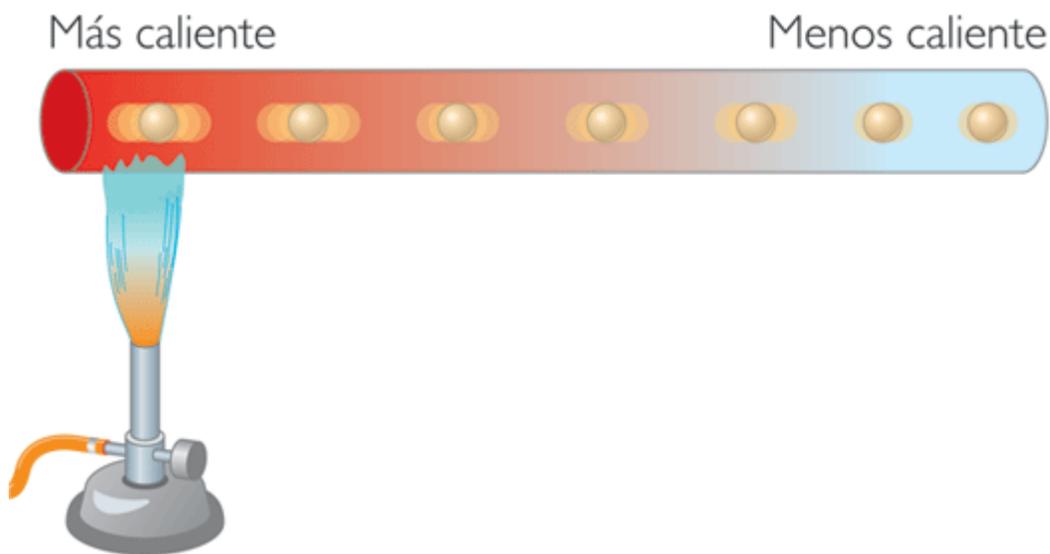


Ilustración 2.1. Transferencia de calor por medio de una sección tubular

2.2.2 CONVECCIÓN: Otro método de transferencia térmica es la convección, la cual se lleva a cabo mediante fluidos como los son los líquidos, gases o vapores. En este tipo de transferencia las moléculas del fluido son las que ceden o ganan la energía del otro cuerpo. Ejemplos de este tipo lo tenemos en una torre de enfriamiento ya que los dos fluidos entran en contacto, el líquido a mayor temperatura cede su calor al aire que entra en la torre de forma forzada por un ventilador a una menor temperatura.

La fórmula de la transferencia de calor mediante convección es la siguiente:

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{\text{inf}})$$

(18)

Donde:

Q = transferencia de calor (cal)

Δt = intervalo de tiempo de transferencia de calor (seg)

h = coeficiente de convección térmica (j/seg m °C)

A = área transversal en dirección de flujo de calor (m²)

T_s = temperatura en la superficie del cuerpo (°C)

T_{inf} = temperatura en la parte interna del cuerpo (°C)

Tabla 5 Convección térmica de diferentes fluidos y materiales

Material	K ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Vapor de agua	0.025
Aire	0.026
Agua líquida	0.61
Mercurio	8.4
Espuma de poliestireno	0.036
Papel	0.13
Vidrio	0.35-1.3
Hielo	2.2
Plomo	34
Acero	45
Aluminio	204
Cobre	380

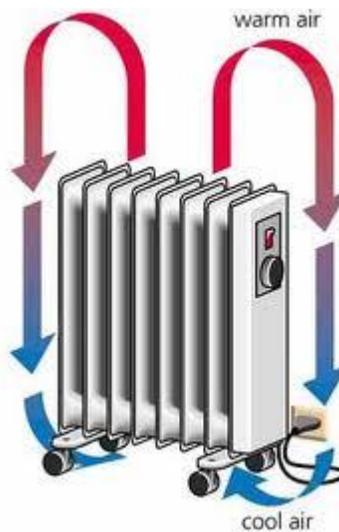


Ilustración 2.2. Ejemplificación de convección térmica en un aparato calefactor

Otro método por el que podemos obtener espacios a una menor temperatura que a su alrededor es por la evaporación, es un método que existe desde que se comenzaron a formar los océanos y continentes.

Como en todos los procesos que tienen un ciclo ideal, este ciclo puede invertirse y así las máquinas pueden ser frigoríficas al extraer temperatura de interior al exterior o bombas de calor cuando absorben energía del exterior y la ceden al interior.

El proceso de refrigeración fue descrito en un ciclo por un ingeniero francés, Sadi Carnot, con ayuda de la segunda ley de la termodinámica expuso que no es posible que un cuerpo a menor temperatura ceda energía a uno de mayor temperatura, a menos que entre ellos se realice un trabajo.

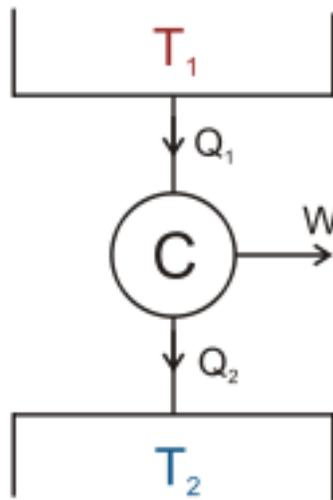


Ilustración 2.3. Ilustración de una máquina extrayendo calor de un punto de alta temperatura a uno de baja y realizando un trabajo

2.3 CICLO DE CARNOT: El ciclo de Carnot es un “proceso termodinámico ideal y reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual su rendimiento es el máximo”.

Este tipo de máquinas se les denomina máquina de Carnot y trabaja absorbiendo energía de la fuente de alta temperatura q_1 y es cedida a la fuente de baja temperatura q_2 , produciendo así un trabajo, su rendimiento está definido, como en cualquier otro ciclo por:

$$\eta = \frac{W_{util}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (19)$$

Este proceso se divide en cuatro partes, en dos de ellos se encuentra una temperatura constante, (isotérmicos) mientras que los otros dos son adiabáticos, (no hay cambios de energía).

Dichas partes son:

- Expansión isotérmica reversible durante el cual el calor es transferido del punto de alta temperatura al fluido de trabajo.
- Expansión adiabática reversible que se da cuando el flujo de trabajo alcanza la temperatura del depósito de baja temperatura.
- Compresión isotérmica reversible durante el cual el calor es transferido del fluido de trabajo hasta el depósito de baja temperatura.
- Compresión adiabática reversible que se da cuando el flujo de trabajo alcanza una temperatura del depósito de alta temperatura.

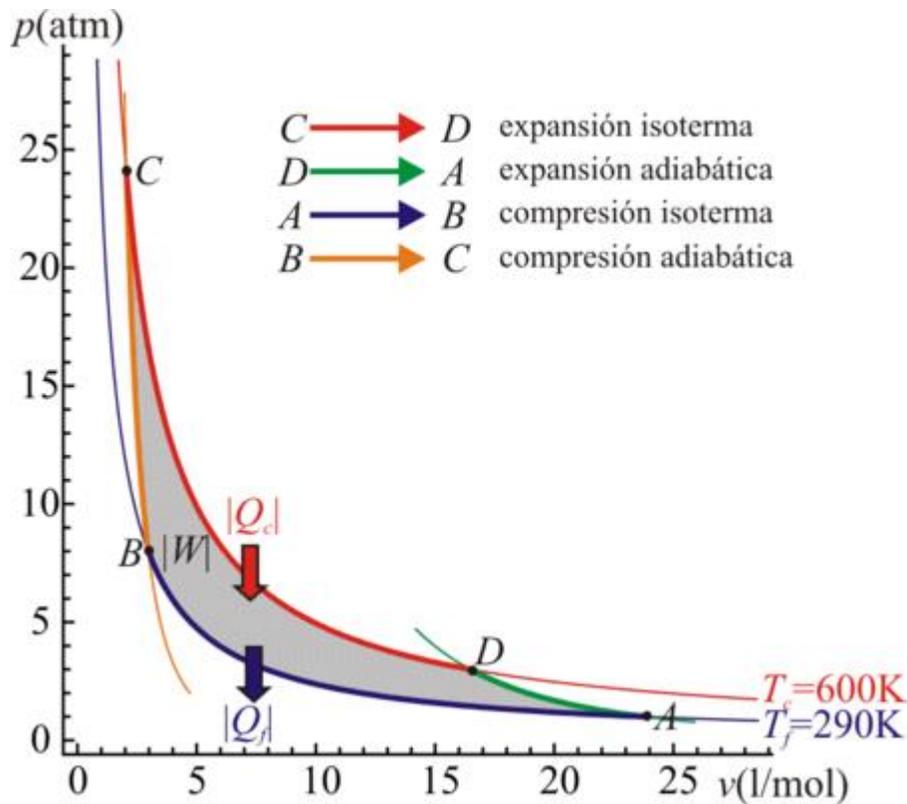


Ilustración 2.4. Diagrama P-v de una máquina de Carnot

En este ciclo se puede observar la existencia de una producción de trabajo durante la expansión y consumo de trabajo durante los procesos de compresión.

2.4 CICLO DE CARNOT INVERSO: El ciclo de Carnot inverso, en el cual el calor se transfiere desde un nivel de baja temperatura hasta otro de alta temperatura, es el estándar bajo el cual se rigen los ciclos de refrigeración existentes y esto es posible gracias a que se produce un trabajo entre estos dos puntos.

Se lleva a cabo mediante cuatro procesos los cuales se describen a continuación:

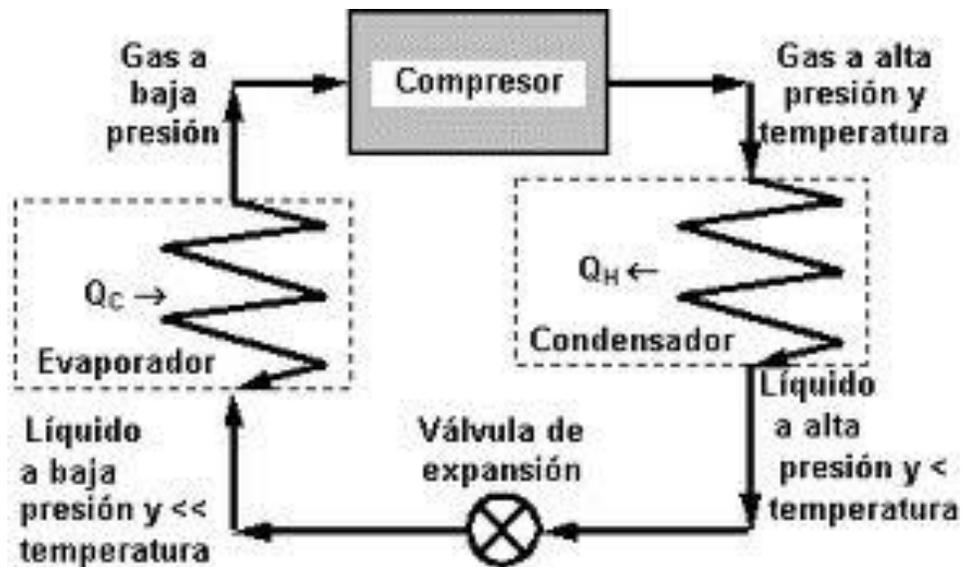


Ilustración 2.5. Ejemplificación de una maquina de refrigeración

- Una evaporación isobárica e isotérmica la cual se lleva a cabo en el evaporador, donde el fluido de trabajo a una T_2 le es suministrado un calor q
- Una compresión isotrópica y adiabática donde el fluido de trabajo pasa de una T_2 a T_3 ($T_3 > T_2$) al realizar un trabajo sobre el fluido, esto se produce en el compresor.
- Condensación isobárica e isotérmica en el condensador donde se llega a una temperatura T_4 , esto se da porque el fluido cede una cantidad de calor q al exterior ($T_3 > T_4$)
- Expansión isotrópica y adiabática donde el fluido pasa de una temperatura T_4 a T_1 ($T_4 > T_1$)

Este proceso se puede representar gráficamente en un diagrama de Molliere.

2.5 DIAGRAMA DE MOLLIERE: el diagrama de Molliere es la representación grafica de los estados posibles que pueden tener los fluidos, en este caso el refrigerante durante el ciclo de refrigeración en los diferentes equipos.

Si el proceso es marcado en esta carta, el estudio y comparación de los agentes refrigerantes que actúan por compresión resulta una tarea más fácil para el estudio y comprensión.

Los diagramas presión – entalpía se utilizan para graficar los ciclos de refrigeración por compresión mecánica. El saber usar e interpretar lo que se gráfica en esta carta nos da una explicación más clara de lo que sucede en el refrigerante durante su ciclo de trabajo dentro de la máquina

refrigeradora. Es necesario por lo menos dos propiedades en un estado del ciclo para poder graficarlo.

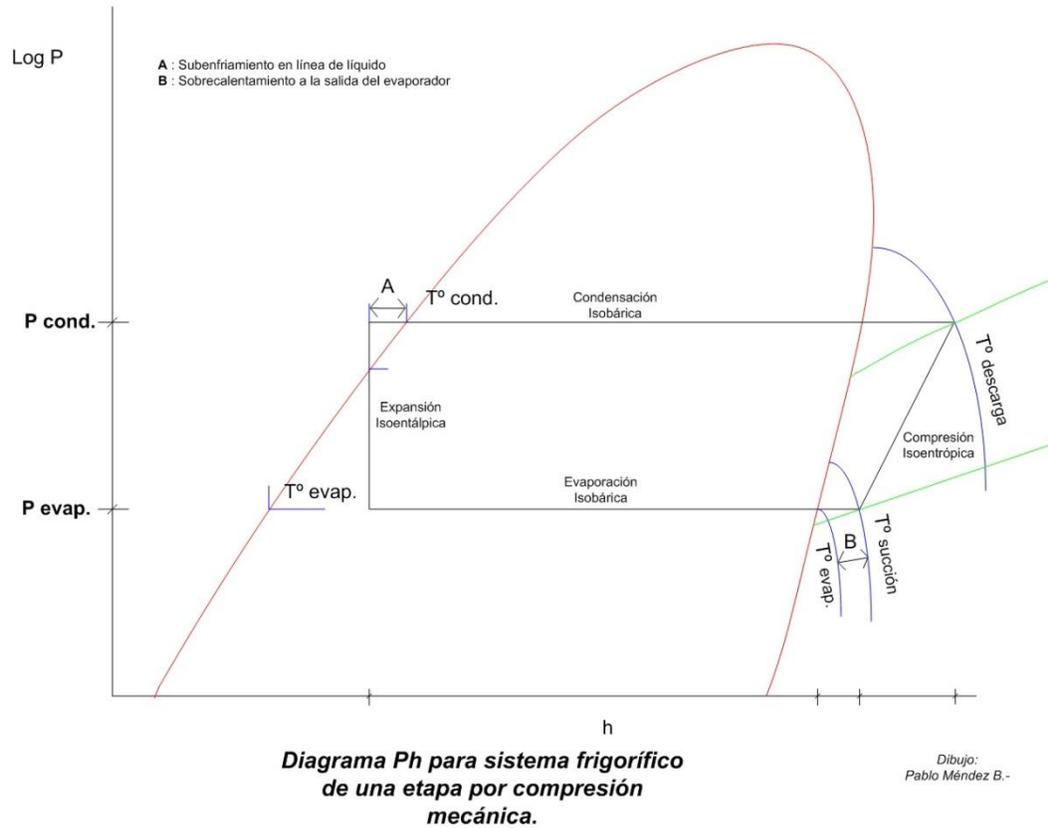


Ilustración 2.6. Diagrama de un sistema de refrigeración

2.6 El ciclo común de compresión mecánica consta de cuatro pasos y representado en este diagrama de molliere presión-entalpía se observa:

1. Evaporación del refrigerante líquido, que se convierte en vapor en condiciones isobáricas.

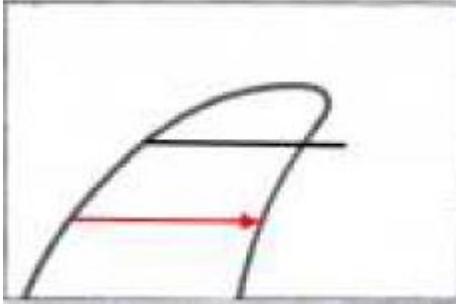


Ilustración 2.6.1. Evaporación

2. Compresión del vapor refrigerante desde una presión baja hasta una presión alta, donde no existe teóricamente cambio en la entropía.

