

68



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGON

“EVALUACION DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO  
EVAPORATIVO IMPULSADOS POR ENERGIA  
SOLAR COMO ALTERNATIVA ENERGETICA  
EN REGIONES DE CLIMA SECO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
( AREA MECANICA )

P R E S E N T A :

Gabriel Suarez Plata

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. SERGIO ANGELES CRAVIOTO

JEFE DE CARRERA:  
ING. IVAN MUÑOZ SOLIS

SAN JUAN DE ARAGON EDO. DE MEX.

2000

2575



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.

## **“MARINO”**

**Tu construyes la vida y la desarrollas,  
con guiñadas firmes tu derrotero trazas,  
intrépido marino, debes seguirte preparando,  
fija bien tu meta y continua navegando.**

**Ten presente esta sentencia:  
“no se define el destino de tu vida  
con el viento que esta soplando  
sino por el timón que estás empuñando”**

**Orienta tu rumbo convencido de ser audaz,  
gobierna tu nave seguro de ser capaz,  
adecuando tu vida como osado marino  
llegarás airoso, triunfante a feliz destino.**

Fragmento Poema Marino  
Autor: Ing. Mec. Nav. Gelasio Plata

## ***Indice.***

### **Introducción**

#### **Capítulo I**

#### **“El hombre, su medio ambiente y la energía”**

I.A	Las características geográficas físicas de México	1
I.A.1	El relieve del suelo mexicano	2
I.A.2	Los tipos de climas de México	3
I.A.2.a	La distribución de los climas en México	4
I.B	El confort para el ser humano	5
I.B.1	La sensación de bienestar en el hombre	5
I.B.2	La acción de algunas condiciones ambientales sobre el ser humano	7
I.B.2.a	Las respuestas innatas	9
I.B.2.b	Las respuestas condicionadas al medio	10
I.B.2.b.1	Sensaciones biotérmicas	11
I.B.2.b.2	Sobre la presión atmosférica	14
I.B.2.b.3	La radiación solar	14
I.B.2.b.4	La ionización atmosférica	15
I.B.2.b.5	La contaminación atmosférica	16
I.C	La energía y su relación eco-social con el ser humano	17
I.C.1	Las fuentes convencionales para la conversión a energía eléctrica	19
I.C.2	Las fuentes alternas para la conversión a energía eléctrica	22
I.C.3	El futuro de la energía	24

#### **Capítulo II**

#### **“La refrigeración y el Sol”**

II.A	La refrigeración mecánica: acondicionador para el confort térmico	26
II.A.1	La tasa de actividad del metabolismo (MET)	29
II.A.2	El nivel de vestimenta (CLO)	29
II.A.3	La temperatura operativa, equivalente y efectiva	32
II.A.4	Las escalas PMV y PPD	33
II.A.5	Índice de confort	34
II.A.6	La carta psicrométrica	38
II.A.6.a	La zona de confort	
II.A.6.b	Los procesos típicos del aire acondicionado en la carta psicrométrica	41
II.A.6.b.1	Calentamiento y enfriamiento sensible	42

II.A.6.b.2	Humedecimiento adiabático y no adiabático	42
II.A.6.b.3	Enfriamiento y desecado	42
II A.6.b.4	Secado químico	43
II A.6.b.5	Mezclado	43
II.A.7	Algunas consideraciones para el acondicionamiento del aire	44
II B	El enfriamiento por evaporación	47
II.B.1	La termodinámica del enfriamiento por evaporación directa	48
II B.2	El enfriamiento real en un sistema basado en la evaporación directa	50
II B.2.a	La eficiencia en la saturación	53
II.B.2.b	La lavadora de aire	54
II.B.2.c	La carta de confort para el enfriamiento por evaporación	56
II.B.3	Las características del equipo para enfriar por evaporación	58
II.B.3.a	La capacidad del enfriador	59
II.B.3.b	Las partes básicas en un enfriador por evaporación directa	64
II.B.3.b.1	El gabinete	65
II.B.3.b.2	Los ventiladores y sus motores	66
II.B.3.b.2.a	La clasificación de los motores	67
II.B.3.b.3	Los receptáculos de las almohadillas	69
II.B.3.b.4	Sistemas de distribución del agua	70
II.B.3.b.4 a	Bombas para reabastecer	72
II.B.3.b.5	Materiales para almohadillas	75
II.B.3.b.5 a	Las almohadillas de dispositivo rígido	77
II.B.3.b.5 b	El espesor de la almohadilla y su densidad	78
II.B.3.b.5 c	La velocidad del aire en las almohadillas	81
II.B.3.b.5.d	El flujo de agua en las almohadillas	83
II.B.3.b.6	Controles	86
II.C	La energía que proviene del Sol	88
II C 1	La energía del Sol	89
II C 1.a	Tiempos del Sol	89
II.C.1.b	Ángulos solares	91
II C 1.c	Radiación solar	95
II C 2	Sistemas recolectores de energía solar	98
II.C.2.a	Las fotoceldas	100
II.C.2.a.1	La teoría del estado sólido con los semiconductores	100
II.C.2.a.2	La operación de una fotocelda	103
II C 2.a.3	Tipos de fotoceldas en base a sus materiales constituyentes	108
II.C.2 b	Tamaño de un sistema fotoeléctrico	111
II C.2.b.1	Respaldo eléctrico para un sistema fotoeléctrico	112

### Capítulo III

#### "El enfriamiento por evaporación directa y las fotoceldas una alternativa energética a los costos derivados del consumo de energía hecho por los sistemas simples de aire acondicionado"

III.A	La localidad y sus condiciones de diseño	114
III.B	La capacidad neta del enfriador por evaporación directa	116
III.B 1	Los requerimientos de energía del ventilador	118

III.B.2	La energía que necesita la bomba	122
III.C	La parte solar del sistema enfriador	124
III.C.1	Las fotoceldas para operar el enfriador	124
III.C.2	Un sistema de respaldo eléctrico	125
III.D	La inversión	128

#### Capítulo IV “Cuestión de dinero”

IV.A	Los hechos	132
IV.B	El dinero y algunas expectativas	133

#### Anexos

Distribución de climas en la República Mexicana	A-1
Fisiografía de México	A-2
Generación de corriente eléctrica	A-3
Mapa 1	A-4
Mapa 2	A-5
Mapa 3	A-6
Mapa 4	A-7
Tabla de Valores MET	A-8
Tabla de Valores CLO	A-9
Carta psicrométrica	A-10
Diagrama de confort	A-11
Procesos típicos del aire acondicionado	A-12
Carta de confort para el enfriamiento por evaporación	A-13
Calculadora de confort para el enfriamiento por evaporación directa	A-14
Radiación solar	A-15
Análisis de costos y aspecto financieros	A-16

#### Bibliografía

## ***Introducción***

Desde los inicios mismos de la vida en la Tierra, la energía ha estado jugando un papel muy importante en el desarrollo de todos los seres vivos muy en especial con el progreso del ser humano en donde sus civilizaciones han requerido de este "poder" para merecer trascender en el mundo animal.

A través de los anales, que han ido escribiendo con el acrecentamiento de la humanidad, ha quedado claro que las formas más primitivas que se conocen en donde se haya empleado energía son precisamente en aquellas funciones vitales que se llevan a cabo dentro del mismo cuerpo de un ser vivo. Esta energía es resultado de la transformación de la energía contenida en los alimentos y que es tan imprescindible para que el cuerpo humano pueda funcionar, dando la fuerza a sus músculos y a su vez constituyéndose como su principal fuente para su desarrollo físico. Después, como los hombres primitivos se fueron congregando en pequeñas sociedades, fortuitamente aprendieron a transformar la energía almacenada en las plantas y la madera en fuego.

Hoy en día, en un mundo tan lleno de avances técnicos la energía es para todos muy importante, quizás mucho más que en antaño, debido a que sin ella muchos de los logros tecnológicos alcanzados no verían su funcionalidad.

El florecimiento de todas las naciones del mundo se ha venido sustentando en el acrecentamiento de cada economía individualmente, impulsada por un feroz consumo de energía. Esto ha sido concebible gracias a que con los nuevos adelantos técnicos se han podido diseñar satisfactores que resuman algunas de las carencias humanas. Pero la prosperidad económica de una nación fundamentada en la voraz utilización de la energía va acompañada de una "perturbación".

No todo lo que le circunda al ser humano son los avances técnicos, durante todo el tiempo en que este ha estado habitando la Tierra se ha tenido que enfrentar a las fuerzas naturales que acompañan a la madre Tierra. Algunas de estas fuerzas de la naturaleza terminan en desastres enormes que les cuestan a las poblaciones sus recursos financieros y hasta lo más atesorado: la vida. Cabe mencionar aquí que estas fuerzas en

la actualidad han comenzado a tornarse devastadoras debido en gran medida a la degradación del medio ambiente.

Otras fuerzas de la naturaleza afectan al individuo en menor forma pero no por ello son irrelevantes como es el caso de los efectos meteorológicos y el clima. Cualquier ser vivo se ve afectado física y emocionalmente por las condiciones meteorológicas que prevalecen en un momento dado, como ejemplos cabe citar que si un individuo se encontrará en un lugar donde está lloviendo este ser comenzaría a observar una depresión emocional o tan sencillo que si un ser permaneciera aislado aún con las mejores condiciones climáticas este individuo o cualquier otro experimentaría una experiencia de retracción mental. Aunque el hombre ha podido minimizar los efectos de estos fenómenos naturales con los conocimientos adquiridos a lo largo de su evolución muchos de los medios empleados para tales tareas requieren de la acción activa de la energía y con ello traen la cuestionable tarea de cómo proveerlos de esa fuerza.

En el muy particular punto de vista de esta investigación, las poblaciones que están asentadas en zonas donde las condiciones del clima son poco benevolentes, como los son para los habitantes vecindados en ciudades de la zona noroeste de la República Mexicana en donde las principales características del clima son la alta temperatura y el bajo contenido de vapor de agua en el aire, requieren que se mantenga un control sobre dichas variables de tal forma que un individuo se conserve en excelentes condiciones mentales y físicas. Para ello se recurre al empleo de sistemas mecánicos basados en la compresión de una sustancia refrigerante y que ayudan a disminuir la temperatura del aire pero para que se alcancen las metas deseadas se consumen grandes cantidades de corriente eléctrica que finalmente golpean el "bolsillo" del usuario.

Además hay que prever que en el futuro el costo de la energía eléctrica aumentará considerablemente, en gran parte debido a que un gran porcentaje de la electricidad actual se obtiene de la transformación de recursos que se agotan (no renovables) como el petróleo y el carbón.

Se hace hincapié en el desarrollo sustentable que invita al progreso de una nación con la maximización de sus recursos aplicando y desarrollando nuevas tecnologías.

Aprovechar una parte de la energía electromagnética emanada por el Sol para transformarla en corriente eléctrica a través del uso de dispositivos semiconductores y teniendo en cuenta que lo que más abunda en regiones con clima seco y poca humedad es precisamente la energía proveniente del Sol haría posible impulsar un sistema acondicionador del aire que requiera de bajo consumo eléctrico, como en el caso de un evaporador.

Actualmente la generación de electricidad a través de celdas fotoceldas es costosa, pero existe el aliciente que un sistema fotovoltaico puede proveer de la energía eléctrica necesaria por alrededor de 20 años.

Las investigaciones que hoy día se realizan dentro de diferentes organismos científicos en función del diseño y los procesos de fabricación de las fotoceldas invitan a estudiar y a evaluar aplicaciones útiles, ya que en el "papel" están mostrando más eficiencia y más facilidades en su producción en el futuro cercano.

## ***1.A Las características geográficas físicas de México.***

Primero es importante conocer algunas de las características geográficas de una región que para efectos de esta investigación corresponderán a la República Mexicana. Esto es con el fin de que se aprecie como es que en un mismo país las condiciones climatológicas cambian de una localidad a otra y hacen que sean necesarias diferentes condiciones de confort para distintas localidades dentro de un mismo territorio

Ahora bien, la capa superficial de la tierra además de ser la interface de la atmósfera, litósfera, hidrósfera y biósfera, es la que provee el hábitat donde los seres humanos viven. Además cuenta con una característica única, es la zona donde actúan de forma abstracta varios elementos (físicos, biológicos y humanos) como son: el relieve, el clima, el agua, la vegetación y la urbanización.

Para comprender esta estrecha relación de elementos nos auxiliamos de la Geografía, la cual permite relacionar las características básicas del mundo en que vivimos, la gran variedad de tierras y pueblos que hay, las asociaciones y relaciones múltiples del hombre con la naturaleza, y los problemas enfrentados por las poblaciones de otras regiones.

El estudio geográfico se divide en tres áreas generales: la geografía física, la geografía humana y la geografía regional, mismas que a su vez se subdividen en otras ramas.

La geografía física pone especial atención a los suelos, el agua y los recursos naturales, y a los meteoros; para poder desempeñar este estudio se divide en geomorfología, climatología, biogeografía e hidrología.

Dentro de la geografía humana se encuentra: la geografía histórica, la geografía cultural y social, la geografía poblacional, la geografía política, la geografía económica (que incluye el estudio de la agricultura, la industria, el comercio y el transporte).

El campo de estudio de la geografía regional abarca desde la regionalización mundial, a un continente, a una cultura representativa, a un país, a una ciudad.

### ***LA.1 El relieve del suelo mexicano***

México es un país de contrastes acentuados, la gran diversidad de formas que tiene su relieve hace que sea una nación con muchas variedades topográficas contrastantes y heterogéneas. Esta diversidad de conformaciones influyen en las características climáticas, en el tipo de suelos y en la vegetación.

El territorio de México se extiende por 1 972 547 km<sup>2</sup> aproximadamente, mismos que se concentran en cuatro elementos: un núcleo continental macizo, una porción ístmica y dos regiones peninsulares, una al noroeste, la californiana y la otra al sudeste, la yucateca. Obsérvese el mapa geofísico (A-1) de las características del suelo nacional dentro de los anexos.

La parte central del núcleo está ocupada por una extensa altiplanicie, que tiene una altitud de 2000 m siendo con esto la región meridional más alta, y en ella sobresalen altas montañas que en su mayoría son de origen volcánico. En el norte, la meseta declina hasta el valle del río bravo. La costa oriental es baja y plana, sin embargo, en algunas áreas se encuentran grandes montañas, como es en el caso de Veracruz. La parte noroeste cuenta con una costa baja y arenosa.

La sierra madre, que se extiende hacia el norte del nudo de Zempoaltépetl, se divide en dos: la sierra madre oriental y la sierra madre occidental, que enmarcan a la altiplanicie.

La península de Baja California es de carácter árido, más su terreno es más variado de lo que creemos. Varias extensiones montañosas forman la columna vertebral de baja California. La sierra de san Pedro Mártir domina el norte, y la sierra de la gigante el sur.

Todos estos rasgos inciden en las actividades agrícolas, ganaderas, forestales e industriales, así como en los asentamientos humanos, es decir, aunque no es posible apreciarlo tienen un papel influyente en las actividades económicas y sociales de cualquier país.

### ***1.A.2 Los tipos de clima de México***

El clima de cualquier lugar es el resultado de la síntesis de las condiciones ambientales que prevalecen por un largo período de tiempo, se requiere alrededor de unos 30 años para poder calificar dentro de un tipo de clima específico. Para ésta síntesis se toman en cuenta tanto los promedios de los elementos climáticos, como los valores extremos y la probabilidad.

El clima es un concepto complejo y abstracto, de hecho es multidimensional ya que envuelve datos de: temperatura, humedad, precipitación y su cantidad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, tipos de nubes y su extensión, y también meteoros ambientales como la niebla, las tormentas, las heladas; y la relación entre todas estas.

Como se ha visto son varios los factores que determinan el tipo de clima en una región, dentro de los cuales se encuentran: la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las condiciones atmosféricas, y la distribución existente de tierra y agua. Dadas las contrastantes características topográficas, México posee una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general se pueden clasificar según su temperatura en: cálido y templado; y en función de la humedad en: muy seco, subhúmedo y húmedo.

Se han desarrollado otras formas de clasificar a los climas donde los investigadores han propuesto clasificaciones bajo tres directrices: biogeográficas, climáticas y geográficas.

En la Tierra es posible encontrar lugares que poseen climas parecidos y que tienden a presentar las mismas relaciones geográficas. Esta es la razón primordial por la cual la clasificación climática es un intento por formalizar el proceso de reconocimiento

de las semejanzas climáticas. Pero para fines prácticos de esta investigación se hace uso de la clasificación reconocida por el INEGI y por la CFE.

### ***1.A.2.a La distribución de los climas en México.***

En el mapa (A-2) "Distribución de climas en la República Mexicana" de los anexos se observa con detalle los límites para cada tipo de clima.

El clima seco comprende el 28.3 % del territorio nacional, y se caracteriza por la circulación de los vientos, lo que hace que sea escasa la nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, habiéndose registrado temperaturas en promedio de 22 a 26 °C en algunas regiones y en otras de 18° a 22°C.

Con relación al clima muy seco, este registra temperaturas de más de 26°C en promedio, presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm, y se encuentra en 20.8% del país.

Respecto del clima cálido, este lo dividen en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero de ellos comprende el 47 % del territorio, caracterizándose por tener una temperatura media entre los 22°C y los 26°C y precipitaciones de 2000 a 4000 mm anuales; por su parte el clima cálido subhúmedo tiene una representatividad del 23 % en suelo nacional y en el se registran precipitaciones entre los 1000 y 2000 mm anuales y temperaturas que oscilan entre 22°C y 26°C, existiendo regiones donde pasa los 26°C.

Finalmente se tiene al clima templado que se divide en húmedo y subhúmedo. En el primero hay temperaturas de 18°C y 22°C y precipitaciones de 2000 a 4000 mm anuales, representa el 2.7 % de la nación. Hablando del clima templado subhúmedo este se encuentra en el 20.5 % del país, registra en su mayoría temperaturas entre los 18°C y los 22°C, sin embargo hay algunas regiones donde puede descender hasta los 10°C, se observan precipitaciones de 600 a 1000 mm durante el año.

## ***1.B El confort para el ser humano.***

Cuando un ser vivo experimenta la impresión de armonía con el mundo que le rodea decimos que se encuentra en un ambiente agradable que le está procurando comodidad o confort.

En la relación entre armonía y confort; la impresión de armonía florece en la mente del individuo emergiendo como resultado de las experiencias adquiridas en un tiempo determinado en un lugar específico. De forma incorrecta hemos limitado el concepto de confort al sólo hecho de sentirse "bien".

Para digerir esta relación es necesario auxiliarse de otros dos términos como lo son: la sensación y el bienestar.

### ***1.B.1 La sensación de bienestar en el hombre.***

Para describir el término de "sensación" nos auxiliamos de dos disciplinas de estudio que comparten vínculos entre sí, pero que son de entornos muy distintos, estas son la fisiología y la psicología. Desde el punto de vista de estas dos ciencias el fenómeno de sentir es el resultado concreto de una experiencia consciente cualquiera que obedezca al estímulo de un órgano sensitivo muy específico, un nervio sensor o cualquier área sensora del cerebro. De hecho, la sensación es un proceso que comienza con la excitación de un receptor y que es captado por el cerebro en estado consciente.

Comúnmente se utiliza al concepto de sensación para hacer referencia a toda clase de experiencias que vivimos y que quizás provoquen reacciones en nuestra integridad física o mental. Al vocablo de "sensación" se le define en razón de las relaciones dependientes entre las respuestas del individuo como un todo y las propiedades del estímulo.

Si en alguna ocasión alguien hiciese una inspección en nuestras mentes, observaría que el campo de nuestra conciencia se halla ocupado con muy diversos temas. En

algunas ocasiones serán imágenes sensoriales (un paisaje, una melodía, el dolor ocasionado por una herida, el saborear un buen postre) las que ocupasen nuestra atención. En ese momento en particular de nuestra funcionalidad consciente nos encontramos en una etapa sensor - perceptiva. En otras ocasiones, al observar detenidamente, estaremos elaborando lazos entre diversos datos del conocimiento, entonces es que dicen nos encontramos pensando y que estamos en fase de producción intelectual. Y en otras oportunidades de que nos inspeccionen sólo encontrarán un malestar o una inquietud traumatizante, que en definitiva se origina por algo que hace falta o que simplemente no está presente en ese preciso momento.

De acuerdo a ese representativo estado de nuestra funcionalidad y según sea su intensidad se le conoce como "sentimiento" o "emoción", es que nos encontramos en fase afectiva (sensorial - perceptiva). Generalmente toda acción en estado consciente se lleva a cabo siempre en una sola dirección; comienza siempre desde la fase puramente perceptiva y concluye en la fase reactiva.

El motor que pone en marcha todo este proceso de sensación - percepción recibe el nombre de impulso, y encierra dentro de sí a varios conceptos: instinto, necesidad, carencia, apetito. Este impulso puede generarse sin necesidad de un estímulo externo. La percepción es un proceso activo en el cual intervienen elementos musculares, una vez que el material o contenido sensorial se organiza constituye una forma dotada con características propias. Lo esencial del acto perceptivo es la atribución de una cualidad al contenido percibido.

Una vez que ese "impulso motor" adquiere su cualidad total y empieza a desenvolverse, nos conduce a la fase reactiva donde quizás efectuemos una acción muy particular que sirva para satisfacer o reducir el sentimiento de "carencia".

Si se satisfacen todas las necesidades de un ser; dentro de la mente de este individuo se crea un estado de armonía con su medio, y es entonces cuando empieza a experimentar bienestar.