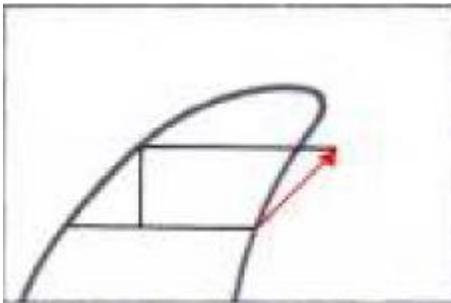


Ilustración 2.6.2. Compresión

3. Condensación y cambio de fase, de gas a líquido, antes de que se lleve a cabo la condensación, el vapor debe llevarse al punto de saturación para eliminar cualquier sobrecalentamiento. Este proceso se da sin cambios de presión.

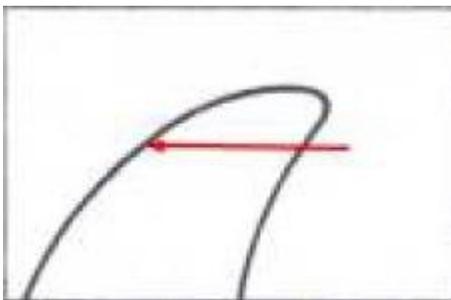


Ilustración 2.6.3. Condensación

4. La expansión del refrigerante líquido desde un punto de alta presión a uno de baja presión, sin cambios en la entropía del fluido de trabajo.

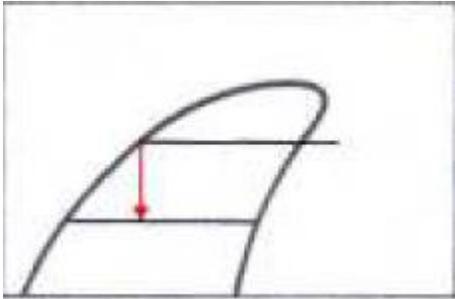


Ilustración 2.6.4. Expansión

Aunque el diagrama de Molliere que hemos visto tiene en sus ejes coordenados a la presión en las ordenadas y a la entalpía en el eje de las abscisas, también podemos encontrar ejes donde la entalpía está en el eje de ordenadas y la entropía en el eje de abscisas. En este diagrama las líneas de presión, volumen y temperatura permanecerán constantes.

Una ventaja de este tipo de diagramas, más en su uso para estudio del agua como fluido de trabajo, es que se encuentran líneas marcadas como porcentaje de humedad o calidad del vapor, esto quiere decir que tan saturado se encuentra el vapor de agua con el que se está trabajando y a qué condiciones es posible llevar. Las líneas de temperatura constante se vuelven horizontales en la región de sobrecalentamiento, las cuales se localizan en el extremo derecho de la gráfica. En los gases ideales la temperatura y la entalpía permanecen directamente proporcionales la una con la otra, por lo tanto a presiones bajas, las líneas de temperatura estarán paralelas a las líneas de entalpía.

Mollier Diagram for Water Vapor, SI Units
 Source: American Society of Mechanical Engineers.

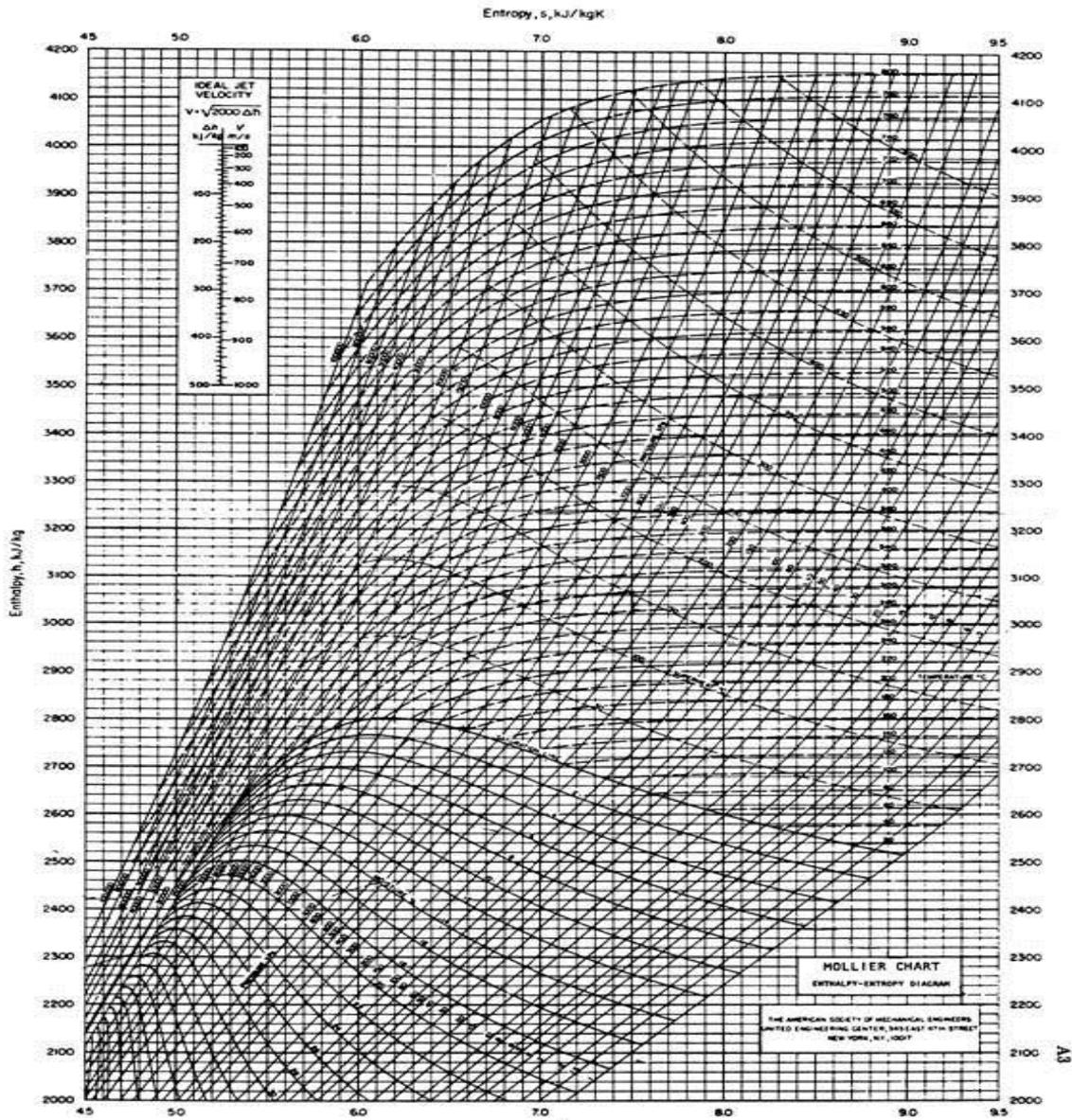


Ilustración 2.7. Diagrama de Molliere Entalpia-Entropia

Ya que se ha visto como es el proceso de la refrigeración, el siguiente paso es conocer la carga térmica o carga de calor.

2.7 CARGA DE CALOR: La carga de calor es la cantidad de energía en forma de calor que debe retirarse del espacio por refrigerar, para reducir o mantener la temperatura deseada.

En la mayoría de los casos, la carga de calor es la suma del calor que entra al espacio refrigerado a través de las paredes, rendijas, ranuras, etc., más el calor que produce algún producto por refrigerar o motores eléctricos, alumbrado, personas, etc., esta carga va a estar expresada en unidades de energía (B.T.U. o cal) sobre unidad de tiempo.

Para realizar el cálculo de la carga de calor que se requiere retirar con la mayor exactitud posible es importante evaluar las siguientes condiciones:

- Datos atmosféricos del sitio, con datos sobre horas pico de calor
- Dimensiones físicas
- Orientación de espacio a refrigerar
- Espesor y material de paredes, techo y suelo
- Concentración de personal
- Fuentes de calor internas ventilación

Existen diferentes métodos para calcular la carga térmica a retirar, pero en cualquier caso es necesario después de la evaluación saber que tipos de carga son:

Cargas externas:

- Radiación solar
 - que incide sobre paredes y techo
 - que entra directamente por ventanas
- Condiciones atmosféricas
 - temperatura exterior
 - presión atmosférica
 - velocidad del viento

Cargas internas:

- personas

- número
- actividades
- horas de trabajo
- máquinas
 - computadoras
 - televisores
 - alumbrado
 - refrigeradores
 - tuberías de agua caliente
 - (es importante saber la potencia de cada uno)
- otros
 - si comparte paredes con otros cuartos más calientes

Ahora se verá cuál va a ser el fluido de trabajo, es decir el que se evaluará en el diagrama de molliere, el refrigerante.

2.8 REFRIGERANTE: En cualquier proceso de refrigeración, el cuerpo empleado como absorbente de calor se llama agente refrigerante.

El agente refrigerante es una sustancia capaz de producir un efecto de enfriamiento sobre el medio que lo rodea, que de manera general fluye y evoluciona en un ciclo al interior de un circuito de una máquina frigorífica.

Dentro de sus características más importantes de los agentes refrigerantes en general están:

- **PROPIEDADES TÉRMICAS:**
 - Es un fluido cuyo punto de ebullición está en una temperatura cercana a la temperatura de congelación del agua o menor que ésta, ya que de este modo el cambio de fase se dará a una temperatura menor de lo que se requiere enfriar.
 - Su temperatura de congelación es por debajo de la temperatura de congelación de lo que se requiere enfriar, ya que de no ser así no tendría un buen uso y podría congelarse en cualquier parte del ciclo.

- **PROPIEDADES DE CALOR ESPECÍFICO:**

- Tiene un calor específico bajo, esto es porque necesita absorber una bastante cantidad de calor, por lo tanto no sería útil retirar solo pequeñas cantidades de energía.

- **PROPIEDADES DE DENSIDAD:**

- Debe ser de baja densidad, esto ayudará porque al alterar su presión en pequeños rangos cambiará su fase de líquido a gaseoso y podrá entrar en mejores condiciones al evaporador y extraer más calor, proceso que se realiza entre la válvula de expansión y el evaporador.

ASPECTOS EN LA ELECCIÓN DEL REFRIGERANTE:

- Comportamiento indiferente frente a los materiales utilizados en la construcción de la máquina frigorífica, haciendo un especial énfasis en la corrosión que el refrigerante pueda ocasionar en las tuberías para evitar averías.
- El refrigerante no debe sufrir cambios químicos dentro de los rangos de temperatura y presión a la cual funcionará el ciclo.
- Es importante el uso de agentes refrigerantes que no tengan efectos nocivos sobre la salud, ni sobre el medio ambiente de gran importancia ya que muchos refrigerantes no cumplen esta condición.
- Por seguridad es necesario que el refrigerante esté operando fuera de los rangos de peligrosidad con respecto a flamabilidad y explosión.

- Por cuestiones económicas y de salud, es necesario que la circulación del refrigerante se realice por conductos herméticos y que en caso de ocurrir fugas sea de fácil detección, prefiriendo para estos puntos refrigerantes con un olor penetrante pero no tóxico.
- Si en el proceso de refrigeración es necesario el uso de algún lubricante, este no deberá alterar las propiedades químicas del refrigerante y no deberá escaparse del sitio donde esté cumpliendo su tarea específica.

Los agentes de refrigeración pueden ser sólidos o líquidos, entre los sólidos se incluye el hielo y CO₂. Hasta hace poco el hielo se usaba con mayor frecuencia en la refrigeración doméstica, pero hoy en día en casi todos los casos ha sido superado por otros refrigerantes que superan las desventajas que tiene el hielo como son:

- no se pueden obtener tan bajas temperaturas como con otros refrigerantes. por ejemplo el cloruro de sodio donde se pueden obtener temperaturas de -18°C
- es necesario reponer manualmente el hielo
- produce condensado
- es difícil controlar la refrigeración

Por otro lado el hielo también tiene ciertas ventajas sobre otros refrigerantes para usos específicos como lo son los alimentos.

La capacidad de los líquidos de absorber calor mientras se evaporan es la base de la refrigeración moderna. Entre las ventajas del refrigerante líquido están:

- se consigue una recirculación continua del refrigerante sin necesidad de reponerla.

- se consiguen rangos de temperaturas muy amplios pues existen una gran cantidad de refrigerantes líquidos con diferentes puntos de ebullición.
- para los refrigerantes líquidos más comunes se encuentran tablas y gráficas que indican sus propiedades bajo diferentes condiciones.

2.9 PROCESOS DE REFRIGERACIÓN: Los procesos de refrigeración se clasifican en sensibles y latentes. El proceso es sensible cuando la temperatura del refrigerante varía al absorber calor. Es latente cuando la temperatura del refrigerante, al absorber calor, permanece constante y causa un cambio de fase. En los dos procesos la temperatura del agente refrigerante es menor que la temperatura del espacio por refrigerar.

Por ejemplo:

2.9.1 PROCESO SENSIBLE: Se piensa en un espacio cuya temperatura es de 50°C y está aislado térmicamente. Si se coloca un recipiente con agua a 10°C , el calor del espacio fluirá hacia el agua hasta que ambas temperaturas sean iguales.

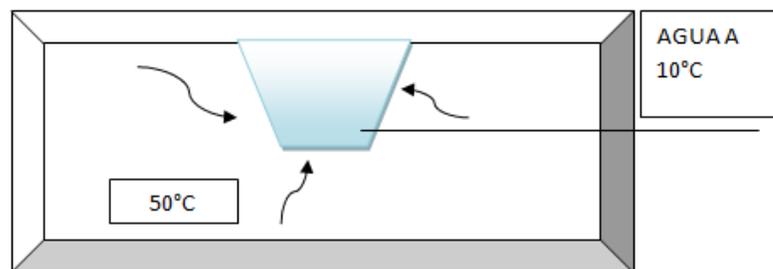


Ilustración 2.8. Ilustración del enfriamiento sensible

2.9.2 PROCESO LATENTE: Si se coloca un trozo de hielo en el mismo contenedor a 50°C , el hielo absorberá calor pero no cambiará su temperatura, solo modificará su fase de sólido a líquido. El calor absorbido por el hielo es el calor latente del hielo

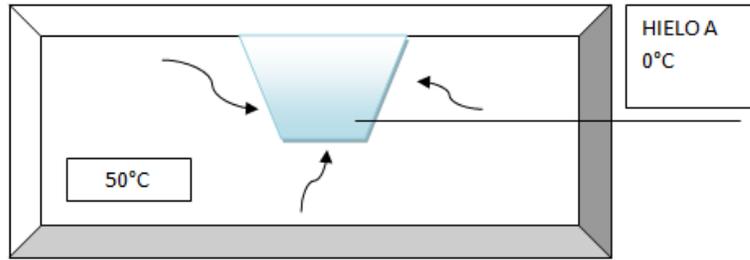


Ilustración 2.9. Ilustración del enfriamiento latente

2.10 COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN: El refrigerante es bombeado a través de un sistema completamente cerrado, ya que si el sistema no fuese cerrado el agente refrigerante se disiparía al aire, por lo tanto como es un sistema cerrado, el mismo refrigerante es reutilizado descargando cierta cantidad de calor cada vez que realiza el ciclo.

El ciclo cerrado de refrigeración preserva el refrigerante de llegar a contaminarse y controla su flujo, debido a que en ocasiones y en algunas partes del ciclo este refrigerante es un líquido mientras que en otras es un gas.

Durante el ciclo tenemos dos presiones diferentes:

Baja presión en el evaporador

Alta presión en el condensador

Estas áreas de diferencia de presión se separan por dos puntos en el sistema:

Válvula de expansión, donde el flujo es controlado y expandido

Compresor donde el refrigerante se comprime

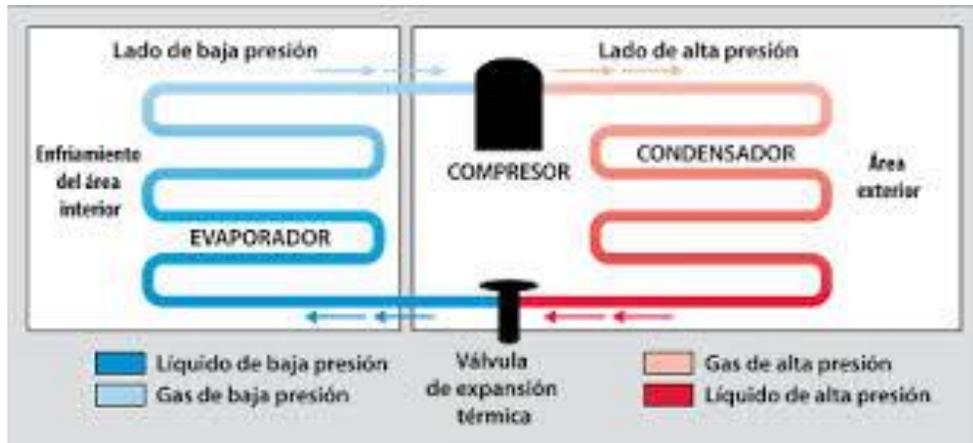


Ilustración 2.10. Diferencias de presión en el ciclo de refrigeración

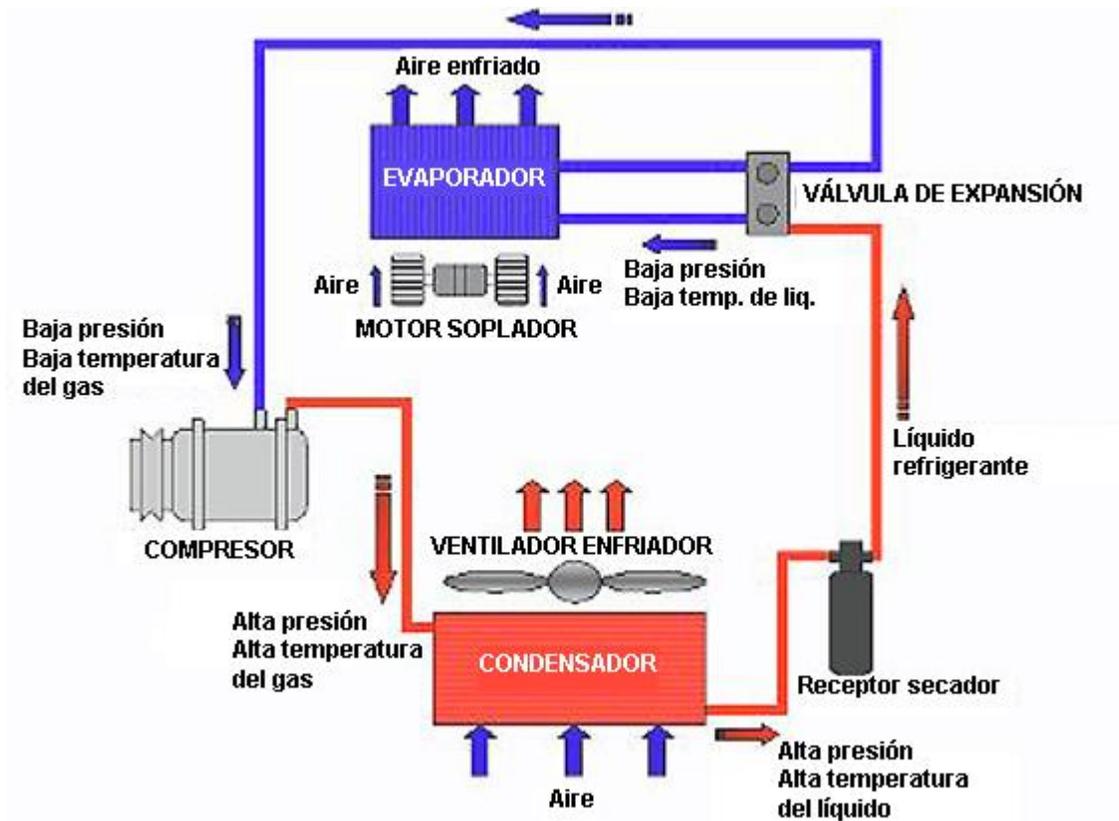


Ilustración 2.11. Ilustración de un sistema de refrigeración

2.10.1 **COMPRESOR:** Un compresor se puede definir como una máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gas y vapor. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. Comparados con turbo sopladores, ventiladores centrífugos o de circulación axial, en cuanto a la presión de salida, los

compresores se clasifican generalmente como máquinas de alta presión, mientras que los ventiladores y turbo soplantes como de baja presión.

Los compresores se emplean para aumentar la presión de una gran variedad de gases y vapores para un gran número de aplicaciones. Un caso común es el compresor de aire, que suministra aire a elevada presión para transporte, pintura de pistola, infladora de neumáticos, herramientas neumáticas, limpieza y perforadoras. Otro es el compresor de refrigeración, empleado para comprimir el gas a la salida del vaporizador.

La capacidad real de un compresor es menor que el volumen desplazado del mismo debido a diferentes razones:

- presión vacuométrica en la succión
- expansión del gas retenido en el volumen muerto
- calentamiento del aire a la entrada del compresor
- fugas

En la industria podemos encontrar distintos tipos de compresores:

- **DESPLAZAMIENTO POSITIVO:** Tenemos de dos categorías básicas, los reciprocantes y rotatorios. se clasifican de esta manera porque la capacidad máxima es una función de la velocidad y el volumen de desplazamiento del cilindro. puesto que la velocidad es normalmente fija, el volumen del gas bombeado, viene a ser una relación mecánica de carreras por minuto multiplicado por el volumen del cilindro.
 - **RECIPROCANTES:** Tienen uno o más cilindros en las cuales hay un pistón en movimiento alternativo que desplaza un volumen positivo en cada carrera. Usados para altas presiones, muy comunes en refrigeradores

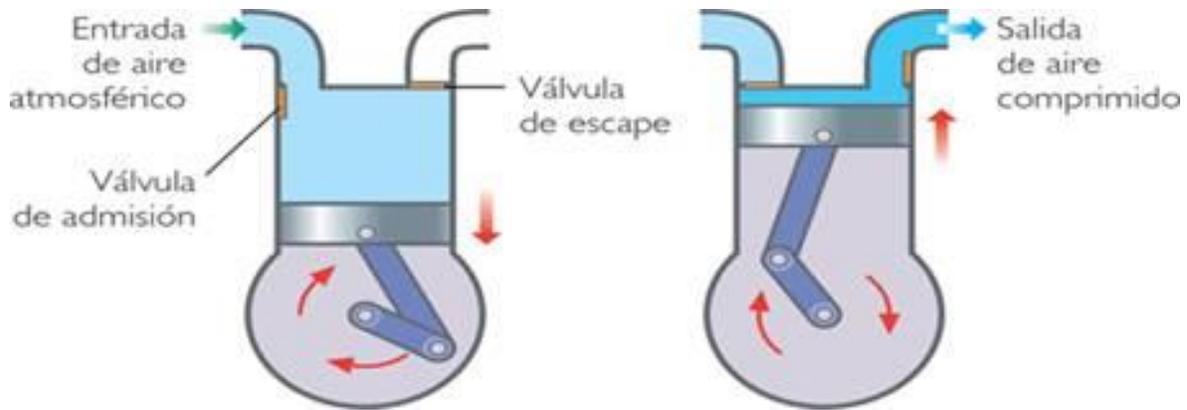


Ilustración 2.11.1.1. Compresor recíprocante de pistones

- **ROTATORIOS:** Estos cuentan con una carcasa y dentro de ellos esta uno o más ejes, los cuales acoplados a paletas de la carcasa, comprimen en cada revolución el gas. usados para bajas presiones

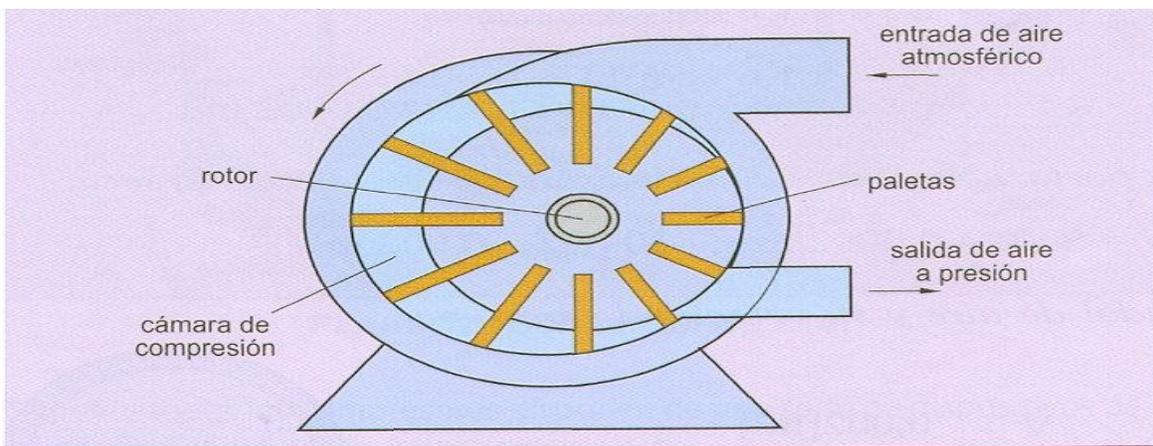


Ilustración 2.11.1.2. Compresor rotatorio de paletas

- **DINÁMICOS:** En ocasiones llamado turbocompresor es miembro de una familia de turbo máquinas que incluyen ventiladores, hélices y turbinas; donde la fuerza de bombeo está sujeta a la velocidad del impulsor y al momento angular entre el impulsor que rota y el fluido que se mueve. a causa de que sus flujos son continuos las turbo máquinas tienen mayor capacidad volumétrica que las máquinas de desplazamiento positivo, por el otro lado, sus rangos de presión son menores que las de desplazamiento positivo.

Por la dirección del fluido podemos encontrar:

- **DE FLUJO AXIAL:** El flujo del gas es paralelo al eje y no cambia de sentido. cuanta con varias etapas en serie.

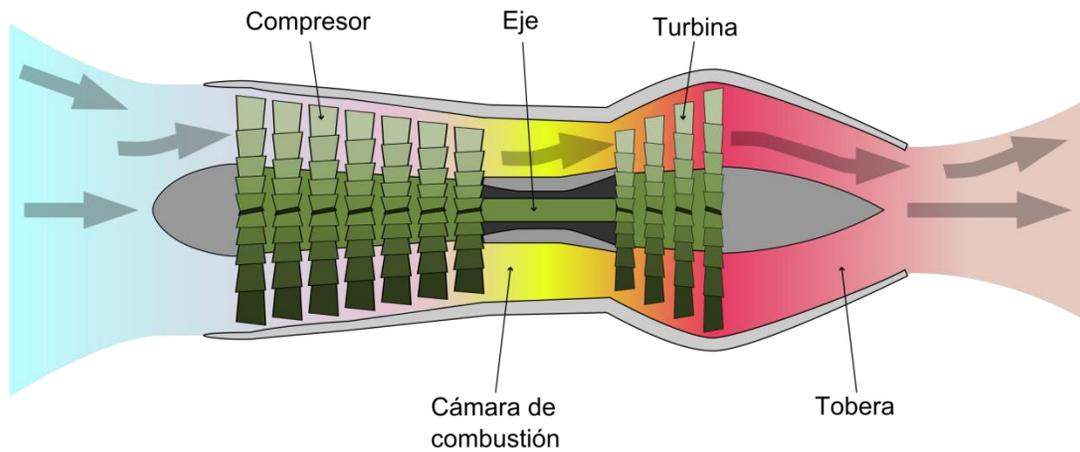


Ilustración 2.11.2.1. Compresor dinámico de flujo axial

- **DE FLUJO RADIAL:** El flujo del gas es perpendicular al eje.

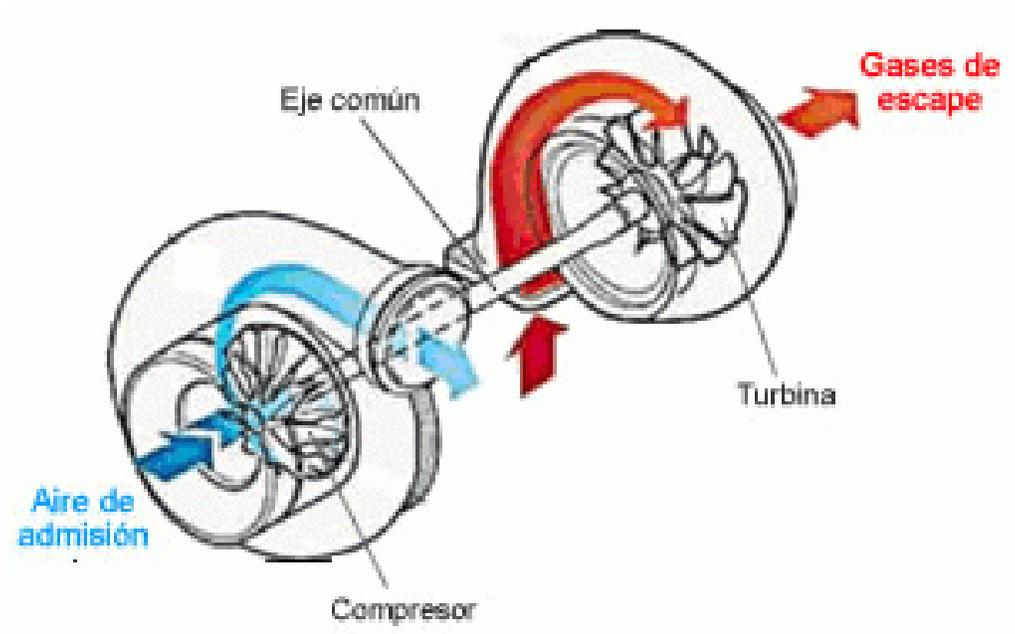


Ilustración 2.11.2.2. Compresor dinámico de flujo radial

- **DE FLUJO MIXTO:** El flujo del gas entra al compresor de manera radial y sale de este de manera axial.

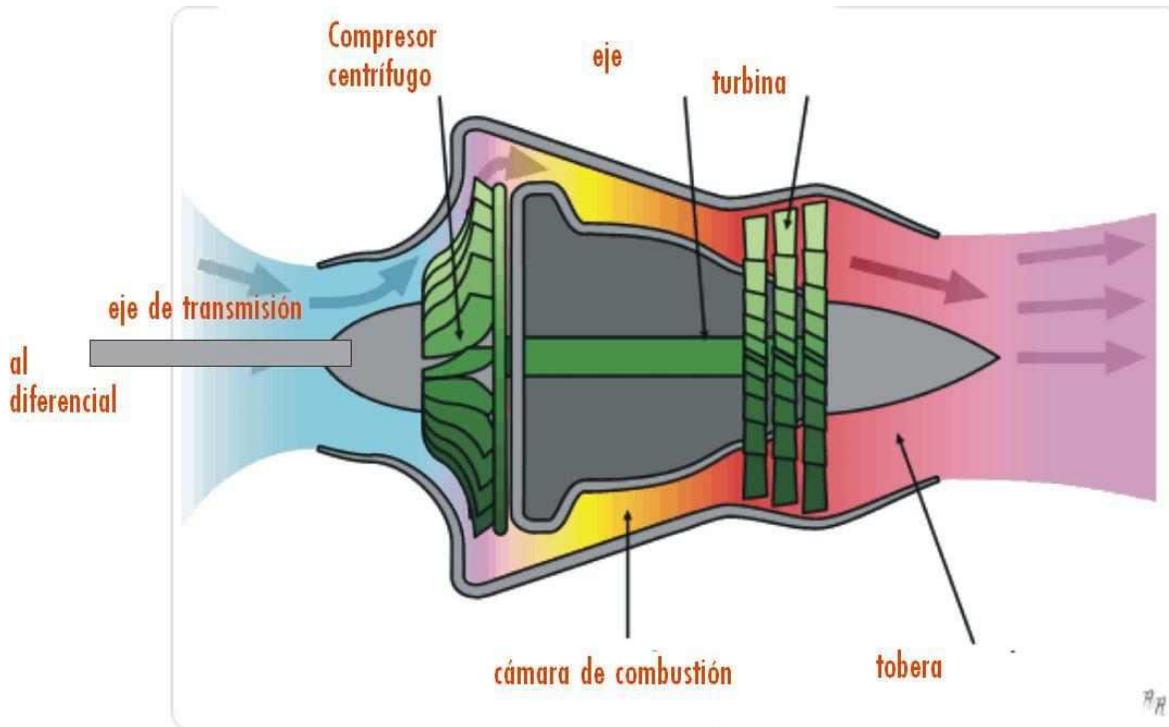


Ilustración 2.11.2.3. Compresor dinámico de flujo mixto

En el sistema de refrigeración por compresión mecánica, los compresores de desplazamiento positivo de tipo embolo o pistón es el más comúnmente utilizado, ya que los volúmenes son en comparación pequeños, y la relación de compresión que se debe de alcanzar es relativamente alta.