El confort constituye una condición por la cual el bienestar se puede manifestar; para alcanzar confort es necesario presentar un estado de comodidad con la situación o ambiente en el que nos hallemos, para abreviar, permanecer en armonía. Es obvio que para que se pueda dar todo este proceso, con anterioridad se debió haber manifestado un impulso motor que incitara en nosotros una acción que lo calmase, entonces al hablar de impulso entendemos que existió un proceso de sensación - percepción, y que el resultado final fue la satisfacción del estímulo. Para finalizar, toda la vida se mueve en la línea de impulso - satisfacción.

El índice de confort o de bienestar, es un indicador que permite medir las condiciones ambientales que afectan la armonía del hombre con su entorno. Si se llega a romper la armonía que el hombre tiene con el ambiente inmediato aparece una sensación de malestar que provoca reacciones de compensación en el cuerpo humano.

La resistencia y la susceptibilidad a las agresiones ambientales dependen de lo hostil que parezca el entorno ecológico y de las defensas y sobre todo de las adaptaciones que el hombre halla desarrollado a través del tiempo.

### ***I.B.2 La acción de algunas condiciones ambientales sobre el ser humano.***

Los organismos están continuamente sometidos durante el transcurso de su vida a una gran cantidad y diversidad de estímulos; una gran parte de ellos son originados por el medio ambiente, esto se debe principalmente a que este permanece cambiando constantemente y también a que las actividades de los seres vivos modifican sus relaciones con el medio que les rodea.

Puesto que el desarrollo evolutivo de todo organismo se ha visto afectado por las incitaciones que el ambiente ejerce sobre éste, aparecen entonces patrones de respuestas fisiológicas y psicológicas que necesariamente reflejan tal hecho. Esa especie de "mutualidad" que existe entre el organismo y el mundo que les rodea, ha llegado a forjar su personalidad. Es pues que muchas experiencias existenciales pueden ayudar a

mejorar las actividades físicas y mentales de los individuos durante la etapa de desarrollo, mientras que otras pueden perturbar dicho proceso.

Cuando se emplea la palabra "mente", comúnmente se hace referencia a un atributo muy independiente de los procesos de sensación, a los cuales solo se les considera únicamente como fuentes de información y que se hallan al libre arbitrio de la mente, es decir, que la información que lleven, se puede usar o dejar pasar; sin que el contenido llegue a modificar las condiciones mentales.

Más sin embargo, investigaciones experimentales sobre la acción de las condiciones del ambiente en la mente, indican que la estructura misma de la mente se ve afectada durante tales procesos sensoriales. Aunque por supuesto las respuestas a los estímulos ambientales varían de un sujeto a otro, y también con las circunstancias que formen parte de ese preciso momento en el ambiente exterior.

Para ilustrar estas observaciones nos auxiliamos de una investigación experimental realizada con individuos que fueron sometidos a ambientes de encierro. En todos los casos hubo un aumento en la secreción de epinefrina y norepinefrina, unos cuantos sujetos no pudieron mantener un razonamiento lógico o mantener la atención en un tema. En general mostraron desasosiego, irritabilidad, desorientación y ansiedad. Perdieron el sentido del mundo exterior.

Este hecho demuestra que tanto el cuerpo como la personalidad de todo ser vivo están sometidos a un modelado continuo, y mantienen su forma gracias a las fuerzas ambientales.

De acuerdo a las observaciones hechas en este momento, tres clases de fenómenos parecen definir las respuestas que los seres humanos ofrecen a los estímulos ambientales durante su desarrollo. El primer fenómeno es el más sencillo y se refiere a los estímulos ambientales que actúan directamente sobre el organismo sin la intervención del sistema nervioso, como ejemplo: la luz, el sonido y el calor, actuando sobre cualquier organismo joven pueden condicionar el desarrollo de éste, mediante la alteración de la dirección y la rapidez de los procesos anatómicos, fisiológicos o bioquímicos que se lle-

van a cabo en la génesis de las estructuras moleculares y de las funciones biológicas. Los otros dos, que se presentan con mucha más frecuencia, operan incitando al sistema nervioso por medio de mecanismos neurosensoriales de dos clases. El primero de los mecanismos comprende los impulsos desde los receptores sensoriales hasta el mesotálamo, desde donde son proyectados a todas partes de la corteza, esto da un sistema activador difuso y generalizado, comúnmente encontrado en animales muy jóvenes o fetos de edad avanzada. El otro mecanismo aparece cuando el animal percibe de manera más organizada y expresiva al mundo; comprende el estímulo que actúa principalmente a través del sistema específico de proyección, este conducto está altamente organizado en el sentido de que un patrón de estímulo sobre el receptor es transmitido de punto a punto al tálamo y de allí a una área de proyección cortical relativamente bien definida.

### ***1.B.2.a Las respuestas innatas.***

De manera teórica la respuesta que da un ser vivo a un trauma originado por el medio ambiente (estímulo ambiental) puede describirse sobre la base de dos de sus componentes que siempre lo acompañan. Por un lado, cada especie presenta un patrón característico de reacciones fisiológicas y psicológicas que está determinado por la naturaleza y la intensidad del estímulo. Por el otro extremo, todos los seres vivos incluyendo al mismísimo hombre, tienden a reaccionar a cualquier situación que les produzca "stress" por una serie compleja de fenómenos y casi independientes de la naturaleza del agente incitante.

Pero en la vida real, la respuesta que puede dar un organismo no es tan predecible, como se sugiere. El efecto que tiene una situación determinada sobre cierto ser vivo está condicionado por factores que tienen su origen en la historia de la raza del individuo de que se trate, y en la historia propia del individuo.

Para concretizar esta sentencia; entendemos que las condiciones en las que hoy vive el hombre no son las mismas que modelaron su constitución biológica durante el proceso de evolución de toda la raza humana. Esto se debe a que el mismo hombre es

capaz de alterar su medio ambiente de acuerdo con sus necesidades físicas, sus deseos y sus inclinaciones. Más sin embargo todos nosotros todavía conservamos aquellos instintos que fueron desarrollados por nuestro pasado en la evolución

Una ilustración del hecho de que todavía conservamos rasgos de nuestro pasado evolutivo, es la persistencia de respuestas metabólicas que fueron desarrolladas para hacer frente a situaciones amenazadoras en nuestro pasado animal, pero que en la actualidad no se ajustan al ritmo de vida dentro en nuestras sociedades modernas. En una persona común y corriente los procesos fisiológicos y metabólicos necesarios para realizar un esfuerzo físico comienzan desde antes que tal esfuerzo se solicite. Esta cualidad de movilizar anticipadamente los recursos corporales que se necesitan para la fuga o para la lucha fueron sin duda de gran beneficio para nuestro pasado en la evolución, ya que aumentaba las posibilidades de supervivencia.

Las situaciones competitivas y tensas que ocurren en las oficinas o en las reuniones sociales estimulan al sistema endocrino para anticiparse a la movilización de los músculos del cuerpo, dado que raras veces se requiere el empleo de esta energía física, el resultado común es que la preparación fisiológica requerida para la acción no es seguida. La omisión de tal acción después de que el cuerpo ha llegado al estado de preparación fisiológica y metabólica resulta en una experiencia biológica que perturba y que ocurre con frecuencia en la vida actual y que a veces es causa de frustración y resulta además nociva.

Es evidente que todas las fuerzas del ambiente y todos los aspectos de la naturaleza del hombre están entre tejidos de manera muy compleja.

### ***1.B.2.b Las respuestas condicionadas al medio***

Cuando queremos poner de manifiesto las diversas clases de ajustes que tanto el hombre como los animales hacen a los cambios de clima, a menudo empleamos palabras como: aclimatación o adaptación

Comúnmente como seres vivos manejamos dos ámbitos: un ambiente interno y el otro un ambiente externo. La capacidad de funcionamiento de nuestro organismo se regula por procesos fisiológicos, mismos que se manifiestan en forma de capacidad para la adaptación hacia los cambios que ocurren en el ambiente externo.

Los elementos del clima forman parte del ambiente externo en el que el hombre se desenvuelve cotidianamente, y quizás, alguno o varios elementos pueden constituir, en circunstancias específicas, agentes que condicionen una determinada patología.

Del buen funcionamiento de las células, tejidos y órganos del cuerpo humano, dependen las propiedades físicas y químicas del ambiente interno, además la salud del hombre está sujeta a la presión con que se regulan las propiedades físicas y químicas, es decir la homeóstasis. Las propiedades físicas están conformadas por la temperatura, la presión osmótica y la gravedad específica, y las propiedades químicas del pH (concentración de ion hidrógeno), la presión parcial del oxígeno, la concentración de electrolitos, el contenido de glucosa, grasa y aminoácidos.

### ***1.B.2.b.1 Sensaciones biotérmicas.***

Las sensaciones de calor o de frío no sólo se deben al calor radiante proveniente del sol y a la temperatura del aire sino también al movimiento y la concentración de vapor de agua en el aire.

La exposición del cuerpo humano al calor pone en marcha a varios mecanismos fisiológicos independientes. Dentro de los organismos vivos existen factores que intervienen para amortiguar, aumentar o disminuir la pérdida de calor cuando la temperatura cambia. Estos factores dependen esencialmente de las reacciones del sistema nervioso autónomo.

Las respuestas fisiológicas del hombre a los estímulos ambientales originados por el clima sugieren que la evolución del hombre estuvo dada en un ambiente semitropical,

y de hecho así lo expone la historia de las civilizaciones, ya que las más antiguas surgen del sedimento migratorio hacia lugares de clima templado.

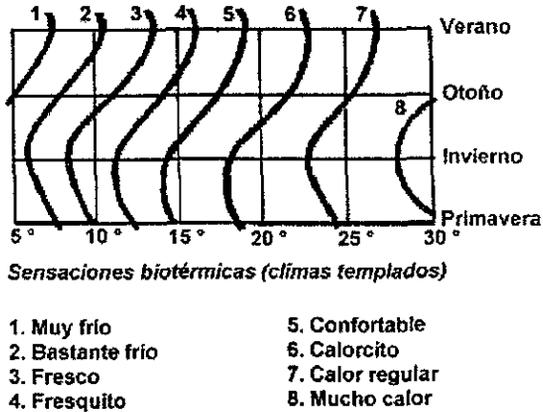


Fig. 1.1

Las sensaciones biotérmicas son un proceso resultante de las variaciones que se presentan en las condiciones del clima, concretamente con la temperatura del aire, que puede dar distintas sensaciones según la estación de que se trate (figura.1 1)

Cuando la temperatura llega a alcanzar los 34 °C la cantidad de sangre que circula a través de la piel llega a alcanzar un 12 % de la cantidad total vaciada por el corazón, esto de acuerdo a investigaciones realizadas por DuBois. Los cambios en la circulación de la sangre pueden ser ocasionados por alguno de los mecanismos siguientes: a) por un cambio en la temperatura de la sangre que irriga a los centros nerviosos, b) por una acción de respuesta de los centros ubicados en el cerebro y la médula espinal, en reacción a la estimulación por calor o por frío en la piel, c) por medio de los reflejos de Axón, es decir de las respuestas derivadas de estímulos que provienen de una neurona o célula nerviosa que transmite los impulsos desde el cuerpo celular al sistema nervioso, y d) por respuesta de los vasos a la estimulación directa por alteraciones de la temperatura del ambiente externo.

La temperatura del ámbito interno del hombre se regula alrededor de los 37 °C, y para mantener un balance térmico óptimo la temperatura del cuerpo se ajusta por medio de mecanismos homeostáticos, uno de esos mecanismos es cuando los vasos de la piel se dilatan o contraen, de este modo dirigen la sangre desde las regiones internas del cuerpo a la superficie o de las superficies de los órganos internos, de esta manera la pérdida de calor aumenta o disminuye.

Otro fenómeno que ocurre al elevarse la temperatura es el cambio de volumen en la sangre. Esto se debe a que existe un aumento en los sólidos hemáticos dentro de la sangre. Al haber variaciones en el volumen de la sangre la epidermis y los tejidos subcutáneos cambian de espesor.

También se encuentran bajo la regulación del sistema nervioso simpático las glándulas sudoríferas, por lo tanto al estimularse el sistema nervioso por una elevación de la temperatura de la sangre la secreción de sudor comienza.

Cuando la temperatura del cuerpo aumenta los procesos metabólicos se estimulan y se produce más calor. El efecto metabólico es parcialmente compensado por una acción de relajación de los músculos. La producción de calor muscular se reduce y después se ocasiona una disminución voluntaria de la actividad.

En el momento en que la temperatura del aire se incrementa y el aire se vuelve más húmedo, el calor que pierde el cuerpo no es suficiente para mantener el balance de producción de calor del cuerpo, que a menudo se encuentra obstruido por la intensa radiación solar que calienta la piel por conducción. Esto produce una condición denominada fiebre térmica y que consiste en la suspensión de los mecanismos disipadores de calor como resultado de una larga exposición a una atmósfera húmeda y caliente.

Ahora, cuando el hombre se expone al descenso de la temperatura, el cuerpo responde con un aislamiento mediante una constricción de los vasos periférica. A la acción del frío, el hipotálamo produce en unos cuantos segundos un incremento del metabolismo en todo el cuerpo.

### ***1.B.2.b.2 Sobre la presión atmosférica.***

El organismo humano también es sensible a pequeñas variaciones de presión. La necesidad de suministrar regularmente oxígeno a las células es la pauta de que el organismo dependa de su ambiente atmosférico. A nivel del mar la presión parcial del oxígeno es de unos 150 mm Hg. En el momento en que la presión parcial se reduce, como en el caso de un individuo en lo alto de una montaña, los mecanismos homeostáticos comienzan a trabajar para aumentar la cantidad de oxígeno que se suministra a las células. Ahora pues, estos mecanismos incluyen los centros respiratorios y la médula ósea.

Los centros respiratorios regulan la cantidad y profundidad de la respiración. En la médula ósea se producen los glóbulos rojos; estos contienen un pigmento llamado hemoglobina la cual se combina con el oxígeno. Al pasar los glóbulos rojos a través de los pulmones llevan el oxígeno a los tejidos donde es liberado y utilizado por las células.

La reacción inmediata en el organismo a una baja en la presión parcial del oxígeno aparece en la respiración. Los receptores sensitivos de tipo químico de las arterias principales de la región del cuello detectan el contenido de oxígeno en la sangre, entonces los impulsores nerviosos actúan sobre el centro respiratorio haciendo que se incremente la cantidad y la profundidad de la respiración, provocando que el volumen de oxígeno que se acarrea sea mayor. La baja cantidad de oxígeno estimula al riñón, entonces este elabora una hormona llamada eritropoietina. Esta hormona acelera la producción de glóbulos rojos en la médula ósea. Cuando esos glóbulos entran en contacto con la corriente sanguínea aumenta la capacidad de conducción de oxígeno.

### ***1.B.2.b.3 La radiación solar.***

El término radiación solar comprende la luz visible, la ultravioleta y la infrarroja. Una de las acciones directas de la radiación solar sobre el organismo humano tiene que ver con la formación de vitamina D, eritema y coagulación de albúmina.

La fotosensibilidad de la piel humana está en función de la exposición a la radiación solar manifestándose en cambios que se realizan en los lípidos de la epidermis. Los cambios que sufren dichos lípidos indican el daño celular u orgánico de las membranas de la epidermis. Los lisosomas son más susceptibles a sufrir daños que las mitocondrias o que las membranas irradiadas y por tanto la ruptura de los lisosomas ocurre cuando la radiación disminuye la actividad de la fosfatasa.

Una exposición exageradamente prolongada a la radiación solar produce un envejecimiento prematuro de la piel, además de estar propensa a desarrollar tumores malignos conocidos como carcinomas.

#### ***1.B.2.b.4 La ionización atmosférica.***

Las pequeñas moléculas ionizadas del aire que se originan por descargas eléctricas naturales son otro de los factores ambientales que tienen efectos biológicos importantes. La exposición a atmósferas con altas densidades de iones positivos producen, de acuerdo a los investigadores Winsor y Beckett: "sequedad, quemaduras, prurito en la nariz, obstrucción nasal, dolor de cabeza, estrías en la garganta, dificultad para tragar, labios resecos, mareos y en general alteraciones en la capacidad de respirar."

El Dr. Felix Sulman, jefe del departamento de farmacología aplicada en al Universidad de Jerusalén, llevo a cabo experimentos en gente "normal", exponiéndola a una sobredosis en el ambiente de iones positivos y negativos. Los efectos que observo fueron los siguientes: Las personas que estuvieron en la atmósfera cargada de iones positivos se irritaron y fatigaron, mientras que estas mismas personas colocadas en un ambiente con iones negativos mostraron un patrón de ondas cerebrales que sugieren el incremento en la relajación.

De hecho los mayores efectos resultan de la exposición a atmósferas cargadas con iones positivos y entre sus efectos más connotados encontramos:

a] efectos físicos.- dolor en el cuerpo, malestar en la cabeza, mareo, espasmos en los ojos, náusea, fatiga, acumulación de agua, dificultades al respirar, desórdenes en el corazón y de tipo circulatorio, baja de presión en la sangre.

b] efectos psicológicos.- desbalance emocional, irritación, apatía, inseguridad, depresión.

El cerebro bajo stress ambiental de iones positivos produce hormonas y químicos para abatirlo. Las dos hormonas secretadas son la melatonina y la serotonina. La serotonina se incrementa tanto en el cerebro como en el cuerpo y nutre el flujo sanguíneo.

El aumento de la serotonina trae consigo la secreción de la adrenalina. Si el cuerpo produce demasiada serotonina por un largo periodo, la adrenalina que le acompaña no se asimila tan rápido y por tanto el cuerpo no está en balance. Recientes investigaciones asocian al incremento en la serotonina con varias formas de cáncer.

#### ***1.B.2.b.5 La contaminación atmosférica.***

Los efectos de la contaminación atmosférica se dan por tres formas conocidas: la primera de ella es con la inversión térmica, la segunda por la contaminación orgánica y la última por la lluvia ácida.

Entre los efectos de la contaminación atmosférica encontramos lesiones en la piel o en las mucosas de individuos sensibles. Erupciones cutáneas; afecciones rinofaríngeas debido a irritación crónica e infecciones gástricas. Además, se presentan crisis de cefaleas y migrañas cuando se elevan los índices de contaminación. La fatiga es otro efecto que los contaminantes ejercen sobre el organismo humano.

## ***1.C La energía y su relación eco-social con el ser humano.***

La energía juega un papel muy importante en la vida. Y es a través de la historia del hombre como hemos visto que sus mayores logros dentro de la civilización han requerido de la energía para ser útiles.

La forma más antigua en que se utilizó energía para beneficio del hombre fue en la fuerza de los músculos; en primera instancia ha sido el cuerpo del hombre en aprovechar la energía para su crecimiento. De acuerdo a como el hombre iba evolucionando aprendió a transformar la energía contenida en las plantas y madera en calor. Alrededor del año 3000 antes de Cristo el hombre aprendió a utilizar el viento como impulsor de barcos y en la época del oscurantismo aplicó ese mismo poder del viento en los molinos. El poder del agua fue utilizado en las aproximaciones al nacimiento de Cristo, pero no fue hasta el siglo XVIII que la energía térmica proveniente del vapor de agua se utilizó a gran escala como fuente para la producción de energía mecánica.

Hasta el momento solo se han mencionado unas aplicaciones y algunas variedades de la energía. Al no existir un método generalizado para la clasificación de la energía sólo tomamos en cuenta a seis posibles categorías: energía mecánica, energía eléctrica, energía química, energía nuclear, energía electromagnética y energía térmica

La energía mecánica la definimos como aquella energía que puede ser usada para levantar un peso. La forma transicional de esta energía mecánica se le conoce como "trabajo". La energía mecánica puede ser almacenada tanto como energía potencial como energía cinética. La energía potencial es la energía que una cantidad dada de materia posee como el resultado de su posición en un campo de fuerza. Esta incluye a la energía asociada con un fluido comprimido, la energía asociada con el esfuerzo elástico, como lo sería en una resorte y en una barra sometida a cargas que le provoquen tensión, etc. La energía cinética es la energía mecánica a la que se asocia a una masa de materia en función a su movimiento relativo con respecto a otro cuerpo.

La energía eléctrica consiste en el flujo o la acumulación de electrones. La forma transicional de la energía eléctrica es el flujo de los electrones comúnmente a través de cualquier tipo de conductor.

A la energía asociada con la radiación electromagnética se le conoce como energía electromagnética. Esta forma de energía es la más pura y en la que no está presente una masa. La radiación sólo existe como una forma transicional de la energía. Podemos hallar varias clases de radiación electromagnética dependiendo de la longitud de onda en la fuente de la radiación. La radiación Gamma es la más energética, seguida por los rayos X

La energía química es la energía que se libera como resultado de una interacción de electrones en la cual dos o más átomos y/o moléculas se combinan para producir un compuesto estable químico. La energía química solo está presente en forma almacenada. Si la energía se libera dentro de una reacción química, a esta reacción se le conoce como reacción exotérmica; mientras que si la energía es absorbida entonces la conocemos como reacción endotérmica. La imagen más representativa de la energía química es cuando el cuerpo humano asimila de los alimentos el combustible que representa la energía básica para sobrevivir y la cual proviene de una reacción exotérmica.

Otro tipo de energía que también existe solo en forma almacenada es la energía nuclear, la cual es liberada cuando hay interacción con o entre núcleos atómicos. Esta energía es liberada como resultado de una configuración estable que asumen las partículas atómicas. Hasta hoy se conocen tres tipos de reacción nuclear: la fusión, la fisión y la degradación radioactiva.

La energía térmica es la energía que asociamos con la vibración molecular o atómica. Este tipo de energía representa la forma más básica de la cual se puede conseguir transformar a otras clases de energía. La forma transicional de la energía térmica es el calor, pero además este puede ser almacenado como calor latente o calor sensible.

Se ha venido mencionando dos partidas de energía en las diferentes categorías de energía. Estas son la forma transicional y la forma almacenada. La forma transicional tiene por característica a la energía en movimiento.