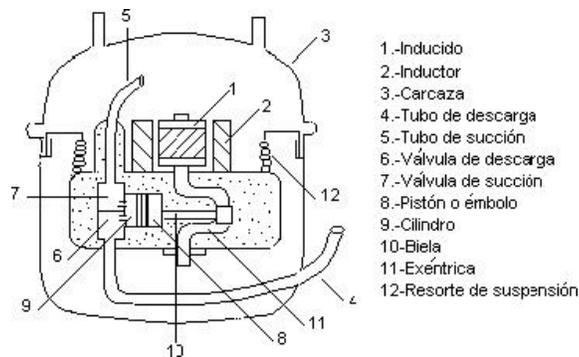


Ilustración 2.11.3. Compresor de pistón de un refrigerador

2.10.2 **CONDENSADOR:** El condensador es el encargado de intercambiar el calor entre el fluido refrigerante sobrecalentado y a alta presión; y el medio que puede absorberlo, el ambiente exterior a menor temperatura con lo cual, al ceder el calor, se obtendrá la condensación del agente refrigerante.

Por la manera en la que se lleva a cabo el intercambio de calor con el exterior tenemos tres tipos de condensadores: de aire, de agua y evaporativos.

- **CONDENSADORES DE AIRE:** Es una serie de tubos en el cual el exterior está dispuesto de aletas y puede ser estático o de tiro forzado.
 - **ESTÁTICO:** Suelen ser de tubo liso, como la velocidad del aire es lenta se acumula mucha suciedad. Suelen ser bastante largos y su uso es de entorno doméstico
 - **DE TIRO FORZADO:** Lleva un ventilador con flujo perpendicular a los tubos por donde circula el refrigerante, como existe una mayor velocidad se puede tener una menor superficie de tubo

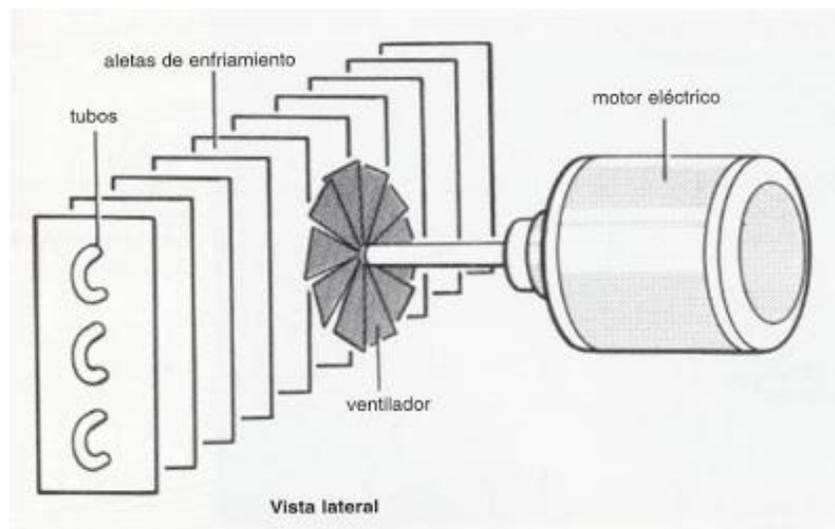


Ilustración 2.11.4. Condensador de tiro forzado

- **CONDENSADORES DE AGUA:** Son los que usan el agua como medio condensable, estos son de menor tamaño en comparación a los condensadores de aire.

- **CONDENSADOR DE DOBLE TUBO:** Es un serpentín formado por dos tubos concéntricos, por el tubo interior circula el agua y por el exterior el refrigerante, se hace circular a contracorriente para obtener un mejor intercambio de calor.

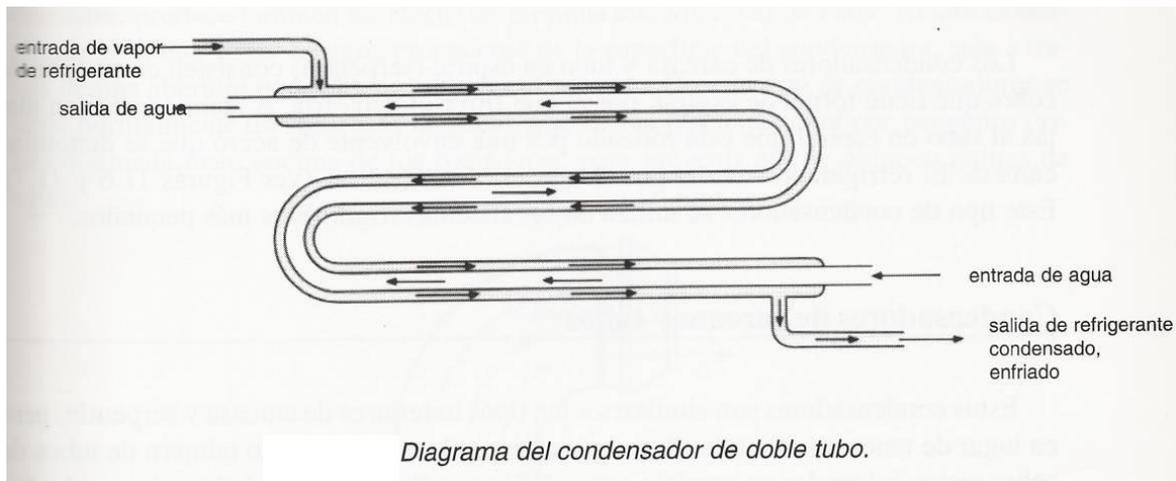


Ilustración 2.11.5.1. Condensador de agua de doble tubo

- **CONDENSADOR MULTITUBULAR:** Dentro de este tipo de condensadores los más comunes son los de tipo tubo en tubo, donde el tubo de circulación del refrigerante es envuelto por uno o más tubos de agua en forma de trombón.

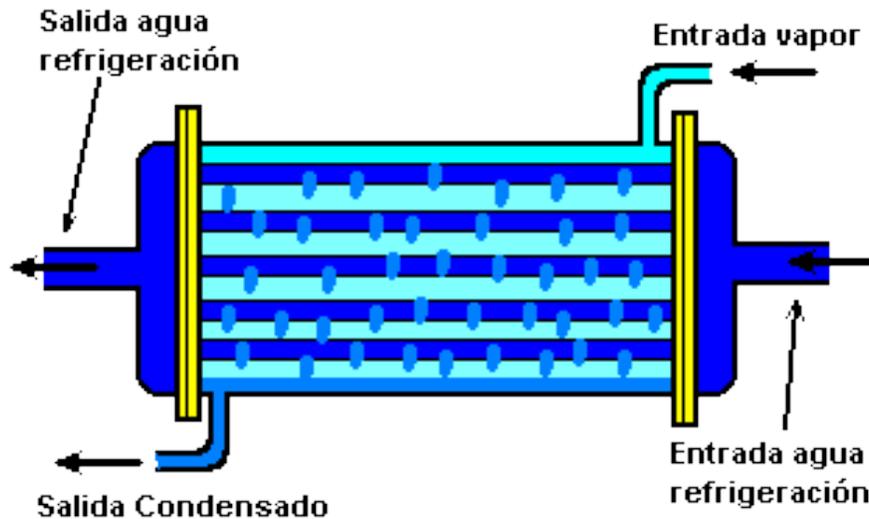


Ilustración 2.11.5.2. Condensador de agua multitubular

- CONDENSADORES EVAPORATIVOS:** Estos funcionan en base a los principios de transferencia de calor por convección, solo que combinan la capacidad de un líquido evaporarse para absorber calor con una corriente de aire que circula por su alrededor, está formado por un serpentín por el cual circula el refrigerante, este serpentín es mojado por unas duchas de agua de manera que al hacer circular una corriente de aire el agua que moja los tubos se evapora extrayendo calor, por lo tanto utiliza las ventajas de los dos tipos anteriores y tiene un rendimiento muy bueno, su desventaja es que necesita en espacio mucho mayor que los condensadores de aire y agua.

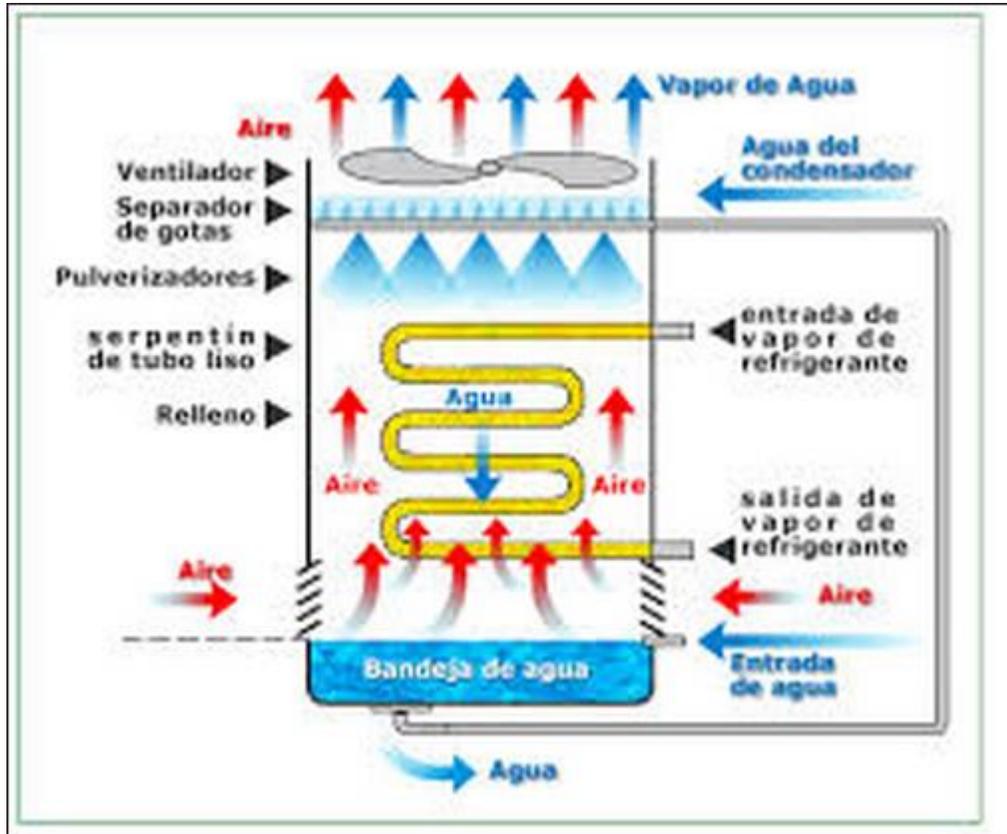


Ilustración 2.11.6. Condensador evaporativo

CAPACIDAD DEL CONDENSADOR: La capacidad del condensador es la cantidad de calor que el condensador es capaz de extraer del refrigerante.

Ésta puede ser modificada mediante la relación de compresión y se ve afectada en diferentes épocas del año. Mientras en el invierno tendremos una diferencia de temperaturas de un rango mayor, durante el verano esta diferencia se acorta.

Para controlar esto es necesaria una regulación de condensación que se lleva a cabo con los ventiladores.

Un problema típico en los condensadores de aire, que son los más usados en sistemas de refrigeración, es la suciedad que se acumula y que hace las funciones de aislante impidiendo un adecuado intercambio de calor.

2.10.3 VÁLVULA DE EXPANSIÓN: Las válvulas de expansión son desarrolladas para regular la inyección de refrigerante líquido a los evaporadores, de acuerdo a la presión que el sistema necesita para vaporizar el refrigerante en su interior.

Esta inyección de refrigerante estará siempre regulada por un elemento termostático o manual que está situado en la parte superior de la válvula de expansión la cual es controlada en función del recalentamiento del refrigerante.

El refrigerante que proviene del condensador se encuentra en su fase líquida a una alta presión, a medida que se contrae, fluye menos refrigerante en los serpentines del evaporador. La temperatura elevada del refrigerante crea una presión que hace que el refrigerante dentro del evaporador tenga una tendencia a moverse más rápido.

El refrigerante que pasa más tiempo en los serpentines del evaporador se enfría a una temperatura más baja, ya que el calor se transfiere al agua que se encuentra dentro de los serpentines.

PARTES DE UNA VÁLVULA DE EXPANSIÓN:

- **CUERPO:** Está compuesto por una cámara donde se realiza la expansión, los tubos de entrada y salida del refrigerante y la parte donde se regula el flujo del refrigerante.
- **REGULADOR:** En ocasiones puede ser regulada de manera manual y en otras de manera automática, mediante un tornillo que controlara el flujo a través del cuerpo.
- **POTENCIADOR:** Este elemento actúa sobre el vástago para abrir y cerrar el paso del refrigerante a la cámara de expansión, situado en la parte superior de la válvula.

Dependiendo del tipo de válvula que se utilice también podremos encontrar las siguientes partes:

- **BULBO SENSOR:** Situado a la salida del evaporador, conectado por un tubo capilar al elemento de potencia y que actúa sobre éste.

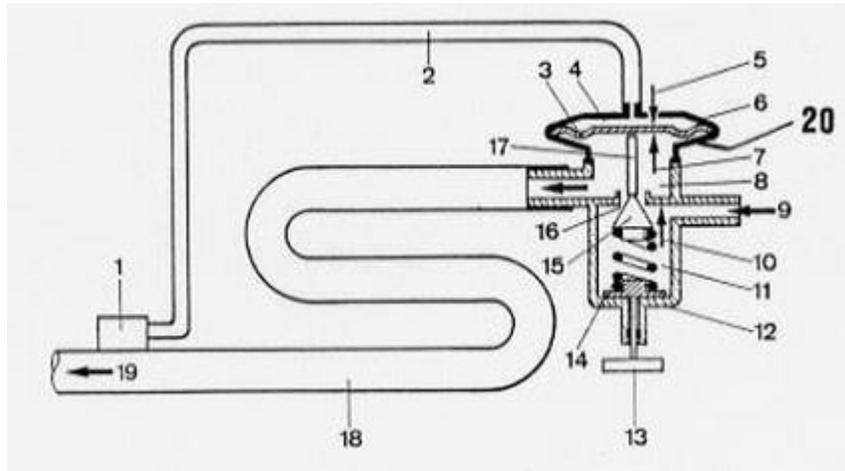


Ilustración 2.11.7. Válvula de expansión típica de un refrigerador

1. Bulbo* -2. Tubo capilar* -3. Membrana termostática* -4. Cámara termostática* -5. Presión termostática p_1 * -6. Cabeza termostática* -7. Presión de evaporación p_0 -8. Cámara bp -9. Llegada compresor/dépósito ap líquido -10. Presión de muelle p_3 -11. Cámara ap líquido -12. Cuerpo de válvula de expansión -13. Sistema de tarado del muelle -14. Muelle -15. Punta o válvula de expansión -16. Orificio de expansión (sección variable) -17. Varilla de mando -18. Evaporador -19. Aspiración compresor gas bp

TIPOS DE VÁLVULA DE EXPANSIÓN:

- MANUAL:** En este tipo de válvulas la regulación del flujo del refrigerante se realiza mediante un tornillo. el sobrecalentamiento a la salida del evaporador no dependerá de la temperatura de evaporación, sino que será constante. su uso es casi obsoleto en los equipos de refrigeración, ya que actualmente existen mejores.