Hoy en día, el consumo de energía parece estar relacionado directamente con el nivel de vida de la población y el grado de industrialización de un país. Comúnmente se utiliza en encuestas callejeras tomar el número de focos (consumo eléctrico) como indicador para establecer el estatus económico de una persona. Aquellos países que han tenido abundantes fuentes de energía han mostrado tener altas tasas de crecimiento, reflejándose en el incremento del producto interno nacional.

### ***I.C.1 Las fuentes convencionales para la conversión a energía eléctrica.***

De todas las formas de energía enunciadas anteriormente, la que más utilizamos es la energía eléctrica, esto se debe a que es muy versátil.

La forma más común de como conocemos a la energía eléctrica es la corriente eléctrica; existen dos tipos de corriente eléctrica. la directa y la alterna.

La corriente directa la obtenemos de un desbalance de cargas eléctricas. El ejemplo más ilustrativo de este tipo de corriente es la batería. La batería es un sistema que almacena energía química; contiene una cantidad fija de solución electrolítica la cual separa dos electrodos. La diferencia entre las propiedades de los dos electrodos dentro de la solución electrolítica hace que una de las terminales se cargue negativamente y la otra terminal positivamente.

La corriente alterna implica cambios continuos en el tipo de flujo de la corriente. Esta se obtiene mediante la rotación de una bobina de alambre en un campo magnético y la distribución de la corriente se realiza a través de conductores de cobre. El efecto de la corriente alterna se debe a que las propiedades electrónicas del magneto originan que los electrones en la bobina de alambre cercana fluyan en una dirección. Después de que la bobina gira 180 grados, los electrones en el conductor fluyen en dirección opuesta.

Dado que las cantidades de energía eléctrica que necesitamos como civilización son enormes, se requieren suficientes plantas generadoras que puedan suministrar parcialmente tales cantidades; para alcanzar tales metas se recurre al empleo de grandes generadores eléctricos, conocidos como alternadores, se les conoce así porque de ellos obtenemos corriente alterna. En la parte de anexos se presenta un diagrama de cómo es que se produce la corriente alterna en la actualidad con sus respectivas fuentes (A-3), de manera muy somera.

Pero los alternadores requieren una fuente que los haga girar. Por esto los principios de la producción convencional de energía eléctrica se basan en la transformación en trabajo del calor de la combustión de algunos combustibles y la utilización de la energía cinética de las caídas de agua; para el impulso de los generadores eléctricos, esto es posible con el empleo de motores térmicos y turbinas hidráulicas, respectivamente

Los motores térmicos utilizan la fuerza de expansión de un fluido que ha adquirido una presión elevada al calentarse, y de los cuales podemos hallar tres clases: motores de émbolo, en los cuales la presión del fluido actúa sobre un pistón; los motores de turbina, en los cuales la energía cinética del fluido actúa sobre los alabes de una rueda para hacerla girar; y los reactores en los cuales el fluido expulsado a gran velocidad comunica un empuje en sentido inverso al de su movimiento.

Dentro de los motores de émbolo se encuentran a los motores de vapor, en los cuales el fluido motor es el vapor de agua producido en una caldera; y los motores de combustión interna, en los que el fluido motor es el aire a una temperatura elevada, esta temperatura se alcanza inflamando una mezcla de aire - combustible en el interior del cilindro donde se mueve el pistón.

Los motores de turbina comprenden tres tipos de turbinas: las turbinas hidráulicas, las turbinas de vapor, y las turbinas de gas.

Las turbinas hidráulicas se dividen en turbinas de reacción y turbinas de impulsión, las primeras tienen los álabes sumergidos, mientras que en las turbinas de impulsión el agua ejerce su acción motriz al aire libre como lo sería en caso de ruedas Pelton, Gerard y Francis.

En la actualidad, todos los tipos de turbina hidráulica se han sustituido por sistemas de origen norteamericano que tienen dos clases: la rueda de acción utiliza cascadas tangentes a la rueda [Pelton], y la rueda de reacción centrípeta paralela en donde el agua es llevada por un distribuidor hasta planos perpendiculares al eje, siendo después desviada paralelamente a este [rueda Francis].

En las turbinas de vapor: la energía disponible es almacenada en el vapor debido a la diferencia de presión que existe entre la caldera y un condensador; esta energía se transforma en energía cinética por la expansión en los distribuidores fijos, después los chorros de vapor se dirigen a gran velocidad contra los álabes de una rueda encastrada en un árbol, y la hacen girar. Las aletas de la rueda [álabes] tienen una forma curva especial que hace que el vapor pierda casi toda su energía a la salida.

Generalmente, encontramos dos tipos de turbinas de vapor: las de reacción y las de acción. Esta clasificación se basa en la configuración y distribución de la presión en los álabes.

Por último tenemos a las turbinas de gas, en estas el fluido es aire previamente comprimido que posteriormente alcanzará temperaturas elevadas. Una turbina de gas consta de un compresor, de una cámara de combustión y la turbina. La energía disponible es igual a la diferencia entre la producida por la turbina y la que exige la compresión del aire.

Como se puede observar, el uso de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo, el gas natural, y el uso de combustibles nucleares son las principales fuentes de energía empleadas en las plantas generadoras de electricidad.

En el caso de las plantas hidroeléctricas se aprovecha como fuente exclusiva a la energía potencial contenida en los saltos de agua, pero para poder formar estas caídas de agua se edifican presas alterando las condiciones ecológicas del medio donde se sitúe la presa, afectando tanto a la flora como a la fauna de esa región.

Tanto el petróleo, el carbón, el gas natural, así como el uranio son fuentes no renovables de energía, esto quiere decir que solamente hay una cantidad limitada de ellos y que no se pueden renovar tan rápido como son consumidos. Además el carbón y el petróleo tienen otros usos adicionales.

### ***1.C.2 Las fuentes alternas para la conversión a energía eléctrica.***

Una fuente de energía renovable es aquella que se emplea una y otra vez, y que relativamente nunca llegará a extinguirse. Este tipo de fuente se considera como alternativa pero al igual que las fuentes convencionales, se trata de una fuente de energía de la cual podemos obtener una energía más útil como la corriente eléctrica; las formas más representativas son: la energía proveniente del sol, la energía libre del viento y la energía calorífica del centro de la tierra [energía geotérmica]. Pero también se considera como fuente de energía renovable a la energía contenida en la basura, en las plantas y árboles, que es mejor conocida por biomasa.

A la energía que nos provee el sol la podemos utilizar para calentar e iluminar nuestros hogares, calentar agua, y producir electricidad para luces, hornos, refrigeradores y otros aparatos del hogar

En la conversión de las ondas solares a energía eléctrica se pueden ocupar dos tipos de procesos uno fotoeléctrico en donde la energía de la luz del sol es transformada directamente en energía eléctrica y el otro térmico en donde la energía del sol es concentrada para calentar agua y producir vapor, que como se vio antes podemos utilizar para impulsar turbinas de vapor y hacer girar generadores eléctricos. Sin embargo, la electricidad proveniente de estos sistemas solares tanto el fotovoltaico como el térmico son intermitentes por obvias razones

La fuerza del viento fue utilizada por siglos para empujar barcos, bombear agua y moler granos. Hoy día la gente podría ocupar el viento para producir electricidad, esto mediante el empleo de generadores eólicos o turbinas de viento. Esto se logra mediante el aprovechamiento de la energía cinética que el aire en movimiento contiene y que al chocar con unas aspas (álabes) harán girar un alternador para obtener energía eléctrica, como ejemplo sencillo tenemos a los molinos de viento.

La energía geotérmica es la energía en forma de calor que proviene de las profundidades de la tierra. Esta fuente de energía puede ser usada para producir electricidad. Similar a una planta térmica solar, el vapor - directamente extraído de una reserva geotérmica o de agua calentada por energía geotérmica para hacer vapor - es entubado a las plantas generadoras. Ahí, el vapor impulsa a una turbina y esta a su vez a un generador.

Cuando quemamos una rama estamos utilizando la energía química almacenada es decir aprovechamos la materia orgánica (biomasa). La fuente más conocida de biomasa es la madera, pero también puede usarse al maíz, residuos de caña de azúcar, y otros productos de granja.

Hay tres formas de ocupar la masa biológica:

1. puede ser quemada para producir calor y electricidad,
2. puede cambiarse a un combustible como el metano
3. cambiada a un combustible líquido, como dos formas de alcohol: etanol y metanol.

Otra fuente de energía es la basura que puede ser quemada o utilizada para obtener un combustible

La forma de utilizar la energía de la basura es haciendo rellenos con la basura. Cuando los restos de alimentos y otros desperdicios se empiezan a descomponer comienzan a producir un gas llamado metano. Este gas puede ser empleado par producir vapor en una caldera y así utilizarlo para mover un generador atado a una turbina.

### ***I.C.3 El futuro de la energía.***

El desarrollo de una nación se sustenta en gran medida en el aprovechamiento de los recursos naturales para obtener más y mejores satisfactores.

Cualquier nación utiliza grandes cantidades de energía. La empleamos en la cocina ya sea para calentar o para iluminar el lugar, o cuando conectamos algún aparato al tomacorriente. También la ocupamos en nuestros medios de transporte, y que decir de la industria que la necesita para poder procesar cualquier producto.

Hasta hace algunos cuantos años a la gente no le importaba desperdiciar la energía. Sin embargo ahora, la energía es cara y en el futuro llegará a ser más costosa, en gran parte porque empezarán a escasear los combustibles tanto fósiles como nucleares. Por esto debemos aprender y sobre todo educar a hacer mejor uso de ella y evitar desperdiciarla.

Las plantas generadoras de electricidad utilizan enormes cantidades de carbón y otros combustibles no renovables. Además dichas plantas contaminan y no se diga de las plantas nucleares que representan un alto riesgo de una catástrofe ecológica, como lo fue en el año de 1986 en Chernobil.

#### **Reservas de energía no renovable comparada con el consumo anual a nivel mundial.**

TIPO DE COMBUSTIBLE	RESERVAS	PRODUCCIÓN	ABASTECIMIENTO
Carbón	1 031 610 Mton.	4 564 Mton.	226 años
Petróleo	140 676 Mton.	2993 Mton.	47 años
Gas natural	141.245x10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	1.744x10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	81 años
Uranio 235	3 342 Kton.	32.5 Kton.	103 años

Fuente: Consejo Mundial de Energía 1995

Tabla 1.1

A medida que las reservas de carbón, petróleo y gas decrecen, y las preocupaciones sobre la energía nuclear se mantienen o crecen; surge la necesidad de investigar y desarrollar a las fuentes alternas. En la tabla 1.1 se muestran las reservas de combustibles no renovables en años, debe de observarse con atención los datos del gas y del petróleo, que indican que están próximos a escasear.

**Es la responsabilidad del científico, el ingeniero, y el técnico localizar, desarrollar y explotar las fuentes alternas. Así mismo, el ingeniero debe tratar de estudiar y desarrollar sistemas que hagan uso o reproduzcan dichas fuentes, con la consigna de que sean de bajo costo y que no amenacen con destruir o modificar el medio ambiente.**<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Culp, "Principles of energy conversion"

## ***II.A La refrigeración mecánica: acondicionador para el confort térmico.***

Como entes pensantes somos capaces de modificar nuestro medio ambiente y casi siempre nos hemos esforzado en crear ambientes que nos den la sensación de comodidad. Hoy día, incluso contamos con especialistas que pueden transformar los ambientes térmicos y que es su principal meta dentro de la construcción de edificios.

Actualmente se ha comprobado que el acondicionamiento del aire es una necesidad para mejorar la eficiencia en el trabajo y la comodidad del ser humano, en lugares como hospitales, hoteles, oficinas, comercios, teatros y viviendas y que estos ofrezcan un ambiente apropiado. Este esfuerzo se encamina a mejorar las cualidades del aire y su movimiento, y a equilibrar las pérdidas de calor del cuerpo humano, con el objetivo de asegurar confort, salud y un mayor rendimiento en el trabajo.

Un ejemplo de como se ve afectado el confort térmico lo encontramos cuando el aire interior de un cuarto es demasiado seco: junto con el aumento en la evaporación del sudor hay una desecación indebida de las mucosas y un exceso de tensión nerviosa. Recíprocamente tenemos que un exceso en la humedad durante días calurosos se opone a la libre evaporación del sudor del cuerpo y la ropa se humedece y se torna incómoda. Aparecen en tal condición el cansancio y la falta de energía en las personas.

Pero, ¿Exactamente cómo es que se determina al confort térmico? ¿Qué es lo que representa el confort térmico? De acuerdo con el estándar ISO 7730, es una expresión que se presenta cuando la mente es capaz de manifestar satisfacción térmica con su medio ambiente que le rodea.

Hay otros factores que junto con las cualidades térmicas de un lugar se toman en consideración en el confort real como lo son: la calidad del aire, los niveles de luz y los niveles de ruido que empleamos para asegurar confort.

El hombre se siente cómodo en función del calor cuando se cumplen dos condiciones. La primera de estas, es que la sensación térmica que resulte de la combinación

de la temperatura de la piel y la temperatura interna del cuerpo sea neutra, es decir, que una persona no sienta ni calor ni frío

La segunda se basa en el cumplimiento del balance de energía del cuerpo:

**“El calor producido por el metabolismo debe ser igual a la cantidad de calor perdido por el cuerpo”**<sup>2</sup>

Esto significa que la relación entre los parámetros: temperatura de la piel, temperatura interna del cuerpo y el nivel de actividad; se combinan para dar por resultado una sensación termal neutra.

De acuerdo a un gran número de experimentos realizados con diferentes personas, en donde se cuantificaron: la temperatura interna, la temperatura de la piel y la cantidad de sudor producido en diferentes niveles de actividad, y mientras estas personas sostenían la sensación de confort, los resultados arrojados fueron graficados como la figura 2.1 muestra. Cabe señalar que no se observaron diferencias entre las personas que participaron en los experimentos al tratar de determinar que es un ambiente termalmente confortable, aún siendo de distintos sexos, edades y razas.

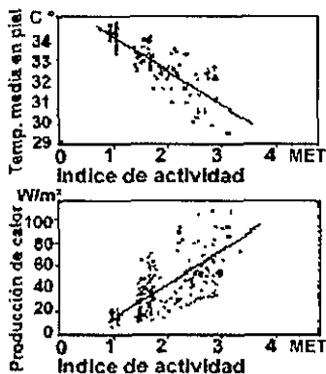


Fig. 2.1

<sup>2</sup> INNOVA AirTech Industries, "Thermal comfort", [www.innova.dk](http://www.innova.dk)

Se considero a la producción de sudor como un parámetro a cuantificar en vez de la temperatura interna del cuerpo, debido a que la producción de sudor está en función de la temperatura de la piel y lo denso del cuerpo, esto no cambia en principio nada en el modelo de sensación termal. Obsérvese la figura 2.1.

A la relación para una temperatura confortable entre la piel y la producción de sudor, se le puede combinar junto con la relación de balance de energía en el cuerpo; y obtener de estas una ecuación de confort. Esta ecuación describiría la relación entre los parámetros físicos cuantificables y la sensación termal que experimentaría la persona

$$M - W = H + E_c + C_{res} + E_{res} \quad (2.1)$$

donde:

$$E_c = 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99 (M - W - P_a)] + 0.42 (M - W - 58.15)$$

$$C_{res} = 0.0014 M (34 - t_a)$$

$$E_{res} = 1.72 \times 10^{-5} M (5867 - P_a)$$

La ecuación de confort indica que variables físicas se deben de medir para evaluar las condiciones termales de un lugar. Esta ecuación fue desarrollada por P.O. Fanger y es demasiado compleja para cálculo manual por lo que se hace necesario resolverla usando una herramienta de computo.

La ecuación revela que la temperatura de las superficies en el lugar donde una persona se encuentra, tiene una influencia enorme en la sensación termal. Un cambio de 1°C en la temperatura de la superficie puede bajo muchas circunstancias tener una influencia sobre la sensación termal en una persona de alrededor de 1°C en la temperatura del aire. Además, también da a conocer que el nivel de humedad solamente tiene una moderada influencia en la sensación térmica.

Dentro de la práctica los parámetros que se introducen a la ecuación son:

- \* 2 valores de tablas que indican los niveles de actividad y vestimenta [Clo y Met]
- \* 2 - 4 parámetros a cuantificar que describen el ambiente térmico del lugar.

### ***II.A.1 La taza de actividad del metabolismo [MET].***

Como sabemos el metabolismo es el motor del cuerpo, y la cantidad de energía liberada por él depende de la cantidad de actividad muscular. Normalmente, toda la actividad muscular se convierte en calor, pero durante el trabajo físico duro esta relación puede bajar a 75%

Tradicionalmente, el nivel de actividad del metabolismo se cuantifica en MET's [ 1 MET = 58 15 W/m<sup>2</sup> de la superficie del cuerpo]. Un adulto normal tiene una superficie de 1.7 m<sup>2</sup> en promedio, y una persona en la comodidad térmica con un nivel de actividad de 1 MET tendrá una pérdida de calor aproximada de 100 W. Cuando dormimos tenemos una taza de 0.8 MET y cuando realizamos alguna actividad deportiva podemos alcanzar 10 MET. Con el fin de completar esta información en la sección de anexos aparece una tabla con diversos valores de MET para distintas actividades.

Cuando evaluamos la taza metabólica de un individuo, es importante usar un valor promedio de las actividades que la persona ha realizado en la última hora. La razón de esto es que el cuerpo "recuerda" el nivel de actividad aproximadamente una hora.

### ***II.A.2 El nivel de vestimenta [CLO].***

La ropa reduce la pérdida de calor del cuerpo. Además, el vestuario se clasifica de acuerdo al valor de aislamiento. La unidad normalmente usada para medir el nivel de aislamiento es CLO, pero técnicamente 1CLO tiene un valor de 0 155 m<sup>2</sup> °C/W.

La escala de CLO se diseño para que una persona desnuda tenga un valor de CLO de 0.0 y alguien vistiendo un traje sencillo tenga un valor de 1.0 CLO. El valor total CLO se calcula sumando los valores individuales de cada uno de los artículos vestidos. Al igual que en el caso de MET en la sección de anexos se agregó una tabla con diferentes valores de CLO de diversas prendas, con el único fin de facilitar su entendimiento

Cuando se calcula CLO se debe tener en cuenta que asientos tapizados, asientos de autos y camas reducen la pérdida de calor del cuerpo, y además deben ser incluidos para el cálculo total de CLO.

**Es importante recordar que el hombre no aprecia la temperatura del cuarto, sino que percibe la pérdida de energía del cuerpo.** <sup>3</sup>Los parámetros que se deben medir y los cuales afectan la pérdida de energía son:

Temperatura del aire	[ $t_a$ , °C]
Temperatura media radiante	[ $t_r$ , °C]
Velocidad del aire	[ $v_a$ , m/s]
Humedad	[ $p_a$ , Pa]

La influencia de estos parámetros en la pérdida de energía no es igual, pero no es suficiente medir uno de ellos. Por ejemplo, la temperatura media radiante tiene tanta influencia en la pérdida de energía como la tiene la temperatura del aire

Caracterizar las condiciones térmicas internas usando pocos parámetros y evitar cuantificar la temperatura media radiante, la cual es difícil de obtener y consume tiempo, integra tres parámetros más que son: la Temperatura Operativa [ $t_o$ ], la Temperatura Equivalente [ $t_{eq}$ ] y la Temperatura Efectiva [ET\*].

Los parámetros agregados combinan la influencia sobre la pérdida de calor de los parámetros sencillos como sigue:

$t_o$	es el efecto integrado de	$t_a + t_r$
$t_{eq}$	es el efecto integrado de	$t_a + t_r + v_a$
ET*	es el efecto integrado de	$t_a + t_r + p_a$

Los parámetros integrantes ofrecen la conveniencia de describir el ambiente térmico en pocos números.

---

<sup>3</sup> INNOVA AirTech Industries, "Thermal Comfort", [www.innova.com](http://www.innova.com)

Pero a todo esto de los parámetros integrantes, ¿qué es la temperatura media radiante?

La temperatura media radiante de un lugar simboliza la temperatura uniforme de un recinto obscuro imaginario en el cual hallaríamos la misma pérdida de calor por radiación en la persona, como si se tratara de un recinto real. Lo cual es fácil de entender si se observa la figura 2.2

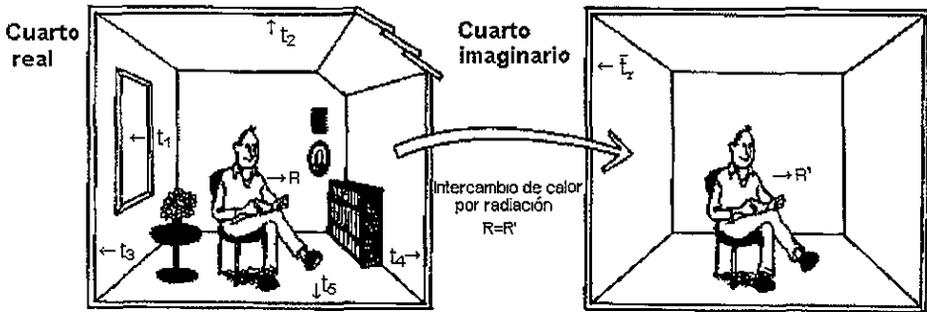


Fig. 2.2

La ecuación para el cálculo de la temperatura media radiante es:

$$t_r = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-i} (t_i + 273)^4} - 273 \quad (2.2)$$

$t_i$  temperatura superficial de la superficie  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$F_{p,i}$  factor del ángulo entre la persona y la superficie  $i$   $\sum F_{p,i} = 1$

Tratar de medir la temperatura de todas las superficies en un cuarto a menudo consume bastante tiempo en especial por el cálculo de los ángulos. Por esto la temperatura media radiante se evita en todo lo posible.