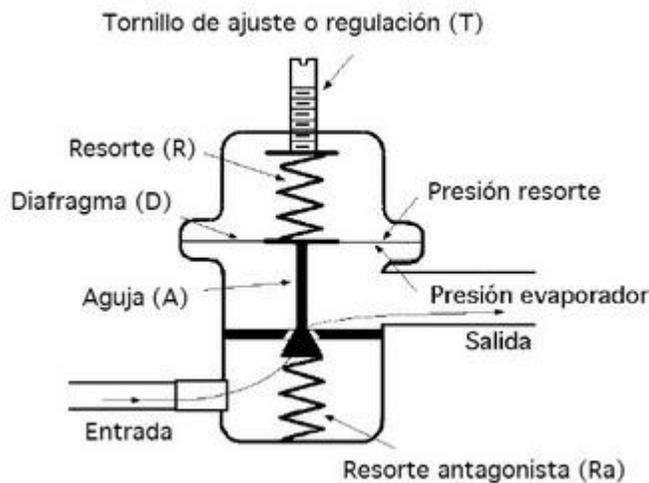


Ilustración 2.11.8.1. Válvula de expansión manual con tornillo de regulación

- **TERMOSTÁTICA:** Denominada VET (válvula de expansión termostática) actúa por medio de un elemento de expansión controlado por un bulbo sensor, el cual regula el flujo del refrigerante líquido a través del orificio de la VET, su uso es más común que el anterior ya que varios equipos domésticos en la actualidad cuentan con este tipo de válvulas.

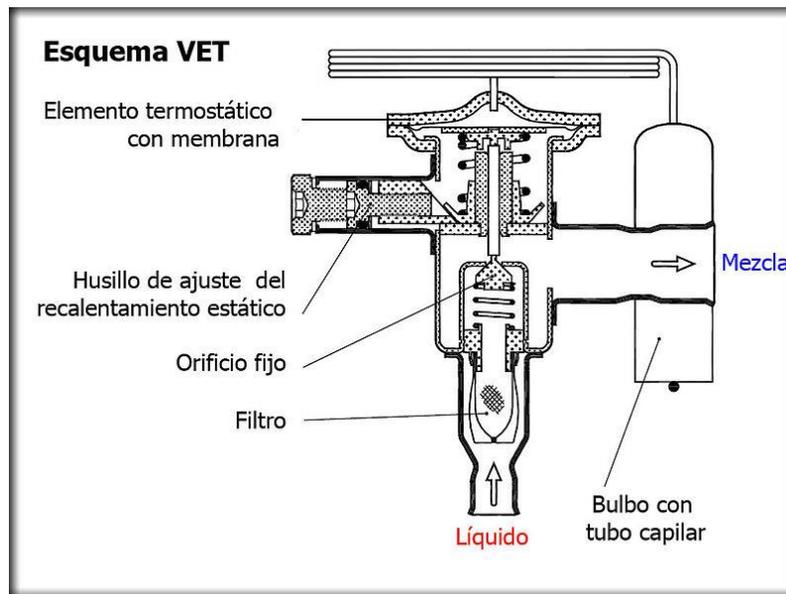


Ilustración 2.11.8.2. Válvula de expansión termostática con bulbo sensor a la salida

- **AUTOMÁTICA:** Trabaja mediante un control electrónico, en el cual sensores de temperatura envían señales a un circuito electrónico y éste mediante esos datos mantiene un sobrecalentamiento dentro de los parámetros permitidos para el funcionamiento del equipo.

FUNCIONAMIENTO DE UNA VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA: Este dispositivo permite mejorar la eficiencia de los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado, ya que regula la velocidad del refrigerante en función de la carga térmica. el refrigerante que ingresa al evaporador de expansión directa lo hace en estado de mezcla líquido/vapor, ya que al salir de la válvula se produce una brusca caída de presión producida por la expansión del líquido refrigerante, lo que provoca un parcial cambio de estado del fluido a la entrada del evaporador.

En la válvula intervienen 3 presiones:

- **P1:** La presión del bulbo que actúa en la parte superior de la membrana y en dirección de apertura de la válvula.
- **P2:** La presión del evaporador, que influye en la parte inferior de la membrana y en la dirección de cierre de la válvula.
- **P3:** La fuerza del resorte, que influye en la parte inferior de la membrana y la única variable que es controlable por parte del técnico.

Cuando la válvula regula hay un balance entre la presión del bulbo por la parte superior de la membrana, mientras que en contra se tendrá la presión del evaporador y la del resorte, esto con el fin de encontrar el sobrecalentamiento más adecuado de operación.

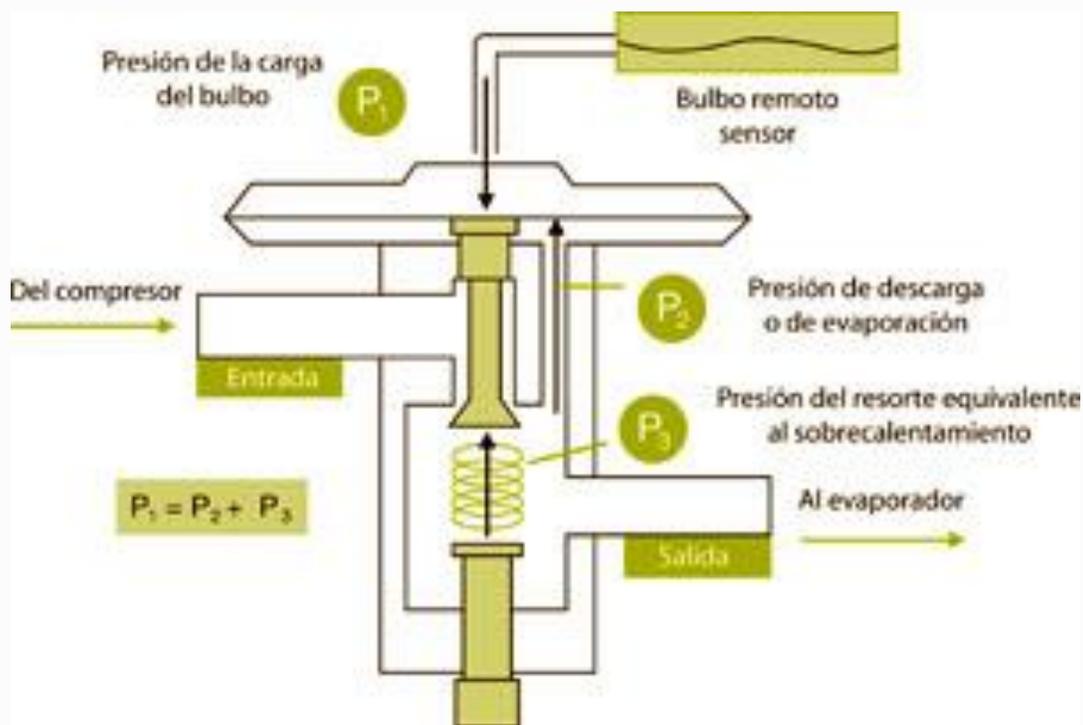


Ilustración 2.11.8.3. Presiones que actúan en una válvula de expansión

De esta manera, al variar la presión de evaporación, debe modificar también la presión de la mezcla líquido/vapor al interior del bulbo sensor -ya que la presión del husillo es constante- para mantener el equilibrio de presiones.

Cada vez que ésta condición de equilibrio se rompa, es decir aumente la presión de evaporación, habrá flujo de refrigerante hasta que la presión del bulbo se eleve lo suficiente como para establecer el equilibrio de tensiones.

2.10.4 EVAPORADOR: El evaporador de un sistema de refrigeración es el dispositivo a través del cual fluye el calor que se pretende desechar, esto es la unidad del sistema que absorbe el calor que ha ingresado y que será desechado en el condensador. Su función principal es absorber el calor del aire que lo rodea y pasarlo al refrigerante para su desecho, lo que se conoce como serpentín de enfriamiento, unidad de enfriamiento o ebullición.

Podemos tener evaporadores de expansión directa o inundados y su diferencia será la geometría del serpentín, el refrigerante y la manera en la que circula el refrigerante por él.

El refrigerante circulará por un tubo continuo a través del evaporador de expansión directa.

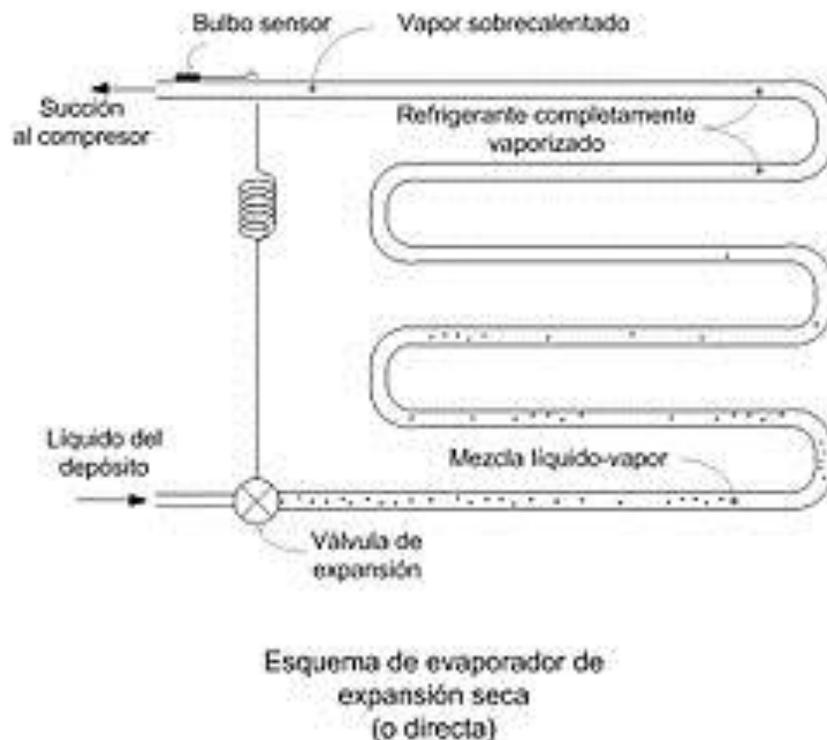


Ilustración 2.11.9. Evaporador de expansión directa

Mientras que en el inundado la recirculación del refrigerante se realiza mediante un tanque que tiene un flotador el cual mantiene constante el nivel del refrigerante.

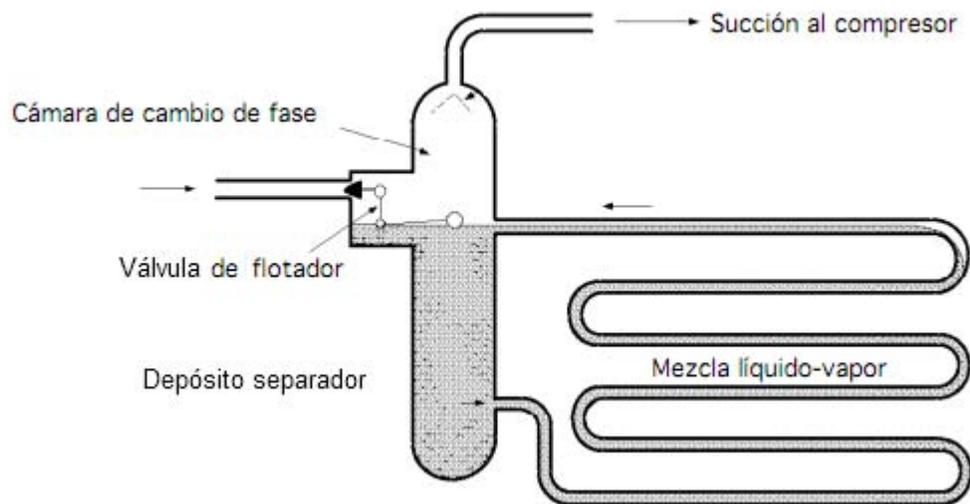


Ilustración 2.11.10. Evaporador inundado

Un punto que está en contra de los evaporadores es la escarcha, de hecho todos los serpentines se escarchan con su funcionamiento y esto es como una capa que impide el cambio de calor entre el exterior y el refrigerante, la diferencia es el ancho de la capa de escarcha que se forma.

Los serpentines escarchados tienen la desventaja que para eliminar la película de escarcha que se forma continuamente debe dejar de funcionar la máquina por intervalos de tiempo, lo que hace que su rendimiento disminuya significativamente con respecto a los serpentines sin escarchado.

Los serpentines de evaporación más modernos cuentan con válvulas de expansión que regulan el paso de refrigerante al evaporador y esto permite una mayor eficiencia en su uso.

Los factores que afectan la capacidad del evaporador son similares a los que afectan la capacidad del condensador:

- área del evaporador

- diferencia de temperatura entre el refrigerante y el medio que se requiere refrigerar.
- velocidad del refrigerante dentro del serpentín del evaporador.
- velocidad y flujo de la superficie del evaporador del medio que se está refrigerando.
- material utilizado en la construcción del evaporador.
- si el evaporador además cuenta con aletas.
- acumulación de escarcha en las aletas del evaporador, el funcionamiento a temperaturas inferiores al punto de congelación con serpentines de flujo forzado producirá la formación de escarcha y hielo en los tubos y aletas. ello puede disminuir el flujo del aire sobre el evaporador y la disminución de la transferencia de calor.
- tipo del medio que a de refrigerarse, el cual fluye casi cinco veces con mejor efectividad de un líquido hacia el evaporador que de un gas como el aire.
- punto de saturación del aire que entra. Si la temperatura del evaporador se encuentra por debajo del punto de saturación del aire que entra, tendrá lugar una transferencia de calor latente y sensible.

Puesto que para una instalación dada se fijan las características fijas, la variable primaria como en el caso del condensador, es la diferencia de temperaturas entre el refrigerante en evaporación y el medio que se requiere enfriar.

Para un serpentín de tiro forzado, mientras más frío esté el refrigerante con respecto a la temperatura del aire que entra en el evaporador, mayor será la capacidad del serpentín.

Normalmente se utilizan diferencias de temperatura entre 3°C y 11°C lo cual es por con fines económicos, pero la diferencia de temperatura deberá mantenerse tan baja como sea posible, dado que el funcionamiento y eficacia del compresor será mayor a una presión de succión mayor.

2.11 AIRE ACONDICIONADO: Como se ha visto en el capítulo anterior donde se dieron las definiciones, acondicionar el aire se refiere a prepararlo en condiciones de humedad y temperatura para actividades que en cierta área se van a realizar.

Todas estas preparaciones se realizan mediante procesos que son plasmados en una carta psicrométrica. El uso de tales gráficas permite el análisis de datos psicrométricos y procesos, facilitándose la solución de problemas prácticos relacionados con el aire acondicionado.

Las coordenadas que limitan esta carta son la humedad específica en el eje vertical, la temperatura de bulbo seco en el eje horizontal y la línea de saturación. Se refiere a esta carta únicamente para la mezcla aire-vapor de agua.

2.12 PROCESOS PSICROMÉTRICOS: Los procesos termodinámicos realizados por el aire pueden representarse gráficamente en una carta psicrométrica.

La carta se utiliza también para determinar en los procesos las variaciones de las propiedades significativas, tales como la temperatura, relación de humedad y entalpía.

Algunos de los procesos fundamentales son:

2.12.1 CALENTAMIENTO SENSIBLE: Si pasa un flujo de aire sobre un área más caliente y que ésta no aporte humedad, se tendrá un calentamiento sensible, ya que a la mezcla solo se le eleva la temperatura de bulbo seco sin modificar su humedad específica, por lo tanto la humedad relativa de la mezcla disminuirá, este proceso se puede realizar con un banco de resistencias o un serpentín de calefacción.