### II.A.3 La temperatura operativa, equivalente y efectiva.

Imaginemos que tomamos a una persona y la movemos de un cuarto real a una estancia imaginaria. Entonces ajustamos la temperatura en el cuarto imaginario hasta que la persona experimente la misma pérdida de calor que en el local verdadero. Finalmente, determinamos la temperatura del aire en la zona imaginaria, la cual por definición es una temperatura integrante. Así es como ilustra la figura 2.3

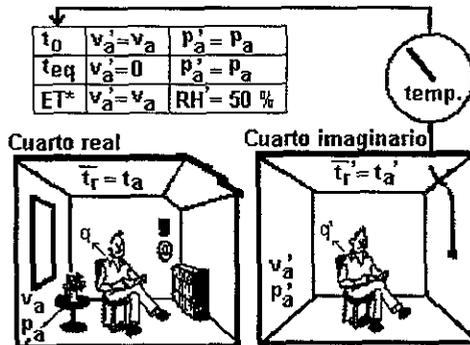


Fig 2.3

Cada uno de los parámetros de las temperaturas integrantes tiene su propia condición específica que debe ser satisfecha por completo en la ubicación imaginaria; estas son:

$t_0$ :  $v'_a$  y  $p'_a$  igual a las del recinto genuino  
 $t'_a$  igual a  $t_r$

$t_{eq}$ :  $p'_a$  igual a la de zona real  
 $t'_a$  igual a  $t_r$   
 $v'_a = 0$

$ET^*$ :  $v'_a$  igual que el local verdadero  
 $t'_a$  igual a  $t_r$   
 $p'_a$  da nivel de RH = 50%

Los valores de  $ET^*$  y  $t_{e,q}$  son dependientes de los niveles de actividad y vestimenta de la persona, mientras que  $t_o$  normalmente es independiente de estos parámetros.

#### ***II.A.4 Las escalas de PMV y PPD.***

Cuando se evalúa un lugar de permanencia o trabajo, a menudo hablamos de la temperatura confortable [ $t_{co}$ ], la cual definimos como la temperatura equivalente donde una persona se siente termalmente confortable. Rara vez hablamos de la humedad confortable, esto es en parte debido a la dificultad de sentir la humedad en el aire y en parte debido a que la humedad sólo tiene una vaga influencia en el intercambio de calor de una persona cuando esta cercana a estado de confort térmico.

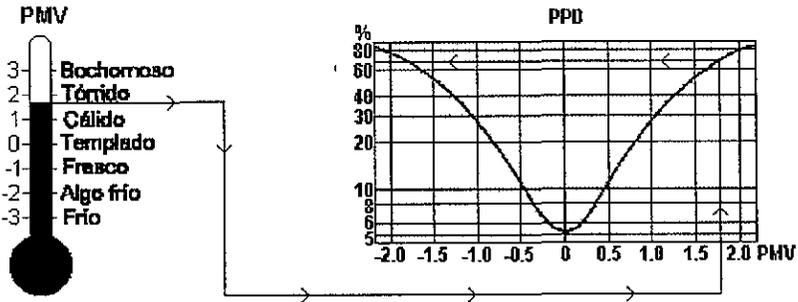
La temperatura de confort en un medio ambiente dado se puede calcular por la ecuación de confort

Si un local cuenta con mucha gente, vistiendo distinto tipos de ropa y realizando diferentes tipos de actividades, puede ser difícil crear un medio que provea confort termal para todos los ocupantes. Algo puede se puede hacer cambiando los factores que afectan la comodidad térmica localmente, por ejemplo, si la temperatura equivalente es más baja que la temperatura de confort, la temperatura media radiante puede incrementarse instalando calentadores.

Afortunadamente, los individuos a menudo pueden optimizar su propio confort termal ajustado su ropa para cambiar las condiciones.

Si no se alcanza la comodidad termal en un lugar, ¿qué tan lejos de lo perfecto se encuentra? ¿O entre qué límites se deben mantener la temperatura y humedad para habilitar el confort térmico? Las respuestas a estas preguntas pueden ser obtenidas de los índices PMV [Predicted Man Vote]. El índice PMV predice el valor medio de rangos subjetivos de un grupo de individuos en un ambiente dado

La escala PMV se compone por siete puntos para la sensación termal que van de los rangos de -3 [frío] hasta +3 [caliente], donde el 0 representa la sensación termal neutra.



Precisamente cuando el índice PMV es 0, habrá algunos individuos que están insatisfechos con el nivel de la temperatura, no obstante, del hecho que están todos ellos vestidos similarmente y tienen el mismo nivel de actividad - la evaluación para el confort difiere un poco de persona a persona.

Para predecir que tanta gente está insatisfecha en un medio ambiente dado, el índice PPD [Predicted Percentage of Dissatisfied] se ha introducido. En la escala de PPD la gente que voto -3, -2, +2, +3 en la escala PMV están en todo caso termalmente insatisfechos

Note que la curva que muestra la relación entre PMV y PPD nunca consigue rebasar el 5% de insatisfechos.

### ***II.A.5 Índice de confort.***

La variación del índice de confort en la República Mexicana indica que la presencia de elevadas sierras que corren paralelas a los litorales del Atlántico y del Pacífico determinan variaciones en la humedad, ya que actúan como barreras que impiden el paso de los vientos húmedos que se desplazan desde el océano

Otro factor que influye en la variación del índice de bienestar es la localización geográfica del país. El territorio nacional se encuentra dividido en dos grandes zonas climáticas: una templada al norte, y la otra tropical al sur, esto se debe a que el país es cruzado por el Trópico de Cáncer en su parte media.

Por otro lado, la temperatura también se modifica a consecuencia de la estación del año y por los efectos de la altitud sobre el nivel del mar. Sólo un 32 por ciento de la superficie del país se ubica por debajo de los 500 metros, el resto tiene una variación de altitud que va desde 500 hasta más de 2500 metros, de manera que las temperaturas sufren variaciones considerables a un en una misma estación meteorológica en dos lugares con distinta altitud sobre el nivel del mar.

A consecuencia de lo antes dicho, el índice de bienestar forma la unidad que muestra la relación del cuerpo humano con las variaciones ambientales, y a continuación se presentan los índices cuantitativos de bienestar para distintos meses representativos de las cuatro épocas del año para todo el país.

Símbolo	Valor en °C	Denominación
+3	mayor de 30 y una humedad relativa mayor de 20 %	bochornoso
+2	mayor de 25.6 , menor de 30	tórrido
+1	mayor de 22.2, menor de 25.6	cálido
0	mayor de 17.8, menor de 22.2	templado
-1	mayor de 15.6, menor de 17.8	fresco
-2	mayor de 1.7, menor de 15.6	algo frío
-3	menor de 1.7	frío

Cuadro 2.1 Índices de bienestar

En el mes de enero los índices que más dominan son los que presentan signo negativo; es decir, los fríos abarcando grandes extensiones del centro, como la altiplanicie y los sistemas montañosos más importantes. El mapa 1 en la parte de anexos fue

construido con datos de las 14 horas. Este hecho muestra claramente que durante el invierno habrá necesidad de contar con calefacción en los lugares interiores para tener una sensación de bienestar.

Al sur del Trópico de Cáncer, y a lo largo de los litorales y partes bajas con altitud inferior a los 1000 metros, los climas son calientes variado de +1, +2 a +3. El índice de +3 sólo se presenta en una faja muy estrecha de la llanura de Guerrero y Oaxaca y parte sur de Campeche y Quintana Roo. Los índices catalogados como tórridos abarcan casi la totalidad del Pacífico, desde la Bahía de Banderas hasta el límite con Guatemala, mientras que en el Golfo sólo se presenta en pequeñas áreas de Chiapas, Tabasco, Campeche y Quintana Roo. El resto de la llanura litoral desde Veracruz hasta Quintana Roo es cálido, lo mismo pasa en lado del Pacífico desde Nayarit hasta Chiapas.

Es de notarse que aún en invierno, la zona que se acaba de describir con índices cálidos, continua durante todo el año con ambientes demasiado calientes que influyen sobre el bienestar, por o es preciso contar con aire acondicionado a fin de mejorar esos ambientes incómodos.

En el mes de abril las condiciones ambientales se han modificado notablemente, desapareciendo los índices fríos -2 y -3. En su lugar, la altiplanicie y partes elevadas registran índices -1. Véase el mapa 2 de anexos.

Los índices cálidos +1, +2 y +3, ocupan los litorales de ambos océanos, registrándose ambientes bochornosos en amplias zonas del sur de Veracruz, casi todo Tabasco, Campeche y Quintana Roo, además del sur de Yucatán; por le lado del Pacífico, desde la Bahía de Banderas hasta el límite con Chiapas.

Llama la atención el hecho de que la península de Baja California presenta características diferentes: el litoral con índices cálidos y el occidental con índices frescos y algo fríos.

En el mes de julio cuando el país alcanza las condiciones extremas de incomodidad, registrando la mayor parte del territorio índices calientes. Como se puede observar en el mapa 3 de anexos.

Se conserva una zona fresca -1 en las partes elevadas de la Sierra Madre Occidental, de las sierras de Zacatecas, del sistema volcánico transversal y de la Mixteca

Los índices bochornosos ocupan el sur del país, los litorales de ambos océanos así como la parte peninsular de Baja California, exceptuándose la regiones cuya altitud supera los 1000 metros sobre el nivel del mar.

La zona bochornosa del litoral del Golfo de México se interrumpe a la latitud de los 20 ° N, por la presencia de elevadas sierras que avanzan acercándose mucho al litoral, como las de la sierra Norte de Puebla, en donde influencia se deja de sentir con ambientes templados.

Los ambientes calurosos y secos del norte del país ocasionan trastornos a la población y los animales. En estos climas extremos del norte del país se hace necesaria la instalación, en los lugares cerrados, de aire acondicionado durante el verano y calefacción durante el invierno.

De acuerdo al mapa 4 de anexos, durante el otoño comienzan a cambiar las condiciones climáticas que prevalecían en el verano, manifestándose con claridad los ambientes frescos -1, y algo frío -2, de la altiplanicie y montañas elevadas. La zona cálida de la región de la "La Laguna" aún se nota claramente. Los litorales de ambos océanos siguen siendo cálidos.

Como corolario a lo anterior en la zonas donde el índice de bienestar es más extremo cíclicamente, se requiere mayor capacidad de adaptación, ya que los procesos homeostáticos del organismo son requeridos de una manera más drástica

## ***II.A.6 La carta psicrométrica.***

Puesto que el confort es tan dependiente de la temperatura y de la humedad se hace muy importante entender sus relaciones y para esto es necesario hablar de la psicrometría.

La psicrometría es el estudio de las mezclas físicas de aire seco y vapor de agua, al resultado de la mezcla se le conoce como aire húmedo; se estudio de esta forma ya que el aire absolutamente desprovisto de humedad no se encuentra en la atmósfera. Como la cantidad de vapor de agua varía entonces se hace referencia al aire seco, cuya composición es constante, y las propiedades del aire húmedo se refieren a la cantidad de aire seco que hay en la mezcla.

La carta psicrométrica o diagrama psicrométrico provee una representación gráfica del estado o condición del aire en una localización dada. En la parte de anexos es posible ver una carta psicrométrica para apoyarse en las subsecuentes descripciones. Relacionan la temperatura en la escala horizontal y a la humedad en la escala vertical. Si a la temperatura de un volumen dado de aire se le disminuye hasta el punto en el cual puede retener el máximo de humedad llega a ser saturado. A la correspondiente temperatura se le conoce como punto de rocío. Cuando el aire es enfriado hasta su punto de rocío tiene 100 por ciento de humedad relativa. El punto de saturación se representa por la línea externa que limita a la carta psicrométrica.

La temperatura del aire representada por el eje horizontal del diagrama psicrométrico se conoce como la temperatura de bulbo seco y puede expresarse en grados Fahrenheit [°F] o grados centígrados [°C]. Representa las temperaturas que son leídas por termómetros comunes. El eje vertical o escala de humedad, sin embargo, es conocido por un número de nombres, incluyendo el de humedad específica, humedad absoluta y razón de humedad. Todas ellas representan la misma medida. la cantidad de agua por peso en el aire Su valor numérico se expresa en una de las dos formas: 1] kilogramos de humedad por kilogramos de aire seco [kg./kg.] o 2] granos de humedad por libra de

aire seco {una libra o lo que es lo mismo 0.453 kg. es aproximadamente igual a 7000 granos}.

Una más e importante relación - la energía contenida en el aire - también en contenida en la carta psicrométrica. La energía total del aire es la suma de las energías contenidas en la temperatura del aire [energía sensible] y la humedad vaporizada contenida en el aire [energía latente] Cada 0.453 kg. de vapor de agua en el aire representa aproximadamente 252.9519 kcal. de energía de calor latente. Por contraste, incrementando la temperatura de una 0.453 kg. de aire por 0.55 °C adicionará únicamente unos 62.9879 kcal. de la energía del aire. La suma de la energía latente y la energía sensible se le llama entalpía. La entalpía se expresa en unidades de Btus. por libra de aire seco o en Kcal por kilogramos de aire seco, y esta asociada a la humedad. Al aire con una temperatura de 0 °C y con 0 por ciento de humedad relativa se asume, por convención, que tiene una entalpía de cero y se le usa como la base de la escala para la entalpía

Gráficamente, las líneas de entalpía constante siguen casi exactamente la línea de temperatura constante de bulbo húmedo. Por lo tanto, la temperatura de bulbo húmedo, la cual puede ser simplemente cuantificable, provee una medida relativamente exacta de el contenido de calor de el aire. A mayor temperatura de bulbo húmedo, más grande será el contenido de energía en el aire. Generalmente, la entalpía es usada únicamente para cálculos numéricos de energía requeridos para cambiar las condiciones del aire [por ejemplo en el diseño e ingeniería de calefacción, refrigeración y aire acondicionado]. Para el propósito de describir el confort humano, sin embargo, la temperatura de bulbo húmedo se usa para representar el contenido de energía en el aire.

Probablemente la mejor forma de entender la temperatura de bulbo húmedo es examinar el proceso por el cual es más comúnmente medida.

La temperatura de bulbo húmedo es bastante fácil de medir con un termómetro estandar el cual tiene una mecha empapada en su bulbo sensor, lo que hace que el bulbo se mantenga constantemente húmedo; y este se somete al movimiento del aire.

Como la evaporación de la humedad de la mecha extrae una determinada cantidad de calor latente, se enfría el bulbo de manera proporcional a la cantidad adicional de humedad que el flujo de aire es capaz de absorber. Y el termómetro de bulbo húmedo registra una temperatura inferior que la de bulbo seco. Así, cuanto mayor sea la diferencia entre los dos tipos de temperatura [bulbo seco y bulbo húmedo] será menor la cantidad de energía y humedad que halla en el aire.

La ASRHAE [American Society of Refrigeration, Heating and Aconditioning Engineers] reproduce cinco tipos de cartas psicrométricas:

- 1] de 0 a 48.8 °C a nivel del mar,
- 2] de -4.4 a 10 °C a nivel del mar,
- 3] de 15.5 a 121.1 °C a nivel del mar,
- 4] para las temperaturas de la carta No. 1 a 1524 metros sobre el nivel del mar, y
- 5] para las temperaturas de la carta No. 1 pero a 2286 metros sobre el nivel del mar.

#### ***II.A.6.a La zona de confort.***

Varios estudios estadísticos se han llevado a cabo sobre un gran número de sujetos de todas las edades, sexos y nacionalidades para llegar a una descripción gráfica del confort humano. El resultado de estos estudios provee una zona de confort con una amplia banda de aceptabilidad en el cual el 95 por ciento de la población experimenta la sensación de confort térmico.

Sin embargo, siempre habrá personas incomodas, y esto se debe a que la comodidad térmica se ve afectada, desde el punto de vista de acondicionamiento del aire, por los siguientes factores: a] temperatura del aire, b] humedad del aire, c] movimiento del aire, y d] pureza del aire.

Distintas combinaciones, de los factores anteriores, que produzcan la misma sensación de calor han servido para trazar el diagrama de confort, el cual indica para invierno y para verano las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire que

han resultado agradable para la mayoría de las personas sometidas a la prueba. En los anexos aparece un diagrama de confort para su visualización. Para el uso del diagrama de confort se introduce un índice llamado temperatura efectiva, el cual indica la intensidad de calor o de frío experimentado por el ocupante de un local en las diversas combinaciones de temperatura, humedad y movimiento del aire. Esta escala está dividida en grados cuyos valores numéricos están fijados por las temperaturas de aire saturado que dan idénticas sensaciones de calor que las combinaciones efectivas de temperatura y humedad.

El diagrama de confort indica que la mayoría de individuos se sienten confortables a temperaturas efectivas de 22°C en verano y de 20°C en invierno. Estas temperaturas efectivas se pueden conseguir con una temperatura de bulbo seco de 25°C y una humedad relativa del 50 % en verano, y con una temperatura de bulbo seco de 23°C y una humedad relativa del 30 % en invierno. En el diagrama puede verse que las mismas temperaturas efectivas pueden ser obtenidas por otras combinaciones de valores de temperaturas de bulbo seco y la humedad relativa. La velocidad del aire siempre será de 4.5 a 7.5 metros por minuto.

Las consideraciones anteriores sólo valen para personas en reposo, y con duraciones entre 3 y 8 horas. Cuando las ocupantes están desarrollando actividades fuertes o están solamente tiempos menores de 1 hora, las temperaturas y humedades deberían variarse según las circunstancias de que se tratase.

### ***II.A.6.b Los procesos típicos del aire acondicionado en la carta psicrométrica.***

La carta psicrométrica también nos sirve para ilustrar gráficamente los procesos termodinámicos realizados por el aire, que se realizan en el acondicionamiento del mismo. Estos procesos fundamentales son: 1) calentamiento o enfriamiento sensible, 2) humedecimiento adiabático o no adiabático, 3) enfriamiento y desecado, 4) desecado químico, y 5) mezclado. Los primeros cuatro procesos se pueden observar gráficamente en las cartas psicrométricas que aparecen en la sección de anexos.

### ***II.A.6.b.1 Calentamiento y enfriamiento sensible.***

El calentamiento sensible describe el proceso de incrementar la temperatura de bulbo seco del aire sin modificar su contenido de humedad.

El enfriamiento sensible es exactamente lo contrario del calentamiento sensible, es decir, descender la temperatura de bulbo seco sin que se altere la relación de humedad. En la carta se representa por otra línea horizontal pero con dirección de derecha a izquierda.

### ***II.A.6.b.2 Humedecimiento adiabático o no adiabático.***

El humedecimiento adiabático es un proceso a temperatura de bulbo húmedo constante. La temperatura de bulbo seco del aire se reduce aumentando la razón de humedad del aire. Al mantenerse la temperatura de bulbo húmedo constante, la entalpía se conserva igual.

El humedecimiento no adiabático, es uno de los procesos más comunes dentro del acondicionamiento del aire. En este proceso se incrementa la razón de humedad en el aire y se va aumentando la temperatura de bulbo seco; lo que resulta en el aumento de la energía contenida en el aire.

### ***II.A.6.b.3 Enfriamiento y desecado.***

Si el aire húmedo se enfría abajo de su punto de rocío, la condensación de vapor en el aire debe tomarse en cuenta. Nótese que la entalpía total cambió y que se compone ahora de dos de partes, un cambio en la entalpía debida al enfriamiento latente (representando la energía liberada sobre la condensación de algo del vapor en el aire, de  $W_1$  a  $W_3$ ) y el cambio en la entalpía originado por el enfriamiento sensible (representando la energía removida en enfriar el aire a la relación de humedad  $W_3$  desde  $T_1$  a  $T_3$

#### **II.A.6.b.4 Secado químico.**

El secado químico es un proceso por el cual el vapor de agua contenido en el aire es absorbido por una sustancia higroscópica. Este proceso se realiza generalmente a entalpía constante, y consiste en hacer descender la relación de humedad para aumentar la temperatura de bulbo húmedo. Como se puede ver, este proceso no tiene cabida en el acondicionamiento del aire para proveer confort, por lo que se utiliza generalmente en la industria.

#### **II.A.6.b.5 Mezclado.**

La mezcla de dos corriente de aire es un proceso muy común en el acondicionamiento de aire. Aplicando la primera ley de la termodinámica al proceso de mezcla adiabática tenemos

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3 \quad (2.3)$$

aplicando la ecuación de continuidad a la corriente nos da

$$m_1 + m_2 = m_3$$

y el contenido de humedad es

$$m_1 W_1 + m_2 W_2 = m_3 W_3$$

ahora si la variable  $m_3$  se simplifica, obtenemos

$$m_1 (h_1 - h_3) = m_2 (h_3 - h_2), \text{ y}$$

$$m_1 (W_1 - W_3) = m_2 (W_3 - W_2)$$

de aquí obtenemos las condiciones para la mezcla en el punto 3, que bien se señala en la figura 2.5

$$W_3 = \frac{m_2 W_2 + m_1 W_1}{m_1 + m_2}$$

$$h_3 = \frac{m_2 h_2 + m_1 h_1}{m_1 + m_2}$$

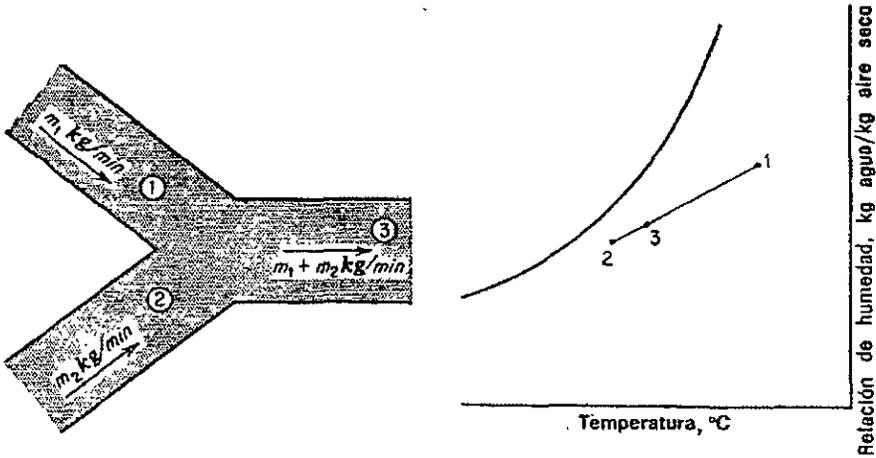


Fig. 2.5

### ***II.A.7 Algunas consideraciones para el acondicionamiento del aire.***

Para lograr las condiciones satisfactorias en los lugares de permanencia, se deben seguir algunas reglas.