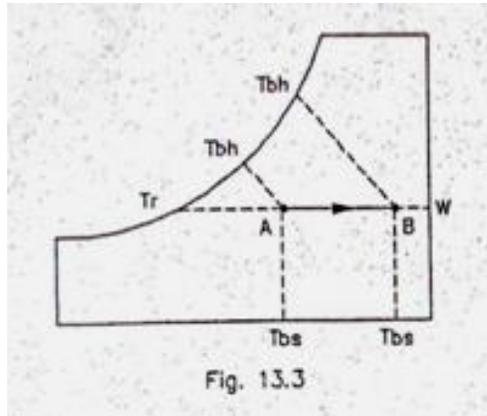


Ilustración 2.12.1. Calentamiento sensible ilustrado en una carta psicrométrica

2.12.2 **ENFRIAMIENTO SENSIBLE:** Si pasamos una corriente de aire sobre un área seca y con menor temperatura, se obtendrá un enfriamiento sensible, no variará la humedad específica, pero la humedad relativa aumentará y se acercará a la línea de saturación, este proceso se puede llevar a cabo con un serpentín de enfriamiento o lo que es lo mismo, el evaporador de un sistema de refrigeración.

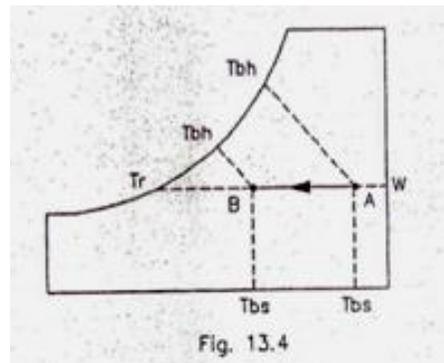


Ilustración 2.12.2. Enfriamiento sensible ilustrado en una carta psicrométrica

2.12.3 **HUMIDIFICACIÓN:** Humedad es la cantidad de agua que contiene el aire, al aumentar esa cantidad de agua en el aire se estará humidificando la mezcla.

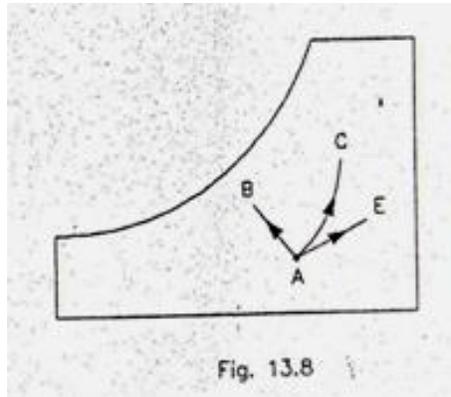
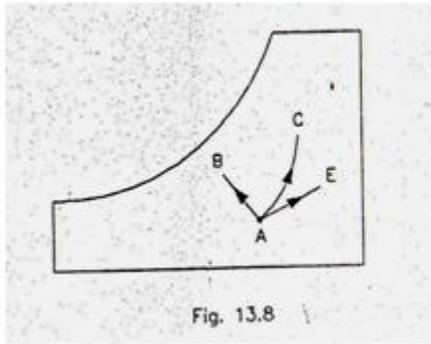


Ilustración 2.12.3. Humidificación ilustrada en la carta psicrométrica

- **SISTEMA DE RIEGO DE AGUA:** Es un sistema parecido a una torre de enfriamiento, donde el agua se atomiza y se deposita en laminillas, al pasar el aire en contracorriente parte de esa agua se evaporará y así aumentará la humedad.
- **SISTEMA EVAPORATIVO:** Este sistema consiste en evaporar agua mediante una fuente de calor y aportarle humedad al aire, se consigue con resistencias de inmersión, las cuales hacen que el agua llegue a la ebullición.
- **SISTEMA DE VAPOR:** La humidificación por vapor se lleva a cabo mediante vapor seco o sobrecalentado, es parecido al sistema evaporativo, solo que en éste el vapor que se agrega no está saturado, por lo tanto el aumento de la temperatura de bulbo seco es mayor que en el anterior.



A - B	Sistema de riego de agua.
A - C	Sistema de vapor.
A - E	Sistema evaporativo.

Ilustración 2.12.4. Procesos de humidificación

2.12.4 DESHUMIDIFICACIÓN: Deshumidificar consiste en reducir la cantidad de humedad en la mezcla aire-vapor de agua; los materiales utilizados para estos fines pueden ser sólidos o líquidos.

Los sólidos retienen la humedad en su superficie, mientras que los líquidos reaccionan químicamente. Los deshumidificadores se dividen también en regenerativos y no regenerativos, dependiendo si la humedad que absorben puede ser devuelta o no.

- **REFRIGERACION:** La deshumidificación por refrigeración consiste en pasar la corriente de aire por un evaporador, al enfriarse el aire este llegará al punto de condensación y la humedad que contenía el aire cambia de estado gaseoso a líquido.
- **DESECANTES:** el proceso de deshumidificación por desecantes conlleva el uso de sustancias químicas que eliminan la humedad del aire, los desecantes físicos más comunes son las sales

CAPÍTULO III: “AIRE ACONDICIONADO VEGETAL”

En el presente capítulo se explicará en que consiste el proceso de acondicionar el aire a nuestro alrededor pero con la ayuda de la vegetación, demostraremos los beneficios de este proceso y obtendremos tablas las cuales nos ayudaran a comparar tanto el ahorro económico como el ahorro energético que estaremos obteniendo al decantarnos por un sistema auxiliar de aire acondicionado vegetal.

3.1 AIRE ACONDICIONADO VEGETAL. La refrigeración vegetal no es un tema nuevo para la humanidad, ya que una de las siete maravillas del mundo antiguo contaba con esta tecnología; los jardines colgantes de babilonia construidos en el siglo I a.C., su fin no era el de refrigerar el interior del palacio sino estético, pero es bastante probable que este haya servido tanto de aislante como refrigeración natural en aquella época.

Este tipo de enfriamiento es muy conocido ya que los efectos refrigerantes de la evaporación son esenciales para que las personas mantengan una temperatura corporal adecuada. El cuerpo humano necesita mantener una temperatura interna de 37 °C. Cuando hace calor, sudamos. La evaporación del sudor de la piel reduce la temperatura corporal, esto es debido a que el aire y el calor del cuerpo evaporan el agua y al perder calor nuestro cuerpo experimenta enfriamiento



Ilustración 3.1. La evaporación del sudor es una parte importante en la termorregulación del cuerpo humano

3.2 PRINCIPIOS BASICOS DE LA REFRIGERACION POR EVAPORACION: El proceso de evaporación del agua se utiliza para producir un enfriamiento cuando este se pone en contacto con el aire. El potencial de enfriamiento se incrementa cuando la diferencia de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo aumenta.

La refrigeración vegetal se lleva a cabo a través de la evaporación, para ejemplificarlo podemos decir que el agua está compuesta de moléculas diminutas. Si bien puede parecer que el agua en un vaso está quieta, las moléculas se mueven constantemente. La temperatura del agua depende de cuán rápido se mueven en promedio las moléculas. Mientras más rápido se mueven, mayor temperatura tiene el agua.

Sin embargo no todas las moléculas se mueven a la misma velocidad, unas lo hacen más rápido que otras. Ocasionalmente, algunas moléculas se escapan de la superficie, ya no forman parte del agua líquida, ahora son un gas llamado vapor de agua.

En esto consiste la evaporación. ¿Qué moléculas tienen mayor probabilidad de escaparse? las más rápidas. Las que tienen más energía, como las moléculas que quedan son las más lentas, la temperatura del agua que queda es más baja. Por ello la evaporación produce refrigeración.

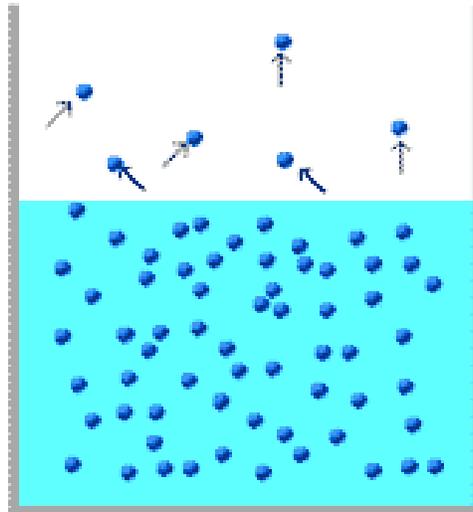


Ilustración 3.2. Ejemplificación de las moléculas de agua en un recipiente, algunas evaporadas.

La cantidad de evaporación dependerá en parte de cuánto vapor de agua ya haya en el aire. El aire puede retener una cierta cantidad de vapor de agua, el índice de cuánto vapor de agua hay en el aire en un determinado momento y lugar se denomina “humedad relativa”. Si la humedad relativa es del 50%, esto significa que el aire retiene la mitad del vapor de agua que puede retener. Cuando hay poca humedad, la evaporación puede avanzar más rápidamente. Cuando hay un alto índice de humedad, la evaporación disminuye.

La evaporación es más lenta con un índice alto de humedad porque el intercambio de agua líquida y vapor de agua en el aire es en ambos sentidos. De igual manera que una molécula de agua ocasionalmente se escapa de la superficie del líquido, una molécula de agua que flota en el aire puede tocar la superficie y adherirse a ésta. Si hay poca humedad, la mayoría del movimiento es desde el líquido hacia el vapor. Si hay mucha humedad, hay más moléculas de agua en el aire; por lo tanto, hay más posibilidades de que algunas vayan hacia el líquido. Cuando la humedad es del 100% hay tantas moléculas que ingresan en el líquido como moléculas que se escapan de éste, por lo que no hay cambios en la cantidad del líquido.

El aire caliente lleva más humedad que el aire frío y por lo tanto cuando el aire se calienta sin cambiar el contenido de humedad, la humedad relativa disminuye. A la inversa, cuando el aire se enfría, la humedad relativa aumenta.

3.3 FUNCONAMIENTO: El volumen de aire que pasa a través del medio afecta la capacidad de enfriamiento del climatizador junto con la velocidad de evaporación del agua. El volumen de aire también afecta la capacidad que tiene el climatizador para reducir la temperatura de una habitación.

La velocidad del aire a través del medio es un criterio importante para determinar la eficiencia. La velocidad es también importante para prevenir que el agua sea arrastrada y expulsada.

En los lugares de climas cálidos y secos, se utilizan sistemas de refrigeración por evaporación para mantener frescas las habitaciones e incluso los espacios exteriores. Se hace circular aire sobre una superficie húmeda o se pulveriza agua en el aire. A medida que ésta se evapora, el aire se enfría.

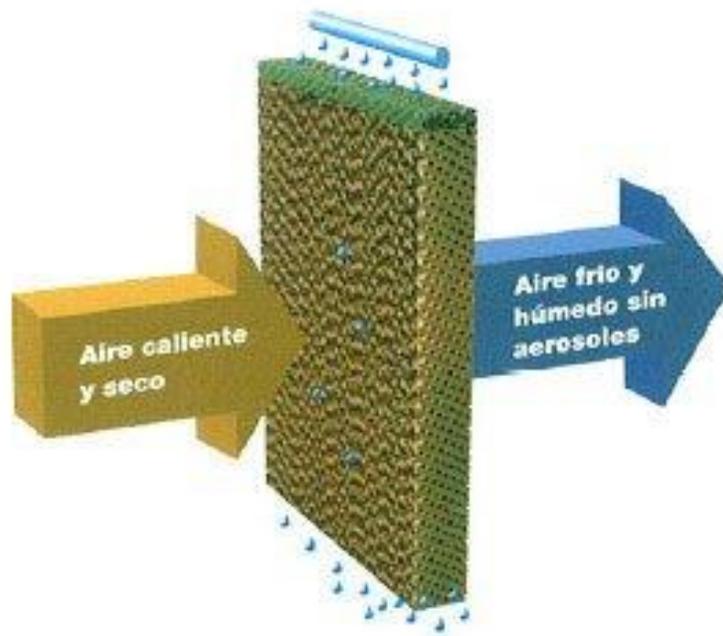


Ilustración 3.3. Panel vegetal humedecido y evaporado por el aire.

En un climatizador evaporativo, el calor latente que es absorbido por el agua cuando cambia de estado líquido a vapor, se toma tanto del aire que pasa a través del medio y del agua que queda en el medio – por lo tanto, tanto el aire como el agua se enfrían y sus temperaturas bajan. El agua no nos interesa, lo que nos interesa es el aire enfriado.

3.4 CASO PRÁCTICO: En esta parte del trabajo se demostrara la capacidad de enfriamiento de la refrigeración por evaporación, y se comparara con un sistema de aire acondicionado convencional, veremos el costo final y el ahorro que se logra.

El caso práctico consistirá en una experimentación preliminar de tres espacios: A, B y C; con longitudes de 50cm * 50cm * 30cm (de 0.075 m³) cada uno; el espacio A con vegetación y en este espacio se vertió 1 litro de agua a una temperatura de 30°C; el espacio B solo con vegetación, sin agua; y el espacio C en pavimento, de un lado se colocaran ventiladores y al final de cada espacio se colocaron un termómetro de bulbo seco y otro termómetro de bulbo húmedo.

Las condiciones iniciales eran de una temperatura de bulbo seco de 30°C, una temperatura de bulbo húmedo de 15.5°C y una humedad relativa del 20%. Los ventiladores que se utilizaron son de una potencia de 18 watts con un consumo de energía en operación de 14.7 Wh; el tiempo de la experimentación será de 30 minutos.

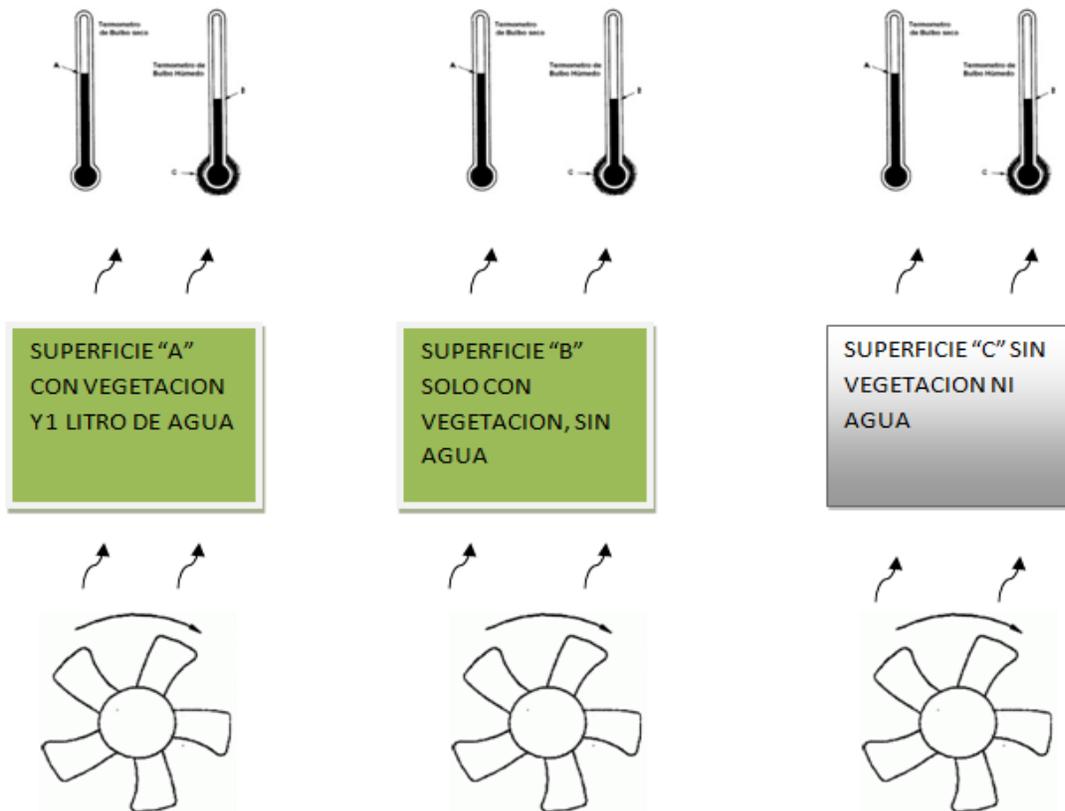


Ilustración 3.4. Ejemplificación de caso practico

A continuación se presenta la tabla de resultados:

Tabla 6 Tabla de resultados después de experimentar por 30 minutos

Tiempo (min)	A		B		C	
	BS (°C)	BH(°C)	BS (°C)	BH (°C)	BS (°C)	BH (°C)
0	30	15.5	30	15.5	30	15.5
5	26.2	15.8	26.5	15.5	27.4	15.5
10	23.7	15.8	24.7	15.5	27	15.5
15	21.4	15.9	24	15.6	26	15.6
20	20	16.1	23	15.7	25.5	15.7
25	19.7	16.2	22.5	15.7	24.5	15.8
30	19	16.3	22	15.8	24.5	15.8

De estos resultados podemos observar que en la superficie A obtuvimos un mayor descenso de temperatura, en comparación con la superficie B y esta mayor que la superficie C, esto se debe a que el aire que pasa por esta superficie con vegetación y humedad pierde más energía que en las otras dos superficies.

SUPERFICIE A: En esta superficie el aire experimenta una diferencia de temperatura debido a que pierde energía y su temperatura disminuye, por consiguiente la temperatura del agua también disminuye y por ultimo el agua que está regada en la superficie se evapora.

$$T_{\text{aire}} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{f}} = 19^{\circ}\text{C}$$

Energía cedida por el aire = $Q_1 + Q_2 + Q_3$

Q_1 = diferencia de temperatura del aire

Q_2 = diferencia de temperatura del agua

Q_3 = evaporación del agua

$$Q_1 = (m_{\text{aire}}) (C_{e_{\text{aire}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{aire}} = (\rho_{\text{aire}}) (\text{volumen})$$

$$m_{\text{aire}} = (1.293 \text{ kg/m}^3) (0.075 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{aire}} = 0.0969 \text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{aire}}} = 1 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T = 11 \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

$$Q_1 = (0.0969 \text{ kg}) (1 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{K}) (11 \text{ } ^{\circ}\text{K}) = 1.066 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = (m_{\text{agua}}) (C_{e_{\text{agua}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$1 \text{ litro} = 0.001 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.001 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 1 \text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{agua}}} = 4.18 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T = 11 \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

$$Q_2 = (1 \text{ kg}) (4.18 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{K}) (11 \text{ } ^{\circ}\text{K}) = 45.98 \text{ kJ}$$

$$Q3 = (m_{\text{agua}}) (L_{\text{agua}})$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$1 \text{ litro} = 0.001 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.001 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 1 \text{ kg}$$

$$L_{\text{agua}} = 2250 \text{ kJ/kg}$$

$$Q3 = (1 \text{ kg}) (2250 \text{ kJ/kg}) = 2250 \text{ kJ}$$

La energía que pierde el aire al enfriarse, enfriar el agua y evaporarla es igual a la suma de las tres anteriores, 2297 kJ, que en comparación con la energía utilizada por el ventiladores de 32.4 kJ es mucho mayor

SUPERFICIE B: En esta superficie también se experimento un enfriamiento, pero menor en comparación al anterior debido a que no hubo un evaporamiento.

Energía cedida por el aire = Q1

$$Q1 = \text{diferencia de temperatura del aire}$$

$$Q1 = (m_{\text{aire}}) (C_{e_{\text{aire}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{aire}} = (\rho_{\text{aire}}) (\text{volumen})$$

$$m_{\text{aire}} = (1.293 \text{ kg/m}^3) (0.075 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{aire}} = 0.0969 \text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{aire}}} = 1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 8 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q1 = (0.0969 \text{ kg}) (1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}) (8 \text{ } ^\circ\text{K}) = 0.7752 \text{ kJ}$$

Que es la energía cedida por el aire

SUPERFICIE C: En esta superficie solo estuvo presente la disminución de temperatura en una superficie seca.

Energía cedida por el aire = Q1

$$Q1 = \text{diferencia de temperatura del aire}$$

$$Q1 = (m_{\text{aire}}) (C_{e_{\text{aire}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{aire}} = (\rho_{\text{aire}}) (\text{volumen})$$

$$m_{\text{aire}} = (1.293 \text{ kg/m}^3) (0.075 \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{aire}} = 0.0969 \text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{aire}}} = 1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 5.5 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q_1 = (0.0969 \text{ kg}) (1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}) (5.5 \text{ } ^\circ\text{K}) = 0.533 \text{ kJ}$$

Que es la energía de enfriamiento del aire

Después de realizaron tres pruebas en diferentes estaciones del año usando para ello las condiciones que se tenían en la superficie “A” de vegetación y agua, en este caso se trato de refrigerar una habitación de 27m^3 (3m por lado) y su utilizo una superficie de enfriamiento de 1m^2 pero en esta ocasión por ser un espacio de mayor tamaño que en el experimento preliminar se utilizaron 2 ventiladores y 2 litros de agua.

Y cada una se comparara con un sistema de aire acondicionado SAMSUNG AW05NOAGXAX tipo ventana de solo refrigeración con una capacidad de enfriamiento de 5050 BTU/hr, potencia de funcionamiento de 520 w y una eficiencia energética EER de 2.84 W/W, y otro SAMSUNG AS09TUAC tipo minisplit de solo refrigeración con una capacidad de enfriamiento de 9000 BTU/hr, potencia de funcionamiento de 930 w y una eficiencia energética EER de 2.84 w/w

Los resultados en los diferentes meses del año fueron los siguientes:

Agosto:

Condiciones iniciales:

Temperatura de bulbo seco: 30°C

Temperatura de bulbo húmedo: 15.5°C

Humedad relativa: 20%

Tabla 7 Tabla de resultados en una habitación en el mes de agosto

Tiempo (min)	BS ($^\circ\text{C}$)	BH ($^\circ\text{C}$)
0	30	15.5
10	28	15.7

20	26	16
30	26	16.3
40	25	16.3
50	25	16.7
60	25	17

Energía cedida por el aire = Q1 + Q2 + Q3

Q1 = diferencia de temperatura del aire

Q2 = diferencia de temperatura del agua

Q3 = evaporación del agua

$$Q1 = (m_{\text{aire}}) (C_{e_{\text{aire}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{aire}} = (\rho_{\text{aire}}) (\text{volumen})$$

$$m_{\text{aire}} = (1.293 \text{ kg/m}^3) (27\text{m}^3)$$

$$m_{\text{aire}} = 34.9\text{kg}$$

$$C_{e_{\text{aire}}} = 1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 5 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q1 = (34.9 \text{ kg}) (1\text{kJ/kg } ^\circ\text{K}) (5 \text{ } ^\circ\text{K}) = 174.5 \text{ kJ}$$

$$Q2 = (m_{\text{agua}}) (C_{e_{\text{agua}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$2 \text{ litros} = 0.002 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.002\text{m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 2 \text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{agua}}} = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 5 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q2 = (2 \text{ kg}) (4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}) (5^\circ\text{K}) = 41.8 \text{ kJ}$$

$$Q3 = (m_{\text{agua}}) (L_{\text{agua}})$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$2 \text{ litros} = 0.002 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.002\text{m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 2 \text{ kg}$$

$$L_{\text{agua}} = 2250 \text{ kJ/kg}$$

$$Q3 = (2\text{kg}) (2250 \text{ kJ/kg}) = 4500 \text{ kJ}$$

La energía de enfriamiento que se obtuvo en la habitación durante media hora fue de 4716 kJ o 4471BTU

En un diseño llevado a la realidad, aparte de la ventilación se tendría que usar una bomba de agua que este alimentando continuamente a la vegetación e iluminación para que tuviera una mejor estética.

Entonces tendríamos que para obtener el EER (coeficiente de eficiencia energética) de este sistema de refrigeración:

$$EER = (\text{capacidad de refrigeración}) / (\text{consumo de energía utilizado para obtenerlo})$$

$$\text{Capacidad de refrigeración} = 4716 \text{ kJ} / 3600\text{seg} = 1.31 \text{ kw}$$

$$EER = (1310 \text{ w}) / (36 \text{ w} + 30 \text{ w} + 72 \text{ w}) = 9.5$$

36 w: 2 ventiladores

30 w: bomba de agua sumergible de hasta 1.5 mts de altura

72 w: iluminación led

Que esta cifra entre mayor es, mejor es el rendimiento.

Ahora comparándolo con el aire acondicionado que se menciona anteriormente, este tiene un EER de 2.84 y su comparación es la siguiente.

Tabla 8 Comparacion de diferentes tipos de aire acondicionado con datos electricos

		AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	AIRE ACONDICIONADO TIPO VENTANA	AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	BTU/hr	4471	5050	9000
	kJ/hr	4716	5327.75	9495.5
	kw	1.31	1.48	2.637
EFICIENCIA ENERGETICA (EER)	w/w	9.49	2.85	2.84
CONSUMO DE ENERGIA	w	138	520	930
TIPO DE REFRIGERANTE		agua	R-22	R-22

Ahora veremos el ahorro que esto representa en cuanto a consumo de electricidad y su facturación.

En el Distrito Federal 1kw-h de electricidad cuesta \$0.98, teniendo este dato podemos observar que para obtener un enfriamiento equivalente a 4716kJ que obtuvimos se tuvo que poner en funcionamiento los dos ventiladores, una bomba de agua y la iluminación por 60 minutos, mientras que con el aire acondicionado de ventana con los datos dados por el fabricante para remover esa

carga térmica se pondría en funcionamiento por 54 minutos y para el aire acondicionado tipo minislplit 31 minutos.

Tabla 9 Comparacion de la energía utilizada y lo que esto cuesta

		AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	AIRE ACONDICIONADO TIPO VENTANA	AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT
CARGA TERMICA	kJ	4716	4716	4716
TIEMPO	min	60	56	31
CONSUMO DE ENERGIA	w	138	520	930
ENERGIA UTILIZADA	kJ	496.80	1748.19	1754.35
	kwh	0.14	0.49	0.49
COSTO	\$	\$0.14	\$0.48	\$0.48
COSTO POR UN DIA (8HRS)	\$	\$1.08	\$4.08	\$7.29
COSTO POR UN MES	\$	\$32.46	\$122.30	\$218.74

Diciembre:

Condiciones iniciales:

Temperatura de bulbo seco: 23°C

Temperatura de bulbo húmedo: 13.7°C

Humedad relativa: 38%

Tabla 10 Tabla de resultados en una habitación en el mes de diciembre

Tiempo (minutos)	BS	BH
0	23	13.7
10	22	14
20	21	14.2
30	20	14.3
40	20	14.3
50	20	14.4
60	20	14.4

Energia cedida por el aire = Q1 + Q2 + Q3

Q1 = diferencia de temperatura del aire

Q2 = diferencia de temperatura del agua

Q3 = evaporación del agua

$$Q1 = (m_{\text{aire}}) (C_{e_{\text{aire}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{aire}} = (\rho_{\text{aire}}) (\text{volumen})$$

$$m_{\text{aire}} = (1.293 \text{ kg/m}^3) (27\text{m}^3)$$

$$m_{\text{aire}} = 34.9\text{kg}$$

$$C_{e_{\text{aire}}} = 1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 3 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q1 = (34.9 \text{ kg}) (1\text{kJ/kg } ^\circ\text{K}) (3 \text{ } ^\circ\text{K}) = 104.7 \text{ kJ}$$

$$Q2 = (m_{\text{agua}}) (C_{e_{\text{agua}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$2 \text{ litros} = 0.002 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.002\text{m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 2 \text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{agua}}} = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 3 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q2 = (2 \text{ kg}) (4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}) (3^\circ\text{K}) = 25.1\text{kJ}$$

$$Q3 = (m_{\text{agua}}) (L_{\text{agua}})$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$2 \text{ litro} = 0.002 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.002\text{m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 2 \text{ kg}$$

$$L_{\text{agua}} = 2250 \text{ kJ/kg}$$

$$Q3 = (2\text{kg}) (2250 \text{ kJ/kg}) = 4500\text{kJ}$$

$$Q = Q1 + Q2 + Q3 = 4629.8$$

La energía de enfriamiento que se obtuvo en la habitación fue de 4629.8 kJ, lo que equivale 4389.25 BTU

Obteniendo el EER y haciendo las comparaciones:

$$\text{EER} = 1286\text{w} / 138\text{w} = 9.3$$

Tabla 61 Comparacion en el mes de diciembre

		AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	AIRE ACONDICIONADO TIPO VENTANA	AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	BTU/hr	4389	5050	9000
	kJ/hr	4630	5327.75	9495.5
	kw	1.28	1.48	2.637
EFICIENCIA ENERGETICA (EER)	w/w	9.28	2.85	2.84
CONSUMO DE ENERGIA	w	138	520	930
TIPO DE REFRIGERANTE		agua	R-22	R-22

		AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	AIRE ACONDICIONADO TIPO VENTANA	AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT
CARGA TERMICA	kJ	4630	4630	4630
TIEMPO	min	60	55	31
CONSUMO DE ENERGIA	w	138	520	930
ENERGIA UTILIZADA	kJ	496.80	1716.31	1722.36
	kwh	0.14	0.48	0.48
COSTO	\$	\$0.14	\$0.47	\$0.47
COSTO POR UN DIA (8HRS)	\$	\$1.08	\$4.08	\$7.29
COSTO POR UN MES	\$	\$32.46	\$122.30	\$218.74

Marzo:

Condiciones iniciales:

Temperatura de bulbo seco: 34°C

Temperatura de bulbo húmedo: 18°C

Humedad relativa: 20%

Tabla 12 Tabla de resultados en una habitación en el mes de marzo

Tiempo (minutos)	BS	BH
0	34	18
10	29	14
20	26	14.2
30	24	14.3
40	23	14.3
50	22	14.4
60	22	14.4

Energia cedida por el aire = Q1 + Q2 + Q3

Q1 = diferencia de temperatura del aire

Q2 = diferencia de temperatura del agua

Q3 = evaporación del agua

$$Q1 = (m_{\text{aire}}) (C_{e_{\text{aire}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{aire}} = (\rho_{\text{aire}}) (\text{volumen})$$

$$m_{\text{aire}} = (1.293 \text{ kg/m}^3) (27\text{m}^3)$$

$$m_{\text{aire}} = 34.9\text{kg}$$

$$C_{e_{\text{aire}}} = 1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 12 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q1 = (34.9 \text{ kg}) (1\text{kJ/kg } ^\circ\text{K}) (12 \text{ } ^\circ\text{K}) = 418.8\text{kJ}$$

$$Q2 = (m_{\text{agua}}) (C_{e_{\text{agua}}}) (\Delta T)$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$2 \text{ litros} = 0.002 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.002\text{m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 2 \text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{agua}}} = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 12 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$Q2 = (2 \text{ kg}) (4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}) (12^\circ\text{K}) = 100.32\text{kJ}$$

$$Q3 = (m_{\text{agua}}) (L_{\text{agua}})$$

$$m_{\text{agua}} = (\rho_{\text{agua}}) (\text{volumen})$$

$$2 \text{ litro} = 0.002 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.002\text{m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 2 \text{ kg}$$

$$L_{\text{agua}} = 2250 \text{ kJ/kg}$$

$$Q3 = (2\text{kg}) (2250 \text{ kJ/kg}) = 4500\text{kJ}$$

$$Q = Q1 + Q2 + Q3 = 5019.12$$

La energía de enfriamiento que se obtuvo en la habitación fue de 5019.12kJ, lo que equivale 4758.34 BTU

Obteniendo el EER y haciendo las comparaciones:

$$\text{EER} = 1394.2\text{w} / 138\text{w} = 10.1$$

Tabla 13 Comparacion en el mes de marzo

		AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	AIRE ACONDICIONADO TIPO VENTANA	AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	BTU/hr	4758	5050	9000
	kJ/hr	5018	5327.75	9495.5
	kw	1.39	1.48	2.637
EFICIENCIA ENERGETICA (EER)	w/w	10.07	2.85	2.84
CONSUMO DE ENERGIA	w	138	520	930
TIPO DE REFRIGERANTE		agua	R-22	R-22
		AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	AIRE ACONDICIONADO TIPO VENTANA	AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT
CARGA TERMICA	kJ	5018	5018	5018
TIEMPO	min	60	56	32
CONSUMO DE ENERGIA	w	138	520	930
ENERGIA UTILIZADA	kJ	496.80	1747.20	1785.60
	kwh	0.14	0.49	0.50
COSTO	\$	\$0.14	\$0.48	\$0.49
COSTO POR UN DIA (8HRS)	\$	\$1.08	\$4.08	\$7.29
COSTO POR UN MES	\$	\$32.46	\$122.30	\$218.74

3.5 AHORRO DE ENERGIA: Estos sistemas consumen también mucho menos electricidad, en promedio utilizan 7 veces menos energía para retirar la misma carga energética que sus contrapartes de marcas como SAMSUNG, LG, WHIRPOOL ahorrando por lo tanto energía, recursos naturales y hasta un 70% en costos de funcionamiento comparado con los acondicionadores de aire a refrigeración de tipo ventana y un 130% en costos comparándolo con un aire acondicionado tipo minisplit.