Para el confort debe suministrarse en temporada de invierno una cantidad suficiente de calor, que como hemos venido diciendo depende de la humedad y de la actividad que estén realizando los ocupantes. Para personas en reposo una temperatura de 22 °C en bulbo seco es una temperatura aceptable para una humedad relativa del 30 por ciento. Cuando los ocupantes están realizando una actividad ardua, las temperaturas pueden ser algo menores. En ciertos casos como lo son en salas de operaciones y guarderías de niños, las temperaturas necesarias son mayores.

En invierno se considera generalmente que la humedad relativa satisfactoria se halla comprendida entre los 30 y 35 por ciento. Con esta humedad, una temperatura de 21 a 24 °C resulta confortable pero con aire más seco se necesitará mayor temperatura.

Se ha reconocido que un ligero movimiento del aire produce un efecto refrescante y estimulante. El movimiento no debe ser tan violento que produzca tiro, pero debe tener la velocidad suficiente para evitar el aire estancado, que siempre es deprimente. La velocidad debe estar comprendida entre 4.5 y 7.5 metros por minuto, medida a una altura de 0.90 m. sobre el piso. Esta uniformidad sólo puede obtenerse con el uso de un ventilador

El aire que se introduce a velocidad elevada debe entrar a una altura superior a la de las cabezas para evitar las molestias de las corrientes

Debido a que el aire puede contener grandes cantidades de polvo, cenizas, humo, polen, bacterias y olores se utilizan filtros, lavadores de aire y eliminadores de impurezas, precisamente para depurarlo.

El confort en tiempo de calor pone un límite en la diferencia entre las temperaturas del aire interior y el exterior, esto es porque se tiene en cuenta que un salto demasiado grande produce un choque desagradable. Durante las grandes temporadas de calor es posible que también se produzca un choque intenso de calor al salir de la atmósfera fría de un lugar acondicionado.

El cuerpo humano tiene una capacidad de adaptación a cambios moderados de temperatura después de un contacto de  $\frac{3}{4}$  a 1 hora de duración. La diferencia que se puede admitir entre las temperaturas exterior e interior varía con el tipo de local en el que se vaya a permanecer, siendo menor para tiendas, teatros y restaurantes, donde los clientes permanecen corto tiempo, que en oficinas, escuelas y casa habitación, donde los ocupantes se quedan durante 3 o más de 8 horas consecutivas.

Para permanencias de menos de 1 a 2 horas una diferencia de temperaturas de 5.5 a 6.5 °C se acepta, y para permanencias de mayor tiempo se acepta una diferencia

no mayor a los 8 °C. Para personas que se encuentran en reposo las temperaturas de 24.5 a 27 °C con un 50 por ciento de humedad relativa son comunes en proyectos.

La cantidad de aire exterior que debe de introducirse depende de la actividad de los ocupantes, del número de metros cúbicos por persona que tiene el local y del tipo de construcciones.

La tendencia actual consiste en recuperar aire del interior en 80 por ciento y mezclarlo con aire del exterior en una proporción del 20 por ciento del volumen manejado. En general, puede tomarse de 0.14 a 0.20 m<sup>3</sup> por minuto por cada persona que no fume y de 0.70 a 1.5 m<sup>3</sup> para los fumadores. Con un volumen de 11 m<sup>3</sup> por persona, 1 ½ renovaciones de aire por hora proporcionan un caudal de 0.28 m<sup>3</sup> por minuto por persona.

En construcciones como casas habitación con muy pocos ocupantes, la infiltración proporciona casi siempre la cantidad necesaria de aire del exterior.

## ***II.B El enfriamiento por evaporación.***

El enfriamiento por evaporación suele ocurrir de forma natural cerca de cascadas, ríos, lagos y océanos, bajo densa maleza o sobre superficies mojadas, como puede ser en el caso de la piel húmeda; esto es como el efecto refrescante que siente una persona al estar completamente empapado y estar frente a una corriente de aire.

El aprovechamiento de este fenómeno en la refrigeración mecánica ocurre de una sola forma pero con dos variantes: el enfriamiento por evaporación directa, y el enfriamiento por evaporación indirecta.

La teoría del enfriamiento por evaporación directa obedece al principio de saturación adiabática y la ecuación de Carrier. Básicamente ocurre, cuando el agua y el aire no saturado entran en libre contacto dentro de un sistema aislado térmicamente, lo que sucede es una transferencia de calor y agua entre ellos como una función de la diferencia de temperatura y presión. De esta forma se cumple con que el calor fluya de caliente a frío y que el vapor de agua viaje de una presión alta hacia una presión baja.

Hablando con términos de ingeniería es este proceso una transferencia de masa (paralelo a una transferencia de calor) que consiste en la evaporación de una superficie de agua que se mezcla con el aire no saturado. Sin embargo, también puede ocurrir lo opuesto; que el vapor de agua que contiene el aire se condense sobre la superficie expuesta de agua teniendo una temperatura correspondiente a una presión baja.

Si a este proceso se le da un tiempo adecuado, tanto las temperaturas y las presiones se igualarían, acabando con ello el flujo. No solamente hace que el calor neutralice la diferencia de temperaturas, sino que la evaporación alcanza una presión de vapor que hace bajar a la otra. De tal forma que las transferencias de calor y masa interactúan, dado que la evaporación requiere absorción de calor, y la condensación requiere remoción de calor, así que el intercambio de calor y vapor se lleva hasta que las temperaturas y las presiones se igualen. El resultado de todo esto es que el aire se satura de vapor de agua y la temperatura de este desciende hasta la temperatura del punto de rocío.

### ***II.B.1 La termodinámica del enfriamiento por evaporación directa.***

El flujo de calor que generalmente se da en un proceso como el descrito anteriormente usualmente se clasifica de acuerdo a dos tipos de efectos: 1) que el flujo de calor afecte la temperatura o 2) que cambie el estado físico de las sustancias en juego.

En el primero de los casos cuando el calor fluye dentro o desde una sustancia y afecta únicamente su temperatura, se le da el término de calor sensible. Mientras que la densidad de una sustancia cambie poco con su temperatura, el flujo de calor sensible no afectará su estado físico. La temperatura cambia en proporción directa al flujo de calor sensible, en cuanto mayor sea el flujo, más grande será el cambio en la temperatura, ya que se gobierna por el calor específico del material.

En cuanto al segundo caso, cuando el calor que fluye no cambia la temperatura de la sustancia sino que únicamente afecta su estado físico, como puede ser: congelarse, evaporarse, condensarse o derretirse, se le conoce como calor latente. Sin embargo como los dos tipos de calor son casi idénticos, se puede convertir uno en otro según las condiciones requeridas o que operen en el exterior.

En el caso del aire y el agua, cualquier flujo de calor sensible hacia adentro o hacia afuera elevará o descenderá sus temperaturas. Lo que significa que si se gana o se pierde 1Joul la temperatura de 1 kilogramo de aire cambiará  $0.0196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o la temperatura de un litro de agua variará  $0.00418\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ahora bien, si lo que fluye es calor latente a temperaturas ordinarias no puede cambiar el estado físico del aire, pero el agua del aire se puede evaporar o condensar. El calor latente que se necesita para convertir una cantidad de agua varía de acuerdo con la temperatura presente. Por ejemplo para a una temperatura de  $23.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  se necesitan aproximadamente 2442.26 Joules para cambiar el estado físico de 1 litro de agua.

Como se mencionó, un equipo que enfríe por evaporación de un líquido, funciona bajo el principio de la saturación adiabática, que es la conversión de calor sensible en calor latente. De acuerdo a la figura 2 6, cuando se hace pasar cualquier gas sobre un

líquido, el líquido se evaporará con el flujo del gas, al menos que el gas contenga un 100% de vapor del líquido, es decir, este completamente saturado. Como el proceso descrito es adiabático, el calor por evaporación viene tanto del gas como del líquido. Dado que este proceso se realiza muy próximo al estado estable, el gas y el líquido se equilibran uno con otro, con la única condición de que haya suficiente contacto entre ellos. Cuando se alcanza el equilibrio entre las partes, es decir, ya no hay intercambio de calor, la temperatura será  $t_w$ , la cual es la temperatura de saturación adiabática. Durante el proceso el líquido se suministra con una temperatura  $t_w$ , y el gas entrante es el que dará la energía para vaporizar al líquido. En la mayoría de los casos este proceso se realiza con aire y agua, aunque el aire atmosférico ya cuenta con un poco de agua en forma de vapor, que en la figura es representado por  $w_d$  (el sufijo "d" da a entender que se trata de aire seco) responde al principio de saturación adiabática para un gas ideal ya que el vapor de agua a presiones inferiores a 1atm tiende a comportarse en los límites de un gas perfecto. De acuerdo a como el aire fluya dentro del sistema su humedad se incrementará y

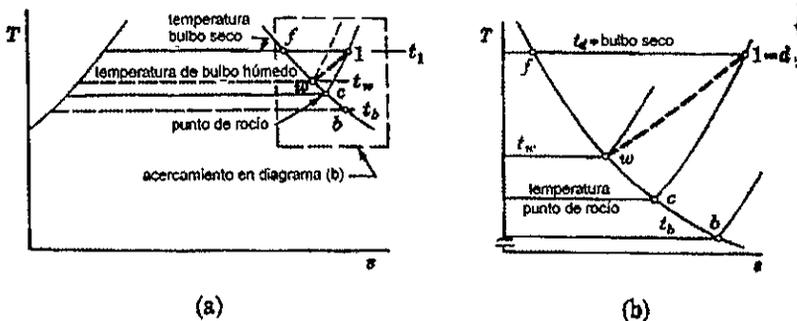
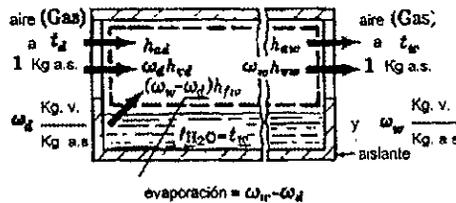


Fig. 2.6

la temperatura descenderá aproximadamente hasta  $t_w$ . Este proceso tiene como característica ser irreversible. En la misma figura en la sección del diagrama temperatura - entropía, la temperatura de saturación  $t_w$  está por encima del punto de rocío. Ahora, dado que no se realiza trabajo  $\Delta k \approx 0$  y el sistema es adiabático ( $Q=0$ ) al realizar un balance de energía queda:

$$h_{ad} + w_d h_{vd} + (w_w - w_d) h_{fw} = h_{aw} + w_w h_{vw} \quad \text{Kcal/kg. a.s.} \quad (2.4)$$

donde:  $h_{ad}$  = entalpía de 0.453 kg a.s. a temperatura de bulbo seco (temp. inicial  $t_d$ )

$h_{aw}$  = entalpía de 0.453 kg. a.s. a temperatura de saturación adiabática  $t_w$ .

$h_{vd}$  = entalpía de 0.453 kg. de vapor supercalentado en la entrada del gas.

$h_{vw}$  = entalpía de 0.453 kg. de vapor saturado a la temperatura  $t_w$ .

$h_{fw}$  = entalpía de 0.453 kg. del líquido saturado a la temperatura  $t_w$ .

$w_w$  = razón de humedad que contiene el gas o aire a temperatura  $t_w$ .

$w_d$  = razón de humedad que tiene el gas a la entrada con temperatura  $t_d$ .

$w_w - w_d$  = masa de agua evaporada

Si esta última ecuación se transforma para ser aplicada a un sistema binario, es decir de dos fases, aire - vapor, se tendría que  $h_{vw} - h_{fw} = h_{gw} - h_{fw} = h_{fgw}$ , el cambio de entalpía (calor latente) durante el proceso de evaporación a  $t_w$ , utilizando  $w_w h_{fgw}$  en vez de  $w_w(h_{vw} - h_{fw})$ , por lo que la razón de humedad para el aire entrante al sistema sería:

$$w_d = \frac{w_w h_{fgw} + h_{aw} - h_{ad}}{h_{vd} - h_{fw}}$$

de donde  $h_{aw} - h_{ad} = -(0.24(t_d - t_w))$ , el cambio de entalpía específica para el aire seco. Conociendo  $w_d$  y la presión total  $p_m$  en cualquier estado, la presión parcial de el vapor se puede calcular utilizando la ecuación de Carrier, la cual sirve para calcular la presión parcial del vapor de agua en el aire atmosférico, y que es:

$$p_v = p_{vw} - \frac{(p_m - p_{vw})(t_d - t_w)}{2830 - 1.44t_w}$$

### **II.B.2 El enfriamiento real en un sistema basado en la evaporación directa.**

Lamentablemente, los equipos que ocupan el proceso de enfriamiento por evaporación difieren de la saturación adiabática expuesta, en el hecho de que el agua que entra

lleva consigo calor sensible. De este modo, el aire es enfriado al incrementar la entalpía y la temperatura de bulbo húmedo. Se presentan dos casos: 1) donde la temperatura del agua entrante esta entre la temperatura del aire entrante y la temperatura de bulbo seco, y 2) donde la temperatura del agua que entra excede estas dos.

En el caso 1, el sistema admite aire del exterior con condiciones que se ilustran en el punto A de la figura 2.7. El aire se humidifica por el contacto con agua atomizada o superficies húmedas, que están más calientes que la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. Este proceso ocurre en equipos sin recirculación o con atomizadores. El agua que se usa se descarga y se recalienta por la ganancia de calor o se evapora completamente.

Como el calor sensible del aire se convierte en calor latente y se evapora algo de agua, el proceso se dirige hacia la parte superior izquierda a temperatura de bulbo húmedo y entalpía constantes. Simultáneamente, el agua introduce calor sensible representado por la diferencia de su temperatura sobre la temperatura de bulbo húmedo del aire entrante.

El proceso resultante se mueve hacia C a lo largo de una indeterminable ruta. Sin embargo, se presentan dos estados para el análisis: adiabáticamente de A hacia B, representando la mayoría del enfriamiento sensible del aire, después hacia arriba de B hacia C, representando lo relativo al agua.

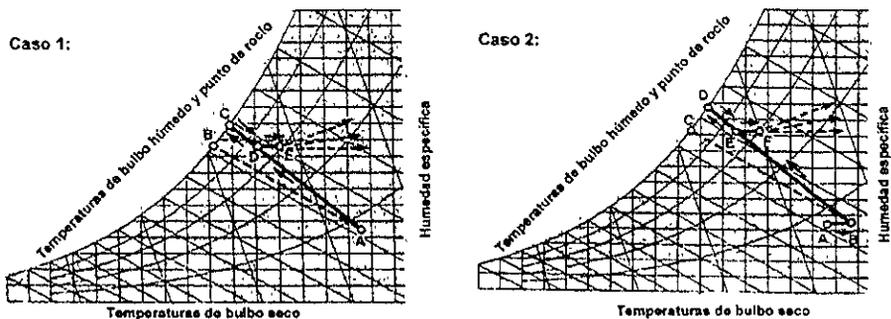


Fig. 27

La etapa posterior incrementa la humedad relativa y específica del aire y el punto de rocío sin reducir comparablemente su temperatura de bulbo seco. Lo que reduce el potencial confort – enfriamiento del aire.

Como un enfriamiento adiabático, la mayoría del aire se enfría en C en la línea de saturación, pero falta pasar los elementos de saturación que permiten la dilución con no afectar el aire (en el punto A), llevando a una mezcla en el punto D sobre la línea entre A y C. El espacio que existe al punto D sobre la línea depende de las cualidades relativas y cuantitativas de la mezcla de aire. D representa el punto de la fase fina, al menos que el ventilador o ducto desplace la fase final horizontalmente sobre la derecha, al punto E.

Para el caso 2. El aire que se maneja en el punto A hace contacto con el agua, como en el caso anterior. Estando más frío que el agua, el aire absorbe el calor sensible del agua y se calienta en B, donde la temperatura del aire y del agua coinciden. El aire y el agua juntos convierten el calor sensible en calor latente y provocan una evaporación. El proceso para la mayor parte del aire se mueve a lo largo de rutas desconocidas a D sobre la línea de saturación, ilustrado por un enfriamiento adiabático del aire en la etapa B a C, y una etapa de enfriamiento del agua en la etapa de C a D.

La dilución por el aire en los puntos A y B crean una mezcla en el punto E cerca de las líneas coincidentes A-D y B-D, la localización exacta depende de las cualidades y cantidades relativas. Finalmente, el calor sensible ganado en el ventilador o el ducto lleva a punto final F.

Este proceso, comparado con el caso 1 es menos efectivo para el enfriamiento del aire, mientras que consume más agua, por lo que se debe de evitar. Dado que el calor entrante al proceso de cualquier fuente diferente al aire a ser enfriado reduce el rendimiento de estos sistemas, por lo que se sugiere que los sistemas enfriadores por evaporación deban 1) estar protegidos de la incidencia de los rayos del Sol, 2) tener una fuente de alimentación de agua lo más fría posible, y 3) recibir el aire menos caliente que se pueda

### ***II.B.2.a La eficiencia en la saturación.***

Tratar de alcanzar el 100 por ciento de saturación para aire seco es no es práctico además de ser imposible para estos sistemas. Al permitir el libre paso del aire a través de las almohadillas para saturación, la mayor parte de estos son empacados flojamente y son rara vez de más de 5.08 centímetros de espesor. Así que, todas áreas secas de la almohadilla, las áreas húmedas flojamente empacadas, las fugas de aire que se admiten en otra parte de las corrientes de aire del exterior y despacharlos en un flujo más grande de aire saturado. Aún en sistemas de enfriamiento de calidad, los espacios entre los atomizadores y entre las gotas atomizadas por donde pasa el aire. En unos cuantos sistemas, también, el contacto de aire - agua que se hace dura el suficiente tiempo. E incluso las almohadillas de medios rígidos grandes, 60.8 centímetros de espesor, no pueden saturar fácilmente el 100 por ciento.

Almohadillas más densas, atomizadores y velocidades del aire bajas aumentan los tiempos de contacto aire - agua y reducen la dilución pero requieren ventiladores más grande, bombas, y unidades humedecedores. Además, el uso de aire casi saturado puede causar daños como: erosión, oxidación, y putrefacción de materias susceptibles, por lo que la efectividad de saturación perfecta se busca rara vez.

La gran parte de los sistemas pueden alcanzar tazas de saturación del 80 por ciento, pero en general va de 50 a 90 por ciento. La efectividad se puede calcular con la siguiente expresión:

$$E_s = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3} \quad (2.5)$$

Donde,  $E_s$  = eficiencia de saturación, %  
 $t_1$  = temperatura de bulbo seco a la entrada del aire  
 $t_2$  = temperatura de bulbo seco a la salida del aire  
 $t_3$  = temperatura de bulbo húmedo a la entrada del aire

La eficiencia de saturación varía de acuerdo al diseño del equipo, la condición, y el ajuste de este. Este término no se ve afectado por las condiciones del clima. Aunque sus

valores son a menudo semejantes, la eficiencia de saturación no se debe confundir con la humedad relativa del aire enfriado. En un clima húmedo, sistemas con 80% de eficiencia de saturación entregan aire con cerca de 80% de humedad relativa. En climas secos estos entregan aire tan bajo como 60% de humedad relativa.

### ***II.B.2.b La lavadora de aire.***

El aire que viene de estos sistemas, conocidos genéricamente como lavadoras de aire, entra a los cuartos o habitaciones en volúmenes grandes y velocidades considerables, lo que hace que el aire circule vigorosamente. Entra con una temperatura de bulbo seco que va en el rango de 15.6 a 26.7°C, absorbe el calor sensible del cuarto que se compone de las paredes, ventanas, pisos, techos, ocupantes, muebles, luces y aparatos. Estos artículos son enfriados y el contenido de calor sensible del aire lavado y la temperatura de bulbo seco aumentan por consiguiente.

El calor latente del aire lavado también aumente en forma de vapor de agua generado en los cuartos se absorbe. Ese vapor se origina como evaporación de superficies de agua expuestas y plantas; de la piel humana y pulmones; de lavar, cocinar, procesos industriales, flamas de gas abiertas, etc. La infiltración de aire de fuera normalmente crea una pequeña carga latente para las lavadoras de aire. Mientras que la deshumidificación no se puede llevar a cabo, todo el vapor generado en el cuarto atrapado en la lavadora de aire es descargado con él.

Cuando el aire lavado ha ligeramente alcanzado de 2.8 a 5.6°C, es esencial permitirle disiparse libremente hacia fuera. Generalmente se disipa a través de puertas abiertas, ventanas, y con ventiladores de extracción. Así que, el calor entrando a los cuartos u originado allí es removido constantemente por el flujo de aire que viene del enfriador por evaporación (lavadora de aire), bajando la temperatura y proveyendo movimiento de aire.