Tabla 14 Tabla de comparación de ahorro energético, económico y ambiental

	AIRE ACONDICIONADO VEGETAL	AIRE ACONDICIONADO TIPO VENTANA	AIRE ACONDICIONADO TIPO MINI SPLIT
EER (PROMEDIO)	9.61	2.85	2.84
POR UN USO DE 8 HORAS	3974 kJ	14976 kJ	26784 kJ
	1.1 kW-h	4.16 kW-h	7.44 kW-h
AHORRO ENERGETICO (COMPARADO CON MIMISPLIT)	85.17%	44.09%	0%
COSTO (1 kW-h = \$0.98)	\$1.01	\$4.01	\$7.29
COSTO AL MES	\$30.30	\$120.30	\$218.70
AHORRO ECONOMICO (COMPARADO CON MIMISPLIT)	86.14%	44.99%	0%
EMISIONES DE CO ₂ AL MES	21.45 kg de CO ₂	81.12 kg de CO ₂	145.08 kg de CO ₂
EMISIONES DE CO ₂ AL AÑO	257.4 kg de CO ₂	973.44 kg de CO ₂	1740.96 kg de CO ₂

Otro beneficio del enfriamiento evaporativo es que continuamente impulsa aire del exterior en lugar de recircular el mismo aire seco y viciado una y otra vez, es mucho más saludable y beneficioso para la nariz, los ojos y las pieles sensibles.

Los climatizadores evaporativos filtran el aire y proveen un completo cambio de aire cada pocos minutos, garantizando así un continuo flujo de aire puro.

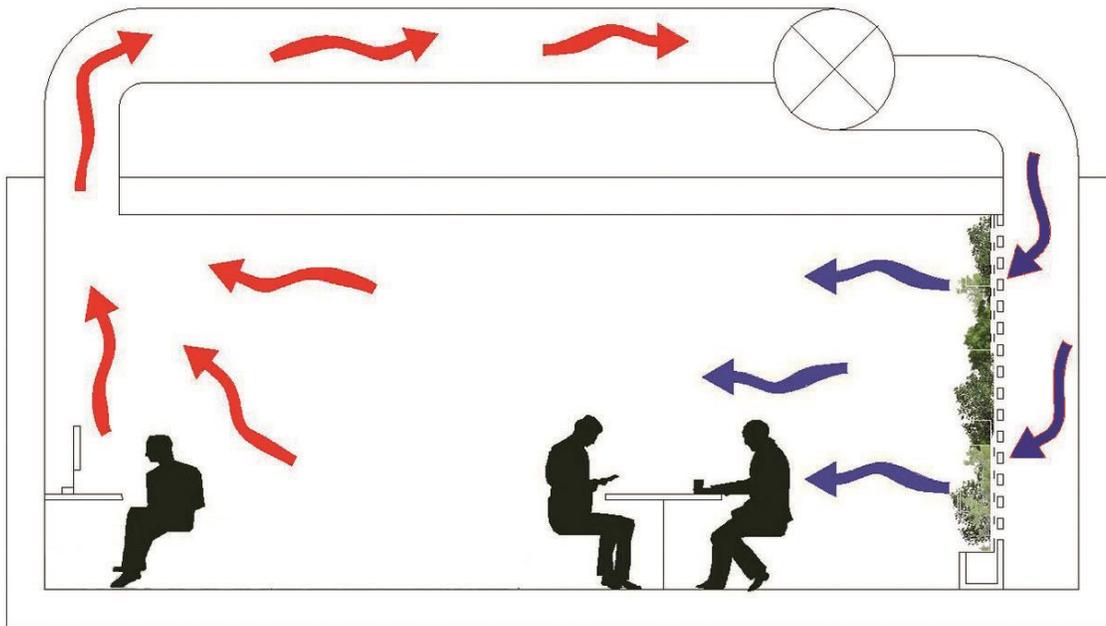


Ilustración 3.5. Recirculación de aire sobre el panel vegetal, lo que optimiza la calidad del aire

Una de las principales ventajas del aire acondicionado es su capacidad de autoregulación sin la dependencia del usuario, ya que como las plantas son seres vivos estas regulan su temperatura en función de los factores ambientales: temperatura, humedad y las necesidades de estas son parecidas a las de los humanos.

Las plantas evaporan más agua cuando hace más calor y dejan de hacerlo cuando hace más frío.

Tabla 15 Enfriamiento del aire dependiendo de la humedad relativa y la temperatura externa

Temperatura Ambiente °C	Porcentaje de humedad relativa								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0	7,5	8,0	9,0	9,5
15	7,5	8,5	9,5	10,5	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0
20	11,0	12,0	13,0	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,0
25	14,5	16,0	17,0	18,5	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0
30	17,5	19,0	21,0	22,5	24,0	25,0	26,5	28,0	29,0
35	20	23,0	25	26,5	28,5	30,0	31,5	32,5	34,0
40	23	26,5	29	31,0	32,5	34,5			
45	26	29	32,5	35,0					
50	29	32,5	36,5						

Con una Temperatura externa de 35 grados y una Humedad relativa ambiente del 40%, el equipo enfría el Aire de Salida a 26,5 grados (Baja la Temperatura 8,5 grados).

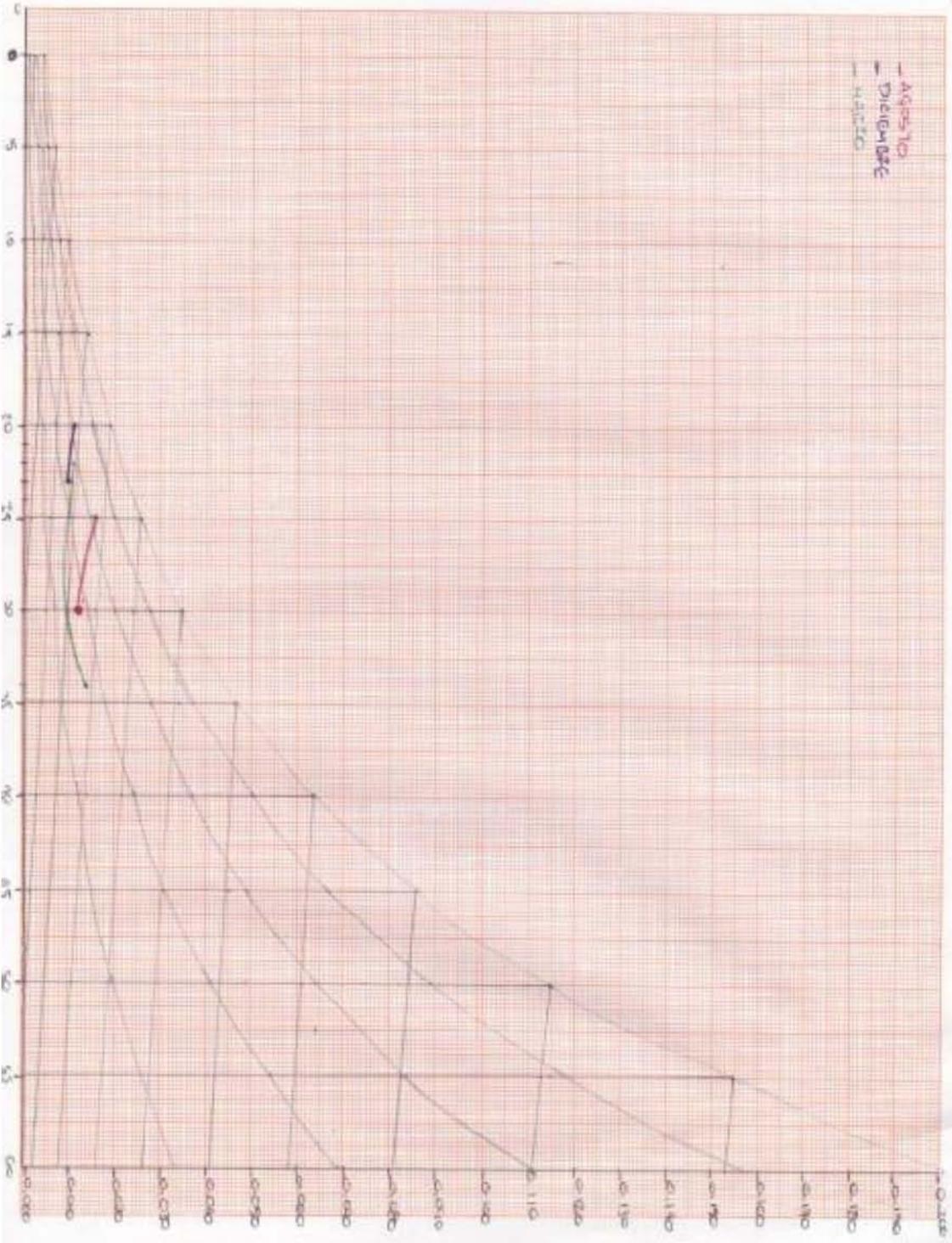
*Cifras Aproximadas

CONCLUSIONES:

El presente trabajo demostró que un sistema de acondicionamiento de aire con ayuda de la vegetación como complemento de un sistema de acondicionamiento a compresión mecánica sería de la opción más viables que tendríamos actualmente, ya que como se comprobó es un sistema mucho más económico y el cual presenta beneficios como son una mejor estética del lugar donde se instale, el aire que se hará circular se limpia por el proceso de la vegetación de intercambio gaseoso (de CO₂ por O₂), la humedad relativa no sobrepasa el 50% recomendado ya que las plantas no evaporaran más agua de la que el medio ambiente requiera.

En lugares como oficinas, hoteles y restaurantes, su instalación sería bien vista ya que aparte de los beneficios antes mencionados se estaría contribuyendo a la disminución de emisiones de CO₂ esto en una relación mayor al 70% de menos emisiones comparado con el minisplit.

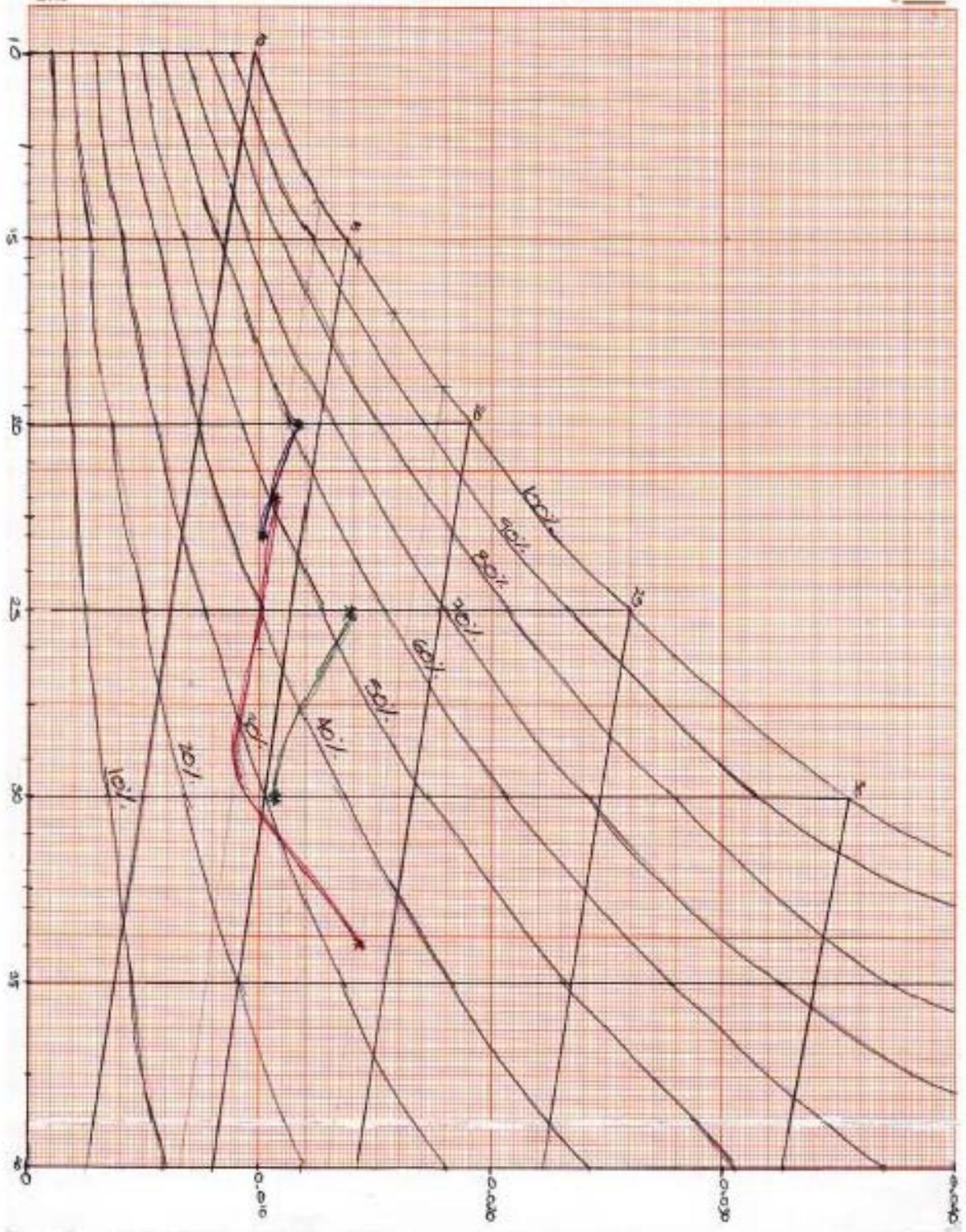
ANEXOS:



de humedad (L/h)

Rendimiento

Datos eléctricos



BIBLIOGRAFIA:

LIBROS:

- Burghardt, M. David; (1984) *INGENIERIA TERMODINAMICA*, (2° edición), Harla, México
- De Cusa, R. Juan; *CALEFACCION, REFRIGERACION Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE*, Editorial CEAC.
- Faires, M. Virgil; (2012) *TERMODINAMICA*, Limusa, México.
- Gieck, Kurt; (2007) *MANUAL DE FORMULAS TECNICAS*, (31° edición), Alfaomega, México
- Havrella, Raymond; (1988); *FUNDAMENTOS DE CALEFACCION, VENTILACION Y AIRE ACONDICIONADO*, Mc GrawHill, México
- Hernandez, G. Eduardo; (2013) *FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION*, Limusa, México.
- Howel, R. Jhon; (2000); *PRINCIPIOS DE LA TERMIDINAMICA PARA INGENIERIA*, Mc GrawHill, México.
- Jennings, H. Burgess; (2008); *AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION*, Continental, México.
- Manrique, V. Jose; (2008); *TRANSFERENCIA DE CALOR*, (2° edición), Oxford, México.
- Mataix, Claudio; (1982); *MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS*, (2° edición), Oxford, México.
- Stoecker, F; (1995); *REFRIGERACION Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE*, Mc GrawHill, México.

INTERNET

- www.urbanarbolismo.es/blog/aire-acondicionado-vegetal
- www.ecologiaverde.com/aire-acondicionado-ecologico
- www.alicanteforestal.es/jardines-verticales
- es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci3n_por_evaporaci3n
- www.monografias.com › Ingenieria
- arboliza.es › Compensar CO2