Este proceso se puede entender con facilidad si se recurre a la carta psicrométrica para este sistema. De tal forma que en la figura 2.8, el aire que abandona el equipo estará en el punto A y se irá calentando muy poco en los ductos al punto B, que es donde el

aire lavado entra al cuarto. De aquí, el proceso toma dirección hacia la derecha horizontalmente, con lo que se presume que el aire absorbe calor sensible del cuarto y sus alrededores, y hacia arriba, que indica absorción de humedad. Este movimiento combinado termina cuando el aire lavado alcanza su temperatura de bulbo seco de descarga en el punto G y se disipa al exterior. En un análisis un poco más detallado, en la ruta se muestra un calentamiento sensible desde B a F, seguido por un ligero calentamiento latente al punto de descarga G, localizado en la intersección de la temperatura final de bulbo seco del aire con ambas líneas de humedad relativa o temperatura de bulbo húmedo.

En algunas cartas psicrométricas se calibra el factor de calor sensible, que es el por ciento de calor sensible, en la carga total de calor, a ser removido. Con él se encuentran las inclinaciones para las rutas del proceso de enfriamiento en un cuarto. En la figura 2.8, la inclinación apropiada para BG es una línea paralela a la línea con referencia al punto con dirección a la escala mencionada hacia la derecha. Es común para casa y oficinas promedio estar por el 70 por ciento.

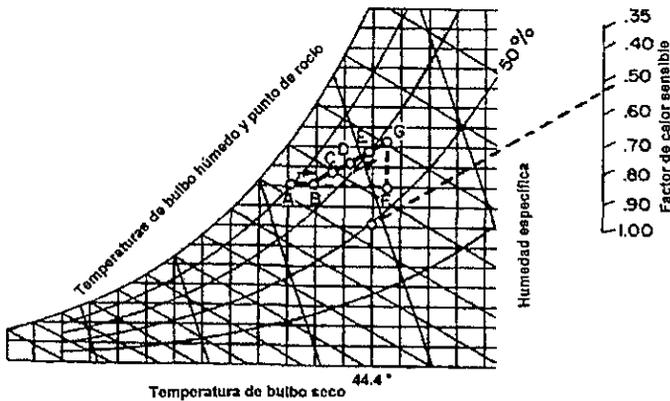


Fig. 2.8

Los puntos, para cuartos dispuestos transversalmente por una lavadora de aire entrada a salida, recaen sobre la línea BG. Si únicamente se dispone de un cuarto, su punto promedio es el punto D. En el caso de tratarse de dos cuartos sucesivos – que es el número máximo recomendado para enfriamiento por una lavadora de aire- se encontraran dos puntos sucesivos sobre la línea BG los cuales son C y E, que corresponden a los promedios de temperaturas de bulbo seco de cada cuarto respectivo. Por lo que el se-

gundo cuarto estará más caliente que el primero, pero tendrá una humedad relativa más baja. Por lo tanto será menos confortable, debido a la disminución de la velocidad de aire y las turbulencias. El primer cuarto tendrá una gran turbulencia, como flujos concentrados de aire lavado entrante rodeando al cuarto con incontables remolinos; el segundo usualmente recibe solo una parte, uniforme, y un flujo con menos velocidad hacia la salida.

Dado que el aire tratado por la lavadora debe descargarse hacia el exterior antes de que el calor del cuarto lo caliente por más de  $5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , un punto de un solo cuarto no debiese estar más que sobre  $2.8$  a  $3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  más caliente que el aire proveniente de la lavadora. Con relación a los puntos para dos cuartos sucesivos enfriados transversalmente por una sola lavadora el aire no debiese estar más  $1.7$  a  $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $3.3$  a  $4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, sobre la entrada del aire lavado.

Como el aire proveniente de la lavadora absorbe el calor sensible del cuarto en cuestión, su alta humedad relativa cae, incrementándose los niveles de confort. En un clima húmedo, si el aire lavado entre con una humedad relativa del 80%, está demasiado caliente para ganar más de  $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  antes de desecharse, entonces su humedad relativa cae por el 70%; de esta manera, la humedad relativa promedio del cuarto sería 75%. Sin embargo, en un clima seco, que es lo ideal, el aire entrante andaría por el 60% de humedad relativa y se descargaría por el 40% de humedad relativa después de haber ganado  $5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura, manteniendo la humedad relativa del cuarto de cerca del 50%, lo cual es normal en los equipos de aire acondicionado que trabajan con freón.

Los equipos que funcionan por evaporación directa se mueven entre ambos extremos, con humedades interiores que promedian cerca de 60%. Pero cuanto más rápido el aire lavado tiene contacto con la piel humana crea la sensación de enfriamiento equivalente a una humedad más baja.

### ***II.B.2.c La carta de confort para el enfriamiento por evaporación.***

En el año de 1980, la Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire acondicionado (ASHRAE) dentro de su manual de sistemas adoptó una carta para el confort utilizando enfriadores evaporativos con personas en reposo. En

la carta original se propone como máxima humedad relativa permisible 80%, pero para John R. Watt lo máximo permisible es de 70%.

La carta en si se compone de una carta psicrométrica con tres zonas que se sobrepone. Esta carta se presenta en la sección de anexos. La primera zona, A, se haya a mano izquierda, representa el aire en circulación dentro del cuarto con velocidades debajo de 30m/min. Sobre el eje central de esta zona, la mayoría de la gente encuentra confort con una temperatura efectiva de 23.9 °C. La zona central, B, representa velocidades interiores del cuarto de 1.5 m/s, teniendo mejor confort sobre los 26.1 °C de temperatura efectiva, que generalmente se ubica en el eje central de esta zona Y por último la zona C, ubicada a mano derecha que muestra velocidades interiores de 3.1 m/s, y que se encuentra centrada cerca de los 28.3 °C de temperatura efectiva.

Los vectores A y b que aparecen en la carta de confort demuestran rutas alternativas para el confort con el uso de lavadoras de aire. El vector A muestra el proceso convencional (evaporación directa) a temperatura de bulbo húmedo constante; por su parte el vector B, muestra la secuencia para una evaporación indirecta de dos etapas en la cual se tiene pobres desempeños.

Ahora bien, dado que proporcionar las condiciones óptimas para cada día de registro en un clima cualquiera es indebidamente costoso, la mayoría de los ingenieros y contratistas apuntan por niveles de confort "comercialmente satisfactorios" un poco más calientes que los del clima ideal, sabiendo que todos los otros días el equipo instalado dará la satisfacción. Y para el caso de los enfriadores por evaporación ocupan una monografía para calcular el resultado, lo más rápido posible, del enfriamiento con lavadoras de aire. En la sección de anexos aparece una monografía para calcular el confort ofrecido por enfriadores por evaporación directa. En ella se pueden observar dos plantillas que muestran los procedimientos monográficos para mantener el confort con temperatura interiores de bulbo seco 4.4 °C menores que la temperatura exterior, y con una diferencia de 3.3 °C de mitigación o alivio. En ambos casos la sensación de confort depende de las velocidades del aire.

### ***II.B.3 Las características del equipo para enfriar por evaporación.***

Antes de seleccionar cualquier clase de equipo, siempre es necesario conocer cuales es el propósito de utilizar dicho equipo. En el caso de los enfriadores por evaporación tampoco hay excepción, dado que se requiere saber para que tipo de trabajo se han de utilizar. Así que es necesario responder cuando menos cinco preguntas.

1. ¿Qué es lo que se va a enfriar? ¿Gente, equipo, u otros? Si fuese el caso de gente, ¿qué está haciendo: oficina, producción, casa, etc.? Si se tratase de equipo, ¿qué tipo y condiciones de operación tiene? ¿Cuánto genera de calor?

2. ¿Qué clase de trabajo se va a desarrollar? Ciertos tipos de operaciones pueden ser mucho mejor realizadas por otra clase de sistemas. Esto aunado a que mucha gente cree que los enfriadores solo sirven para ventilación y no para enfriamiento; además se debe tener en cuenta donde se requiere, por ejemplo en el caso de una imprenta no es de provecho tener un cooler ya que el papel no debe absorber demasiada humedad.

3. ¿Cuáles son los costos por enfriamiento? ¿Puede un equipo de aire acondicionado realizar mejor la tarea a un costo menor?

4. ¿Sobre que tipo de estructura se va a montar? ¿Existe alguna clase de condición en cuanto a la estructura que lo soportará? ¿Es necesario colocarlo en el suelo o en la azotea?

5. ¿Cuales son las condiciones climáticas de la región?

Una vez habiendo respondido a estas preguntas, es posible divisar que clase de equipo es el más adecuado. Las respuestas generalmente tienen las siguientes consideraciones:

1. La gente en casa o en una tarea de producción es blanco para el uso de enfriamiento por evaporación. Como se ha mencionado el enfriamiento por evaporación no

solamente hace descender la temperatura de bulbo seco sino que también enfría por el efecto del aire al pasar por la piel húmeda. Para gente en oficinas, usualmente lo mejor es un equipo de aire acondicionado debido a la necesidad de mantener control sobre la humedad.

2. El tipo de trabajo a desarrollar es una importante influencia para la selección del equipo. Como en el ejemplo de la imprenta, hay otras clases de procesos que requieren control sobre los niveles de humedad, y habrá otros donde la humedad no importe gran cosa.

3. Los costos por refrigeración mecánica (equipo de aire acondicionado) fluctúan alrededor de US\$ 3. 00 por cada 0.0929m<sup>2</sup>, mientras que los costos por enfriamiento por evaporación están alrededor de los US\$ 0.70 por 0.0929 m<sup>2</sup>. Generalmente los costos por refrigeración mecánica son de 3 a 5 veces mayores que los por enfriamiento por evaporación debido al alto consumo de energía.

4. Tener en cuenta cuanto peso puede soportar la estructura donde va descansar el equipo de enfriamiento es fundamental para su diseño y selección

5. Y por último, la parte primordial para la selección del equipo son las condiciones del clima. El enfriamiento por evaporación tiene mejores resultados en climas secos. Y para climas con una humedad mayor al 50 % es mejor utilizar un equipo de aire acondicionado.

### ***II.B.3.a La capacidad del enfriador.***

Los enfriadores por evaporación, tratase del tipo que sea: rotatorios, lavadoras de aire, por atomización de agua, etc., tradicionalmente han sido dimensionados por el volumen de aire lavado a entregar. La mayoría de los fabricantes de este tipo de equipos desarrollan tablas, cartas, reglas u otra clase de guías para permitir al distribuidor del equipo determinar cuan frecuentes deben de ocurrir los cambios de aire para mantener fresco el local. Un cambio de aire representa el aire lavado entregado al interior que

equivale al volumen del cuarto o espacio a ser enfriado. Dicho de otra forma, cada cambio de aire supone forzar hacia fuera el volumen de aire precedente, así que la frecuencia en los cambios de aire representa la razón continua de ventilación.

El método general recae en primero calcular el volumen del espacio a ser enfriado y después el número de cambios de aire. Así pues, el propietario asume la frecuencia necesitada, generalmente entre un cambio cada cuatro minutos y uno cada minuto. Una vez que se ha escogido la frecuencia de los cambios de aire, tómesese como ejemplo un cambio de aire cada dos minutos, el volumen del espacio se divide entre la unidad de tiempo, o sea sobre dos para el ejemplo, y de esta forma se conoce el flujo de aire necesario para enfriar.

En este método tan sencillo se pasan por alto las características de la edificación, las cargas de calor interna y las necesidades de ventilación. De esta manera, que este método no intente crear confort humano. Ya que la frecuencia de cambios de aire se determina de datos del clima, se ignoran completamente aspectos importantes como el aislante, la exposición al sol, el tamaño de la ventana, la sombra y las cargas de calor. Este método para dimensionar la capacidad de un equipo enfriador por evaporación no es el idóneo, por lo cual no se recomienda, ya que sobre enfría toda la estructura que debe estar caliente y no enfría la que debiese ser. Además se presume que el aire saliente de este equipo tendrá un 80% de enfriamiento, aunque en la mayoría de los casos alcance a entregar un 50 a 60 %.

De ser posible, todos los enfriadores por evaporación deben de ser dimensionados por los mismo principios que los usados en el aire acondicionado y la refrigeración

Por lo que primero se tiene que determinar las temperaturas de exteriores de diseño de tablas adecuadas para las condiciones climáticas, y de ahí se escogen las condiciones interiores deseables. Con ellas, se calcula la carga de calor bajo los principios de transferencia de calor. El calor conducido a través de techos, paredes, ventanas y pisos más el calor ganado de ventanas y el calor generado por luces, aparatos, ocupantes, etc., se totaliza para obtener la ganancia de calor sensible por hora. Usualmente la

ganancia de calor latente se ignora por que el aire lavado automáticamente lo agota, al menos que la carga de calor latente sea demasiado grande.

De igual manera, el calor ganado por infiltración se ignora dónde los enfriadores son seguidos por ventiladores y de esta forma tienden a presurizar levemente el espacio a enfriar, previniendo con esto la infiltración. En el caso de que los ventiladores estén alejados del elemento enfriador y creen presiones negativas, las ganancias por infiltración deben de tomarse en cuenta.

El siguiente método que se presenta ofrece una mayor aproximación e inequívoca forma de dimensionar el enfriador, ya que toma en cuenta el desempeño de enfriamiento, y no meramente el volumen de aire.

Ya que se tiene calculada la carga de calor, que su mayor parte es de genero sensible, se calcula la **depresión de bulbo húmedo**<sup>4</sup>, y se escoge una temperatura de provecho (temperatura de beneficio) de alrededor de 4.4 °C.

Ahora bien, **la temperatura de beneficio**<sup>5</sup>, provecho o ganancia del aire lavado de enfriamiento afecta el confort alcanzado, la ventilación desempeñada, la potencia consumida, y las medidas del equipo, ventiladores, ductos, y rejillas de salida, si es que los llevase. Por lo tanto, la selección de este parámetro requiere cuidado. Por tanto, en lugares donde haya poco polvo, vapor, humo o cargas de calor latentes a ser removidas, donde una temperatura uniforme es deseada para locales grandes o donde el aire lavado atraviere dos cuartos antes de ser desechado, una ganancia de 3.3 °C es apropiada para dar un extra de flujo de aire. Para mayor ventilación, bajas temperaturas de provecho para el aire lavado se pueden utilizar, preferiblemente con una disminución en los difusores.

---

<sup>4</sup> La depresión de bulbo húmedo es la diferencia de las temperaturas exteriores de bulbo seco y bulbo húmedo, este parámetro varia inversamente con la humedad relativa.

Pese a todo, donde las cargas son pequeñas y de origen sensible sin la necesidad de ventilación especial o en lugares pequeños y trayectos cortos para el flujo de aire, una temperatura de beneficio de 5.6 °C puede servir. Valores para la temperatura de provecho entre 3.9 °C y 5 °C sirven en estos casos. Claro que cuanto mayor sea esta temperatura de beneficio se aumentan los costos y la potencia de consumo.

Ya que se tiene determinada la temperatura de provecho apropiada, se ubica el enfriamiento útil sobre la tabla de la figura 2.9. Este se encuentra donde la depresión de bulbo húmedo se intercepta con la temperatura de ganancia. Si la depresión de bulbo húmedo es alta, los porcentajes serán bajos, y por el contrario si la depresión es baja los porcentajes serán mayores.

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
31%	42%	52%	63%	73%	84%	94%	89%	98%							6.7
27	36	45	54	63	71	80	76	85							7.8
23	31	39	47	55	62	70	78	86	94%						8.9
21	28	35	42	49	56	63	69	76	84	90%	97%				10.0
19	25	31	37	44	50	56	62	69	75	81	88	94%	100%		11.1
17	23	28	34	40	45	51	57	62	68	74	80	85	91		12.2
16	21	26	31	36	42	47	52	57	63	68	73	78	83		13.3
14	19	24	29	34	38	43	48	53	58	63	67	72	77		14.4
13	18	22	27	31	36	40	45	49	54	58	63	67	71		15.6
12½	17	21	25	29	33	37	42	46	50	54	58	62	67		16.7
12	16	20	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	62		17.8
11	15	18	22	26	29	33	37	40	44	48	51	55	59		18.9
10	14	17	21	24	28	31	35	38	42	45	49	52	56		20.0
	13	16½	20	23	26	30	33	36	40	43	46	49	53		21.1
	12½	16	19	22	25	29	31	34	38	41	44	47	50		22.2
	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48		23.3
	Zona de Ventilación			Zona de Operación Recomendada				Zona de Enfriamiento Brusco							
	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.2	7.8	8.3	8.9	
	Temperatura de beneficio, °C														

Fig. 2.9

Para obtener el enfriamiento neto, la carga de calor sensible, que se calcula previamente, se divide entre el porcentaje del enfriamiento útil. Con esta simple división se calcula la capacidad del enfriador para remover esta carga de calor.

Un enfriador dimensionado bajo este método debiera de manejar esta carga sin ningún problema, más los cambios en el clima pueden afectar su rendimiento.

<sup>5</sup> Representa la temperatura que se proyecta reducir a la temperatura de exterior de bulbo seco, y que de acuerdo a recomendaciones hechas para el confort no debe ser mayor de 8°C.

$$\text{enfriamiento\_neto} = \frac{Q_{\text{total}}}{\% \text{ enfriamiento\_útil}} \quad (2.6.a)$$

esta misma ecuación puede tener la forma para el acondicionamiento del aire:

$$\text{enfriamiento\_neto} = \frac{\text{flujo\_volumétrico} * \text{tg} * 60 * 1.117}{\text{volumen\_específico\_del\_aire}} \quad (2.6.b)$$

Dicho en términos de confort: en donde la depresión de bulbo húmedo sea baja, los enfriadores tendrán que hacer circular mayor cantidad de aire lavado al interior, y en donde la depresión de bulbo húmedo sea alta menos aire se tiene que hacer circular porque usualmente lleva la temperatura más baja.

Los enfriadores que no lleven conductos se deben escoger con el parámetro de enfriamiento unitario un poco elevado de acuerdo a las necesidades. De esta forma en el verano podrá alcanzar la temperatura interior de diseño o producir una temperatura más baja.

Cuando el enfriador requiera de conductos; los conductos deben de ser diseñados para el flujo de aire lavado calculándose su resistencia estática. Los datos de operación del enfriador se revisan para ver la habilidad de llevar a cabo la entrega de aire lavado contra la resistencia de la fricción estática. Si el enfriador no pudiese llevar a cabo la entrega de aire, entonces se requerirán enfriadores más grandes, ventiladores con mayor velocidad, ventiladores más grandes o motores con más potencia.

### ***II.B.3.b Las partes básicas en un enfriador por evaporación directa.***

La forma más sencilla de describir un enfriador por evaporación es decir que consta de una caja metálica o de plástico que tiene atados a sus paredes filtros verticales planos de aire bastante largos. Estos filtros, conocidos como almohadillas, consisten en materiales porosos capaces de retener una gran cantidad de agua, se les mantiene húmedos haciendo pasar agua continuamente en su orilla superior. Dentro de la caja también se encuentran ventiladores motorizados que hacen pasar aire a través de las almohadillas, con lo que se logra enfriar y humedecer el aire. El cual es descargado como aire lavado con el fin de enfriar espacios que lo requieran. Generalmente estos ventiladores cuentan con 2 o 3 velocidades, con el objeto de que el usuario final pueda regular la salida de aire de acuerdo a como lo necesite.

Existen unidades pequeñas que principalmente enfrían y ventilan cuartos, casas, departamentos, casas sobre ruedas, oficinas y pequeños locales además de camiones, autos y tracto camiones. También hay unidades más grandes que sirven para enfriar y ventilar tiendas departamentales, cocinas industriales, lavanderías, plantas químicas, refinerías, plantas de fundición, molinos, fábricas, escuelas, iglesias, gimnasios, y todo aquel lugar que requiera de enfriamiento y donde sean aceptados niveles altos de humedad.

Las características del ventilador varían en cuanto a la potencia, que puede tener un rango desde 1/40 hasta 7 ½ HP, o de acuerdo con el flujo volumétrico de aire lavado manejado, que va desde unos cuantos cientos de pies cúbicos por minuto (cfm) hasta 36 000 cfm (17 m<sup>3</sup>/s)

Hay unos cuantos enfriadores que son portátiles y que se usan en el interior del lugar a enfriar. Otros son ubicados fuera del lugar a enfriar, la mayoría de estos son montados en los resquicios de las ventanas para entregar aire lavado sin el uso de conductos. Los más grandes usualmente se montan en los techos, y llevan el aire lavado al local a través de ductos. Los equipos con capacidades comerciales grandes son montados en el techo o en el piso y usan entre 20, 30 % más de espacio.

### ***II.B.3.b.1 El gabinete.***

La mayoría de los enfriadores por evaporación tienen sus bases en forma cuadrada con un nivel de un sartén poco profundo, con la tapa superior de la misma forma. Gran parte de estas se obtienen por el proceso de estampado con lámina del 24 a 16 de calibre (0.51 – 1.29 mm de espesor), el proceso de estampado les da una forma curva a las orillas y las esquinas además les imparte rigidez contra las vibraciones. Los enfriadores más grandes llevan soldadas placas de metal y tienen orillas y esquinas cuadradas.

Casi todos los gabinetes son planos en su parte inferior, a menudo cuentan con ranuras para facilitar el montaje sobre ventanas o sobre las paredes. Las bases tienen en su interior orificios en los puntos bajos, y los enfriadores más pequeños son puestos sobre plataformas para jardín (maceteros de hilo).

Los ventiladores son montados sobre las bases, en algunos enfriadores pequeños los ventiladores son del tipo axial o hélice. Gran parte de los enfriadores cuentan con compresores centrífugos y con motores de "jaula de ardilla" los que los hace quietos y mejores para entregar aire lavado contra la resistencia estática de los ductos.

Los ventiladores son rodeados por tres, cuatro o en ocasiones hasta 6 paredes de almohadillas para saturación verticales sobre agarraderas remisibles, una por lado en casi todos los enfriadores, pero hasta cuatro en los más grandes. Las tapas, bases, lados y agarraderas de las almohadillas idealmente están lo más cerca posible, así de este modo las pérdidas de aire al paso por las almohadillas son pequeñas.

La mayoría de los enfriadores entregan el aire lavado horizontalmente desde las salidas del ventilador hasta sus frentes. Sin embargo, los enfriadores más chicos utilizados en vehículos, tracto camiones y casas rodantes, y los más grandes que se utilizan en edificios comerciales y casas completas entregan el aire directamente hacia abajo, ya que son montados en los toldos y en techos, los primeros utilizan ventiladores de hélice y los últimos utilizan compresores.

Tradicionalmente los enfriadores que tienen la salida enfrente y todos los equipos grandes tienen una abertura de descarga casi cuadrada. Cuando los enfriadores van

montados sobre las ventanas estos obstruyen el paso de la luz y la visión. Por esta causa los enfriadores de este tipo utilizan salidas de poca altura pero suficientemente anchas en sus frentes, con esto se logra que el enfriador este al ras de la ventana y se evita el bloqueo de mucho vidrio. Es ideal que esta clase de enfriador permanezca cubierto.

En los enfriadores con descarga hacia abajo, las almohadillas de saturación son colocadas en cuatro lados, no en tres, se requieren almohadillas grandes y velocidades lentas en ellas, lográndose con esto un mejor tiempo de contacto del agua con el aire y un mejor enfriamiento. Además, con estos enfriadores se reducen costos, resistencia al flujo, y calor por radiación solar de los ductos, por si fuera poco al ubicarse en techos o toldos se evita el problema de bloqueo de ventanas.

### ***II.B.3.b.2 Los ventiladores y sus motores.***

Los ventiladores de hélice o axiales sirven mucho mejor en enfriadores chicos, llegando a entregar hasta cerca de 56.6 m<sup>3</sup>/min. de aire lavado. Diseñados para los equipos de ventana, sin la necesidad de operar con ductos, estos quizás enfríen uno o posiblemente dos cuartos. Montados directamente sobre las flechas de los motores, estos ventiladores normalmente tienen de 2 a 4 aspas muy amplias hechas de aluminio o plástico y que giran desde 900 hasta 1400 RPM. Con ellos es posible hacer circular casi el doble de volumen de aire por HP que un ventilador centrifugo utilice, pero no pueden entregarlo si es que hay una resistencia considerable al flujo, por esto solo se les utiliza en sistemas sin conductos.

Una desventaja de estos ventiladores es que son muy ruidosos, especialmente cuando son puestos a funcionar en su máxima velocidad o si tienen un paso excesivo entre aspas. Los expertos recomiendan que las aspas sean colocadas en ángulos de 18° a 23° en la ubicación de unas con otras. La entrega de aire más optima se logra cuando las orillas de las aspas se abren un tercio hacia el frente.

Mientras algunos compresores tienen salidas en el rango de los ventiladores para enfriadores por evaporación, la mayoría tienen capacidades más grandes. Estos compresores son empujados por una banda en V bajo un tercio de la velocidad del motor, esto

usualmente genera suficiente presión estática para impulsar el aire lavado a través de ductos.

Las ruedas de estos compresores están típicamente formadas por álabes curvos hacia el frente, con doble entrada, balanceadas para reducir el ruido y la necesidad de soporte. En general, las ruedas con radios grandes girando a baja velocidad son preferibles en vez de ruedas chicas girando a velocidades altas, ya que son más estables y silenciosas, y consumen menos potencia.

Para asegurar que el aire entre fácilmente al compresor, las tomas de aire a ambos lados deben ser aerodinámicas o bocas acampanadas y colocadas desde las paredes del gabinete o almohadillas de saturación a una distancia mínima de un tercio de los diámetros de entrada.

Algunos enfriadores de 5 y 7½ HP utilizan dos compresores con una flecha común, colocados con la suficiente separación para permitir que el aire entre en ambos lados, la flecha es impulsada por un motor y una banda en V.

Sin importar el tipo de ventilador, los motores deben ser montados flexiblemente para aislar la vibración. En la mayoría de los enfriadores con compresor las monturas también oscilan o se deslizan por la aprensión de las bandas V. Las flechas de los motores que más resisten son de diámetro ajustable basado en hierro colado ya que permite cambiar un 30% la velocidad de la rueda del compresor para corregir la salida de aire lavado según las necesidades o la resistencia de los conductos. Las flechas de los compresores deberían llevar diámetros fijos y ser hechas de hierro fundido o poleas troqueladas; las flechas hechas bajo el proceso de estampado son vulnerables a la herrumbre en este tipo de enfriadores, por lo que pronto pierden su balance y fuerza.

### ***II.B.3.b.2.a La clasificación de los motores.***

Los motores de polos oscuros son comunes en los ventiladores de enfriadores chicos. Los motores de cuatro polos están disponibles en potencias que van desde 1/40 hasta 1/15 y son apropiados para ventiladores de hélices en diámetros que van desde

24.5 cm hasta los 40.6 cm. Los motores de seis polos operan a 900 RPM y son adecuados para trabajar en silencio.

Los motores más aceptables para los compresores de un enfriador son del tipo marco abierto horizontal. La mayoría son tipos especiales con devanados de fases para rendir 1725 RPM; unos cuantos son de arranque por capacitor. Su rango más común es 1 HP con dos velocidades para la salida de aire lavado, unos cuantos tienen tres velocidades. Casi todos cuentan con protección contra sobrecargas. Todos tienen una temperatura permisible de 50 ° y un factor de servicio de 1.00, esto es un factor de sobrecarga admisible por el motor, estos últimos son los mejores para un excelente enfriamiento del aire permitido por los motores dentro de los gabinetes de los enfriadores.

Los motores cuyas capacidades comerciales son desde 1 hasta 7½ HP a menudo son de fase sencilla, pero los más grandes son usualmente de tres fases. Casi todos son de propósito general con una sola velocidad, cuentan con una temperatura admisible de 40 °C y un factor de servicio que llega a alcanzar el 1.25, y que es el más alto que se puede encontrar.

En todos los enfriadores por evaporación, sean de ventilador o de compresor, los motores deben ser sobrecargados, ya que ellos operan en atmósferas frías y cambiantes. Dependiendo de su ubicación relativa al flujo de aire, algunos motores quizás sean sobrecargados hasta un 40 por ciento, sin rebasar su temperatura admisible de 50 °C o incurrir en caídas excesivas de velocidad. Sin embargo, tales sobrecargas dependen de cuán continuo sea el enfriamiento evaporativo; ya que cualquier fallo en el suministro de agua o en el uso del enfriador con las almohadillas secas impone un alto riesgo para el motor. En la mayoría de los casos se sobrecarga un 20% en promedio, sobre el factor de servicio. Ajustar las velocidades del ventilador en forma ascendente puede llevar al motor a severas sobrecargas, por lo que es mejor reemplazarlo por uno de mayor capacidad.

Algunos enfriadores chicos tienen ventiladores centrífugos, ya sean ruedas gemelas del ventilador montadas sobre un motor de doble flecha o motores montados dentro de ambas ruedas y tubos. En estos diseños se elimina el uso de bandas, poleas, cojinetes; y la

atención para el ruido, el uso, y el mantenimiento, pero estos requieren de velocidades bajas que se simbolizan en costos extras. También son fáciles de ajustar.

Ya que los enfriadores son montados sin un fácil acceso, ambos motor y cojinetes deben contar con suficiente lubricante, de tal forma que solo requieran una sola vez por año lubricarse. Los motores con capacidades en fracciones de HP generalmente están lubricados de por vida. Donde el nivel de ruido sea un factor importante a respetar, los cojinetes del tipo manguito son recomendados para un funcionamiento silencioso.

### ***II.B.3.b.3 Los receptáculos de las almohadillas.***

Cuando se impulsa aire del exterior a través de las almohadillas porosas solamente se permite un contacto breve entre el aire y el agua. La efectividad de los enfriadores depende ampliamente de la habilidad del material de la almohadilla de evaporar el máximo de agua en el aire, durante esos instantes, que pasa por la almohadilla. Una alta habilidad de humedecerse es esencial para abastecer de nuevo el agua sobre todas las fibras de la almohadilla tan rápido como se evapora en el aire seco y caliente.

Hoy día, casi todos los enfriadores llevan sus almohadillas puestas sobre agarra-deras metálicas separadas de las paredes del gabinete, lo que las hace fácil de remover y cambiarlas. Usualmente estas quedan de cerca en suspensores preparados en los marcos del mueble de enfriador para minimizar las fugas de aire lavado que se diluye adentro.

La mayoría de los receptáculos para almohadillas constan de paneles externos apersianados con bridas alrededor de los bordes en el interior para hacerlos dar vuelta, en la figura 2.10 se muestra un receptáculo con una almohadilla a partir de fibras de álamo. Las rejillas de alambre, comúnmente llevan puntas para mantener el relleno de la almohadilla seguro, típicamente se agarran entre el extremo de la brida. Esto crea espacios de acerca de 5.1 cm de espesor del material de la almohadilla. Las pestañas de arriba forman canalillos de distribución de agua perforados cada 2.5 a 7.6 cm para poder escurrir agua a lo largo del interior de las almohadillas.

Tales receptáculos de almohadillas posibilitan la restitución ya sea de los materiales de la almohadilla o estas por completo, con ellos se extiende la vida útil de los enfriadores. Además sirven como puertas de acceso facilitando la inspección, la limpieza, la lubricación, la pintura, el ajuste de la banda, y la reparación. No obstante, para asegurar que no haya fugas al ajustar, se requiere una estructura bastante rígida del enfriador, armada mucho mejor por soldadura o soldadura de punto, y no por atornillamiento de las láminas únicamente.

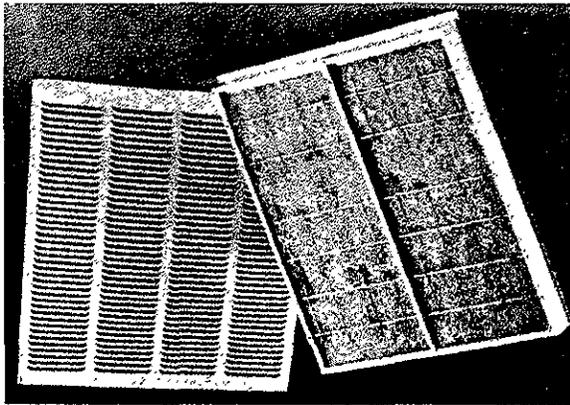


Fig. 2.10

Un buen enfriador para techos tiene sus almohadillas en fundas verticales bien adentro de su apersianado casco exterior, protegiéndolo de la corrosión del agua que hay en la almohadilla. Las cubiertas se juntan con esquinas fileteadas para llevar hasta el máximo el área del flujo de aire neto y minimizar las grietas por donde se infiltra el aire. Cuando se alza la tapa superior del enfriador, las almohadillas se deslizan individualmente hacia arriba y así se pueden sacar para su posterior restitución.

#### ***II.B.3.b.4 Sistemas de distribución del agua.***

Básicamente, dos tipos de sistemas para distribución del agua existen: el "solo una vez", el "agua de la ciudad" o del tipo sin bombeo, y el "recirculante" o del tipo con bombeo. El primero es muy simple y barato pero consume mucha más agua y necesita desagüe constante. El segundo enfria mejor, ahorra agua, y puede operar con intermi-

tente escurrimiento, pero para la vida de la almohadilla, debe llenarse de agua periódicamente o tener desagües pequeños constantes, usualmente llamados "sangrados".

Los enfriadores de "solo una vez" son usualmente pequeños y baratos, y son principalmente montados en equipos de ventana, donde el desagüe pueda irrigar céspedes o arbustos. El agua en los enfriadores clase "agua de la ciudad" típicamente entra a ellos por medio de válvulas manuales que se ubican al frente de las salidas del aire. Los costos del agua han conducido a muchos enfriadores sin bomba a salir del mercado, a pesar de tener los costos más bajos por consumo de potencia y de prolongar la vida de la almohadilla. Los enfriadores con empleo de bomba dominan el campo, especialmente en tamaños de 1/4 HP o más.

De todos modos, ya sea que el agua bombeada o no, la entrega uniforme es vital para las almohadillas, no obstante las monturas y escombros del enfriador de un nivel. Muchos enfriadores se montan al azar o desarrollan declives como extensiones de las monturas o banco. Y muchos artículos quizás obstruyan o desbalancen la entrega del agua.

En la mayoría de los enfriadores el agua primero se eleva a la distribución central fijada debajo del centro de la tapa superior, la cual usa presión o principios de la velocidad para dividir el flujo aproximadamente igual entre los tubos radiantes abastecedores de las almohadillas individuales. Colgados bajo los paneles de la tapa superior del enfriador y de aproximadamente igual longitud, los tubos afectan insignificamente el flujo. Ahora bien, los declives insignificantes en las monturas del enfriador no influyen mucho sobre el flujo dentro los canalillos sobre las almohadillas, aun cuando naturalmente debe alterarse dentro de ellas. Usualmente parte de los receptáculos de la almohadilla, los canalillos escurren el agua hacia dentro del material de la almohadilla en su parte superior por medio de hendiduras angostas verticales en forma de V, que generalmente están a medio camino arriba de sus caras externas, con una separación de 2.5 a 7.6 cm. Localizadas sobre muchos sedimentos pesados, tales aberturas resisten la obstrucción; cuando se obstruye uno, el nivel del agua aumenta hasta fluir de nuevo. Sin embargo, la forma en V de las aberturas acentúa por sí misma el efecto de la inclinación en la distribución del agua.

Donde los receptáculos de la almohadilla son altos y angostos, como en los enfriadores grandes con dos o más de estos por lado, y en los primeros enfriadores hexagonales, pequeñas inclinaciones causan una pequeña maldistribución, entre las aberturas. Sin embargo, donde los enfriadores son pequeños para mejorar su estética en los techos, los canalillos son largos, e inclinaciones menores crean al final un flujo mucho mejor que en el otro. Por eso, muchos enfriadores tienen de uno a tres "diques" espaciados en las longitudes del canalillo, con tubos de entrega separados alimentando los intervalos. Esto recorta el efecto de la inclinación marcadamente.

El agua de las aberturas escurre en las fibras superiores de la almohadilla, donde la gravedad y la capilaridad la reparten más allá, aun que imperfectamente. Con aberturas predeterminadas a un tamaño para prevenir la obstrucción, su espacio interlinea es tosco. El goteo desciende lateralmente de cada canalillo solo por capilaridad y fluye a lo largo de las fibras horizontales del excelsior; el agua quizás descienda varios centímetros dentro de las almohadillas antes de humedecer todos los ramales, con esto permitiendo flujos considerables de aire caliente y seco. Para contrarrestar esto, algunas almohadillas se extienden sobre las aberturas ligeramente para recibir agua antes de ponerse en contacto con el aire. Pero el humedecimiento allí se vuelve marginal, aun que se disminuya el área de la almohadilla quizás sea uniformemente humedecida. El agua que no se evapora escurre a lo largo a través de las almohadillas y se recolecta en la base inferior para su posterior descarga o recirculación

Los enfriadores con bomba tienen cerca sus bases, excepto para las tuberías de salida de sobreflujo y desagües manuales. El agua nueva entra a través de las válvulas de flotador que usualmente van fijadas para mantener profundidades de 5.1 - 10.2 cm en las bases, y mayores profundidades para los enfriadores más grandes.

#### ***II.B.3.b.4.a Bombas para reabastecer.***

Los enfriadores antiguos tenían bombas impulsadas por correas o ejes flexibles en los motores del ventilador, pero las bombas eléctricas de hoy difieren y se separan, para permitir a los enfriadores operar con almohadillas secas con propósitos de ventilación, lo que se ha vuelto una norma.

La mayoría de las bombas circulantes son de eje vertical, del tipo bomba centrífuga con colector, la cual se sumerge en el agua y es de plástico o de bronce; mientras el aire es enfriado, los motores de impulso eléctrico se ponen por el paso del aire lavado, protegida contra el posible rocío, véase la figura 2.11. Las aberturas de succión están a bajo en el agua, de modo que las bombas desagüen fácilmente y se deterioren rara vez por congelamiento en el invierno en el caso de los enfriadores expuestos. Hechas muy baratas, tales bombas quizás duren únicamente de dos a cuatro años antes de ser necesario reemplazarlas, dependiendo del mantenimiento y uso.

La mayoría de las bombas requieren de un engrasamiento anual, pero ciertos modelos de primera calidad han acoplado muy cerca motores permanentemente aceitados y herméticamente sellados en alojamientos de zinc vaciado. Estas bombas funcionan, al menos, parcialmente sumergidas, sus motores son enfriados principalmente por el agua, y son preferidas para operación ruda, sobre todo en áreas con agua cargada de minerales y aire polvoriento. Usualmente no requieren ningún mantenimiento pero quizás sean vulnerables tanto al congelamiento como al funcionamiento sin suficiente agua. Aunque son caras para su empleo en equipos originales en los enfriadores, muchas se usan como reemplazos en instalaciones llevadas por ingeniería y adaptadas a las necesidades.

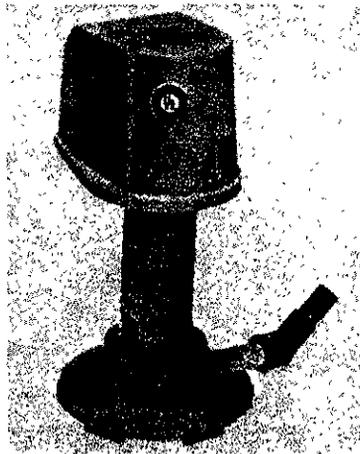


Fig. 2.11

Las bombas verticales usualmente se componen de plumas redondas (una especie de tentáculos o gruesos hilos) de plástico protectoras que filtran muchas de las sucie-

dades flotantes. Las bombas sumergidas se protegen de igual manera, pero algunas meramente llevan agua de cerca del fondo para dejar fuera los trozos del excélsior, etc., que flotan sobre la superficie, figura 2.12. Sin importar que tipo de bomba sea haya instalado, todas las bombas circulantes desarrollan bajas presión de encabezamiento y levantan relativamente cantidades bajas de agua. Algunas bombas rinden 26.5 l/min. o exceden 1/20 HP. La mayoría están entre 1/100 y 1/30 HP. En enfriadores grandes, los fabricantes prefieren montar dos bombas, en vez de únicamente una grande. Cada una entonces moja la mitad del área de la almohadilla.

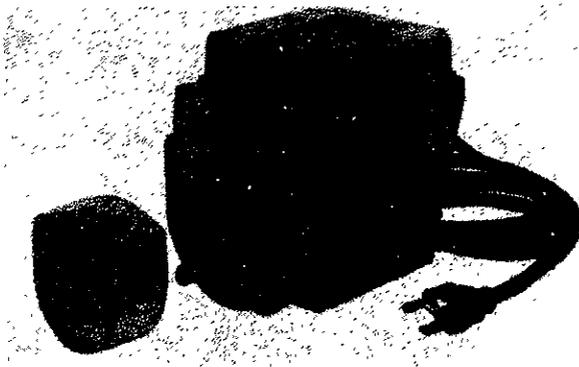


Fig. 2.12

Existen muchos más modelos de enfriadores que tamaños de bomba; de modo que las bombas aparecen en un rango muy amplio de modelos que el enfriador. De aquí que algunas marcas suministren dispositivos restrictores del flujo de agua con tal de que los usuarios puedan reducir el caudal de las bombas de relativamente mayor tamaño que el necesario. Por lo tanto, la razón de agua bombeada está en función del área de la almohadilla o del volumen de aire entregado, que es extremadamente elástico.

Ya que los enfriadores con bomba tienen desagües, la mayoría de los fabricantes suministran bombas con pequeñas salidas al lado de la descarga de la bomba. La tubería unida a ellas continuamente desecha una porción del agua puesta en circulación por la bomba principal, usualmente la descarga hacia fuera de la columna de alimentación para excesos. Este "sangrado de salida" o "purga" reduce la concentración de minerales y la suciedad del recipiente principal para el agua.

### ***II.B.3.b.5 Materiales para almohadillas.***

La efectividad del enfriador depende enormemente en las almohadillas ya que combinan la máxima área de la superficie limpia y húmeda con una mínima resistencia al flujo de aire. Esto requiere de materiales que tengan como característica una superficies que propague el agua rápidamente por acción capilar y por la cual el aire circule fácilmente.

Se han probado muchos materiales para las almohadillas, incluso textiles; excélsior de pino, abeto, algodón de madera, cedro, secoya, álamo, abeto, y otras maderas; fibras de vidrio atacadas con ácido y planas; cobre, bronce, y mamparas galvanizadas, vermicular, perlita, y papel extendido y plástico hilado. Incluso excélsior cubierto con cemento Portland finamente, se ha intentado.

Dado que los enfriadores tienen un flujo limitado flujo de agua, sus almohadillas exigen una fuerte capilaridad para asegurar una difusión uniforme del agua sobre el máximo de superficie. Virtualmente todos los fabricantes emplean almohadillas a base de arboles jóvenes de álamo en desarrollo de lugares con elevaciones altas sobre el nivel del mar. Abajo de acerca de 3048 m, estos arboles de álamo están sujetos a hongos, que cambian el color de la madera a castaño y reducen su calidad. Recolectado por compañías especializadas, se prefirió un excélsior Tipo 1, Clase A, Calidad A. Blanco, ramal largo, con las especificaciones de PPP-E-911, con ramales nominalmente de 0.25 a 2.5 mm de ancho y espesor, y no por abajo de 25.4 mm de largo.

En pruebas llevadas a cabo por John R. Watt hechas en seco, cada libra proporcionó cerca de 18.8 m<sup>2</sup>/kg de superficie humedecida. Dado que la humedad del aire afecta la densidad de la madera, este valor solo se aproxima.

Inodoro y químicamente inerte, tal excélsior es un fácil absorbente y humedecedor; el agua se extiende libremente sobre su superficie por acción capilar exclusivamente. Bajo el experimento, enfrió el aire a bajas temperaturas lo que hace a estos materiales competitivos, pero su vida útil es aproximadamente de un año, a causa del debilitamiento, obstrucción, y ruina eventual.

Más allá, como un elástico, la mezcla no dócil de diferentes formas de ramales, el excélsior no produce hongos tan fácilmente en almohadillas uniformes. Aun cuando haya dos almohadillas o aun la misma área en una almohadilla que tengan el mismo espesor, densidad, poder de humedecimiento, flujo de aire, o capacidad de enfriamiento, los fabricantes cuidadosos suministran nuevas almohadillas enfriadoras de variabilidad moderada. En consecuencia, el envejecimiento de la almohadilla y las restituciones por los dueños y usuarios añade amplias variaciones en el desempeño. Este factor, acoplado con los cambios naturales cotidianos en la depresión de bulbo húmedo exterior, seriamente impide a los enfriadores por evaporación competir con los sistemas de aire acondicionado, no obstante que los primeros operan con costos mucho más bajos.

Muchos distribuidores, mecánicos, y usuarios reemplazan las almohadillas de álamo con "Coolpad" (como en la figura 2.13), un producto a base de una trama de papel extendido de 5.1 cm de espesor, disponible en 9 tamaños usuales y en rollos para corte fácil a otras dimensiones. Resiste los hongos, las obstrucciones, y se asienta mejor que como el excélsior lo hace, nada de las cubiertas estorban las bombas o el flujo de agua, y es mucho más uniforme y fácil de instalar. No enfría el aire como lo hace la madera de álamo, pero si no se mantiene constantemente húmedas, se deteriora mucho más despacio, por lo que es muy común encontrar dos años de un desempeño muy uniforme. A causa de los costos, ningún gran fabricante lo emplean regularmente. Sin embargo, al ser flexible y auto soportarse, debería servir bien en los enfriadores redondos para techos ocasionalmente vistos.

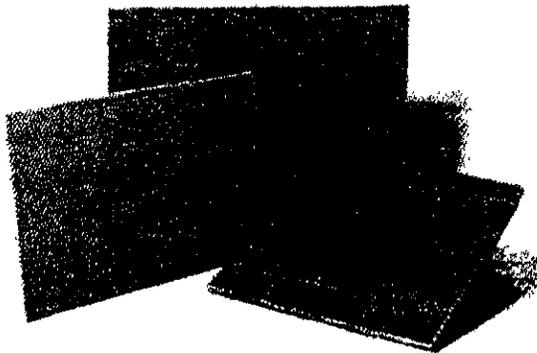


Fig. 2 13

### ***II.B.3.b.5.a Las almohadillas de dispositivo rígido.***

Las deficiencias de las almohadillas basadas en madera de álamo en el evaporador se han hecho notar. Pero sustituirlas, con otros materiales como maderas, fibra de vidrio e papel hilado, etc., también tiene sus debilidades. De modo que la madera de álamo ha sobrevivido, hasta recientemente como el único material para la almohadilla que no requiere que se le rocíe humedad para una buena eficiencia de enfriamiento. Sin embargo, usuarios y fabricantes los han esperado por materiales menos dificultosos.

Los progresos de los años 60 trajeron consigo varios dispositivos de contacto aire-liquido que fueron el parte aguas. Estos rellenos rígidos consisten de finas láminas corrugadas de celulosa fuerte y con especial capacidad de humedecimiento o materiales de fibra de vidrio unidos juntos en laminaciones verticales por cementos fenólicos o melamina impregnados con químicos resistentes a la putrefacción. Los chorros de agua descenden en ellos en películas finas moviéndose sobre virtualmente las superficies completas. Los acanalamientos de capas adyacentes cruzan en ángulos de 60°, de manera que el aire pasa esencialmente en forma horizontal a través del 95 por ciento de los huecos abiertos mientras que las películas de agua sobre las superficies rígidas fluyen en forma descendente pasándolo. En los opuestos y acanalados espacios de aire, aproximadamente la medida del espesor se recalca, el aire se mueve típicamente en un flujo turbulento entre las películas laminares del agua moviéndose.

Rodeado por agua activa, el aire repetidamente cambia de dirección en su flujo con patrones verticales en zigzag. De cualquier modo, sus áreas de flujo son relativamente constantes, así ningún retraso o aceleración sucede, manteniendo pérdidas de presión bajas aun cuando comúnmente se usan almohadillas de 30.5 cm de espesor. Además, ningún material cruza la trayectoria del aire como las fibras en almohadillas del excélsior, las paredes húmedas guían y rodean el aire en vez de confrontarlo. Esto explica porque, se necesitan almohadillas más espesas aquí para enfriar igual y porque, las caídas de la presión se mantienen bajas. Con el aire cambiando de dirección varias veces en el dispositivo, el momento del aire gasta su sólido contenido rodeando las películas de agua, que van a los colectores de abajo. De esta manera, estas almohadillas están esencialmente limpias, incluso en compañía de agua reciclada y aire lleno de polvo y polen.

### ***II.B.3.b.5.b El espesor de la almohadilla y su densidad.***

Los métodos empíricos rigen el diseño de la almohadilla para el enfriador. La mayoría de las veces las almohadillas se construyen por un arreglo manual del excélsior suelto en un fondo iluminado, en formas deseadas y espesor. La iluminación del fondo revela las variaciones de la densidad, pudiendo variarse solo cambiar el excélsior. Usualmente las almohadillas se hacen de aproximadamente 5.1 cm, sobre pasando la medida de cada conducto para mejorar el sellado de sus orillas en los receptáculos.

Los resultados varían ampliamente. A causa de la variabilidad natural de la madera de álamo, las almohadillas a menudo difieren en más del 30 por ciento en espesor y densidad. Puestas sobre receptáculos modernos para almohadillas pueden permanecer lo más uniformes posible. Los tipos de espesor y densidad dependían en el pasado de la casualidad.

El espesor de la almohadilla usualmente se acerca a los 5.1 cm, aun que alguna almohadilla para el enfriador con ventilador quizás sea más delgada para asegurar una entrega del aire adecuada. Con la densidad usualmente manejada por observación, aun existen muchas diferencias entre constructores en este tema.

Así pues, una idea primeriza era  $160 \text{ kg/m}^3$ . Un fabricante emplea almohadillas de 5.1 cm de espesor sin textura usando dos densidades aproximadas:  $0.98 \text{ kg/m}^2$  para unidades con ventilador y  $1.46 \text{ kg/m}^2$  para enfriadores con compresor. Estas son densidades de aproximadamente  $19.2$  y  $28.8 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente.

Ya que las áreas del flujo de aire neto en el excélsior son prácticamente imposibles de cuantificar, los cálculos para la velocidad usualmente se fundamentan en estudiar las áreas de las almohadillas, casi siempre el grueso de las áreas frontales de las mismas almohadillas. De esta manera, el aire entra a las almohadillas antes dichas con una velocidad de  $1.14$  a  $1.22 \text{ m/s}$ , respectivamente; teniendo pérdidas en la presión estática, originada por la velocidad, de menos de  $25 \text{ PA}$ .

Otro fabricante utilizó almohadillas con  $4.4 \text{ cm}$  de espesor para enfriadores con ventilador y otras de  $5.1 \text{ cm}$  de espesor para modelos con compresor, las cubrió con una

# **ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA**

red 14-10 de estopilla de algodón dentro y afuera, aproximando a  $27.2 \text{ kg/m}^3$  su densidad para ambos.

Por supuesto, la densidad aquí es sumamente relativa a la humedad del ambiente. Al tratarse de un material higroscópico, el peso en seco del excélsior varía casi a cada hora, impidiendo la precisión industrial. Un fabricante actualmente estipula densidades para sus la almohadilla de entre  $1.2$  y  $1.5 \text{ kg/m}^2$ . Esto es entre  $24.0$  y  $28.8 \text{ kg/m}^3$ .

En general, el espesor y la densidad son complementarias. Al aumentar el espesor aumenta el tiempo de contacto del agua y el aire, al incrementar la densidad se disminuye la filtración de aire seco a través de la almohadilla. Ambos cambios acrecientan la eficiencia de saturación, pero también restringen el flujo de aire. La almohadilla ideal debe equilibrar el espesor contra su densidad para hacer pasar el máximo de aire al por ciento de saturación deseado.

Sin embargo, el efecto del espesor es una tasa pequeña. Según como el aire cruce una almohadilla, cada grano de vapor absorbido aumenta la presión parcial del vapor del aire y reduce la diferencia de presión, induciendo a una evaporación más amplia. Cuanto mayor sea la distancia que penetre, más cerca las dos presiones de vapor de aproximarse una a la otra y la transferencia de masa de agua al aire se vuelve más lenta.

Esta pequeña efectividad no es cuantificable, pero probablemente se aproxima a la evaporación con las superficies amplias, de modo que la evaporación total es proporcional, no al espesor, pero si meramente al  $0.77$  del poder del espesor. De esta manera, duplicando el espesor de la almohadilla se incrementa el enfriamiento solo un  $67$  por ciento. Aumentando el espesor del excélsior de las almohadillas aumentará la resistencia al flujo de aire más que el efecto de enfriamiento, así como también el tamaño del equipo y su costo.

El papel de la densidad se entiende muy poco. John R. Watt experimentó con una almohadilla de madera de álamo de  $0.37 \text{ m}^2$  de área en una armadura de secciones que le dio espesores sucesivos de  $15.2$ ,  $12.7$ ,  $10.2$ , y  $7.6 \text{ cm}$  con el correspondiente aumento de las densidades. Se usó el mismo excélsior sin quitarlo o cambiarlo. Sus ramales se

aproximaron a 1.09 mm de ancho por 0.34 mm de espesor, y su superficie inicial estimada fue 18.84 m<sup>2</sup>/kg, dependiendo de las condiciones del clima.

De acuerdo con las experiencias de Watt, mientras la densidad de la almohadilla varié inversamente con el espesor real, el efecto total del enfriamiento aceptaba variar directamente con el espesor o "espesor equivalente " Se cuantifico el desempeño neto en KJ/hr o grado de enfriamiento sensible por grado de la depresión de bulbo húmedo por la unidad equivalente de espesor.

Experimentando con una amplitud de rangos para los flujos de aire y agua, la almohadilla seccionada rindió el máximo del efecto de enfriamiento por centímetro equivalente de espesor con una densidad de 32.8 kg/m<sup>3</sup>. Siguiendo con otro optimo desempeño una densidad de 43.7 kg/m<sup>3</sup> Estas densidades reflejan el efecto de enfriamiento exclusivamente, no los parámetros económicos; se omitieron los costos del ventilador y los costos por consumo de energía. Sin embargo al aumentar la densidad, se redujeron las áreas totales humedecidas en cantidades desconocidas, pero pequeñas para apretar los ramales del excélsior, el flujo de agua necesario se acrecentó un poco.

En otros estudios realizados sobre la dinámica de la almohadilla, Kadambi y Ravichandian (en 1976) observaron particularmente problemas con la densidad.

También se examinaron almohadillas de 25 mm de espesor a base de césped "khus khus" de la India con tres rangos de densidad y con distintas tasas de flujo de aire y de agua. No directamente aplicable a la madera de álamo con el doble de espesor, el rango de la densidad de 100 a 125 kg/m<sup>3</sup> probó ser mucho mejor. La eficiencia de saturación, el enfriamiento sensible, y la economía en consumo de potencia del ventilador todas alcanzaron el máximo de capacidad en este rango.

Resumiendo, existe mucha información que sugiere que las almohadillas de madera de álamo deben ser de aproximadamente a 32.0 kg/m<sup>3</sup> en densidad, o un poco menos para ahorrar potencia en el ventilador, y tener una alta densidad en la parte superior y ser más alta en vez de extensa. Los ramales más altos del excélsior deben tener una alineación predominantemente horizontal Ya que se ha establecido que en la densidad, el es-

pesor se establece para dar la eficiencia de enfriamiento deseada o, mejor aun, el máximo efecto de enfriamiento por Kw/h consumido de energía.

### ***II.B.3.b.5.c La velocidad del aire en las almohadillas.***

La velocidad del aire, entre los ramales de álamo, es muy importante. Como se ha venido observando, usualmente bajas velocidades son cubiertas.

Si la velocidad interior es demasiado baja, las películas de aire húmedo aíslan al aire seco de las superficies húmedas, reduciendo con esto la evaporación. Si es demasiado alta, resulta en un tiempo de contacto entre el agua y el aire insuficiente, por lo que bastantes ramales quedarán secos. Una velocidad intermedia induce a turbulencias, reduciendo el efecto de la película y acelerando la vaporización aproximadamente como sigue:

$$\text{Tasa de la evaporación} = K \cdot (A) \cdot (P_1 - P_2) \cdot (V) \quad (2.7)$$

Donde:

A= área húmeda,

(P1-P2)= diferencia de presión de vapor del aire y el agua,

V= velocidad del aire en las almohadillas,

K= una constante.

Esta ecuación refleja el efecto de la velocidad en distintos rangos. De esta manera, con cerca de 1.5 m/s que cubra la velocidad, el enfriamiento se incrementa con la velocidad; sobre el ritmo, duplicando la velocidad quizás corte la eficiencia de saturación original de 80 por ciento a tal vez 65 por ciento.

Al cubrirse altas velocidades también se incurre en altas resistencias del flujo de aire y se requiere más flujo del agua para el humedecimiento uniforme. Ya que las tasas de evaporación quizás excedan ciertas habilidades capilares del ramal para rehumedecerse por sí solo, una velocidad alta en las almohadillas frecuentemente causa puntos secos que admiten aire caliente y los obstaculizan rápidamente.

La obstrucción en la almohadilla esta claramente relacionada con la velocidad local; entre más baja sea la velocidad general en la almohadilla, más despacio y uniforme será el progreso de obstrucción.

Específicamente, la obstrucción consiste en la sedimentación de cal y polvo adherido en las fibras de la almohadilla. Esto sucede principalmente donde el proceso alterante de humedecimiento y secado se suceden una tras otro; ya que el agua lleva consigo minerales disueltos, al evaporarse esta los minerales se precipitan. A la mitad de este proceso de desecado, el polvo que no es lavado y retirado por la corriente de aire se adhiere permanentemente con la cal sedimentada.

A principios de 1939, M.L. y P.M. Thornburg recomendaron que los enfriadores por evaporación directa cubran velocidades de cerca de 1.3 m/s; hoy día la mayoría de los enfriadores promedian entre 1.0 y 1.5 m/s.

Casi todos los fabricantes tienen en cuenta que esta última velocidad es el límite práctico, ya que a velocidades mayores del aire podría rociar agua a través de las almohadillas y con esto dañar a los ventiladores, las poleas, los motores, etc., y posiblemente llevarla por entre los tubos hasta las habitaciones.

Unas pruebas hechas por John R. Watt mostraron que a bajas velocidades del aire se produce el máximo enfriamiento con un flujo de agua mínimo. La densidad más favorable para la almohadilla cubría una velocidad de 44.81 m/min o 0.392 kg. de aire por minuto por metro cubico de almohadilla. Esta velocidad probablemente se exceda en todo, pero para los proyectos de enfriadores grandes con una alta calidad, las velocidades del ventilador bajas posponen la obstrucción, el empeoramiento de la almohadilla y los costos por mantenimiento.

Los enfriadores altamente competitivos más pequeños y ligeros no pueden producir tales velocidades tan bajas, su tamaño reducido y principales costos dependen enormemente en emplear corrientes de aire por encima de 1.0 m/s.

Por supuesto que, amplias variaciones en la velocidad ocurren en la mayoría de los enfriadores ya que se comercializan muchos modelos con dos o más ventiladores, o tamaños de motor con mucha mayor capacidad, consiguiendo con esto de dos a cuatro diferentes capacidades en un solo tamaño del mueble y área de la almohadilla

Repitiendo, con velocidades altas se incurre en cuatro penalidades. Primero, la obstrucción ocurre más pronto porque en cada almohadilla circula más aire, atrapa más polvo, y evapora más agua; segundo, se necesita más trabajo de bombeo para asegurar un humedecimiento uniforme de la almohadilla; tercero, ocurren pérdidas mayores de la presión de la estática, aumentando con ello el trabajo del ventilador; y, finalmente, cuarto, el golpeo del agua a través del interior puede ser destructivo, ya que se forma un medio para la de erosión.

Específicamente, la mayoría de los fabricantes impiden las caídas de presión mediante el uso de almohadillas nuevas, limpias de 5.1 cm de espesor a 25.0 PA, o menos. En contraste, las almohadillas de densidad óptima a una velocidad óptima exhibieron sólo pérdidas de 7.0 PA en la presión estática. Solamente los fabricantes pueden juzgar si tales ahorros balancean los costos para ellos.

#### ***II.B.3.b.5.d El flujo de agua en las almohadillas.***

Con muchos menos tamaños de bombas que modelos de enfriadores, el flujo de agua en una almohadilla es extremadamente variable. El exceso de humedecimiento eleva ligeramente los costos por bombeo pero enfría mejor y ayuda a lavar el polvo del contenedor del agua, posponiendo la obstrucción. Un inadecuado humedecimiento, no obstante, reduce tanto la eficiencia de saturación y acelera la obstrucción. Como se menciona, dondequiera que las fibras individuales evaporen agua más rápido que su tasa de absorción de agua, se sedimentaran las incrustaciones.

Ya que las tasas de evaporación varían inversamente con la humedad del aire que entra, el flujo de agua necesario varía extensamente con el clima, aun cuando las salidas de la bomba sean constantes

Las tasas más óptimas de agua son los flujos con mínimos, que garantizan mojar todos los ramales en el clima más seco con flujos de aire más grandes. Pueden ser determinados por pruebas simples. Debido a que las eficiencias de saturación se rigen por el diseño del enfriador, el ajuste, y la condición; y no por el clima, los enfriadores cuyas eficiencias de saturación desciendan en climas calientes secos necesariamente tienen ramales que permanecen secos, mostrando que sus flujos de agua son inadecuados o mal distribuidos. Líneas de agua constreñidas, tanques sucios, o entradas de bombeo cerradas en el excélsior pueden ser los responsables; si no es así, se necesitaran bombas más grandes

En general, almohadillas altas y estrechas muestran bajas necesidades de agua que como sucede en las más extensas, cualesquiera que sean tanto las condiciones del aire como la razón del flujo

Un estudio cauteloso realizado por fabricantes independientes con dos tipos de enfriadores por evaporación fue significativo. Ambos enfriadores tenían almohadillas nuevas hechas a partir de madera de álamo con 5.1 cm de espesor, puestas sobre receptáculos móviles empacados sin estopilla de algodón u otra cubierta. Un enfriador era un modelo con diseño de descarga horizontal, 3 almohadillas (con una área de la almohadilla de 1.52 m<sup>2</sup>) y con un ventilador centrífugo de 1/3 HP. El otro era un enfriador hexagonal con almohadillas altas de 6.8 m<sup>2</sup> y un compresor de 2 HP

Durante la exhaustiva prueba, el enfriador más pequeño distintivamente indicó relaciones más óptimas de agua-aire de entre 30 y 45 kg/kg, con una razón de 40, al parecer la mejor. Esto es cerca de 34.9 m<sup>3</sup>/l o 0.029 litros por m<sup>3</sup>

El enfriador hexagonal de 2 HP y 5.66 m<sup>3</sup>/s, que tenía seis receptáculos altos para almohadillas, de igual manera consiguió el parámetro de economía más alto de cerca de 40 Kg de aire por Kg de agua o 0.029 l/min por m<sup>3</sup>/min. Así que, no obstante las diferencias de tamaño y tipo, los dos enfriadores mostraron razones de agua-aire similarmente óptimas para costos mínimos de potencia

Sin embargo, la tasa más óptima de agua estuvo en la unidad más pequeña y fue de 0.186 lt/m<sup>3</sup>/min<sup>2</sup>; donde el enfriador grande con receptáculos altos para almohadillas y una velocidad de aire más baja empleó 0.041 litros por minuto cúbico por metro cuadrado de almohadilla, 78 por ciento menos.

Aunque económicamente es óptimo en un clima normal, ambos flujos de agua en los enfriadores evidenciaron ser inadecuados para la máxima salida del ventilador en climas exageradamente secos y caliente. Entonces ambos enfriadores perdieron eficiencia en la saturación, sugiriendo un insuficiente humedecimiento de algunas áreas de la almohadilla.

De esta manera, la tasa más óptima para el flujo de agua debe ser ajustada para esperar el máximo flujo de aire y la mínima humedad del aire. Probablemente se pueda calcular como sigue para cada lugar e instalación

En un verano regional extremo se deben asumir las condiciones de diseño del aire para el exterior, por ejemplo: 43.3 °C tbs y 16.1°C tbh. La humedad específica es 0.088 granos/kg aire seco.

Cuando se enfría adiabáticamente con un 80 por ciento de eficiencia de saturación supuesta, el aire contendrá 1.94 granos/kg. De esta manera, 1.85 granos/kg deben ser agregados por las almohadillas húmedas. Si el aire lavado liberado asume estar a 169.9 m<sup>3</sup>/min o 200.6 kg/min, la evaporación total necesitada es.

$$\frac{(200.6 \text{ kg/min}) (1.85 \text{ granos agregados/kg})}{(1,000 \text{ granos/lt})} = 1.81 \text{ lt/min evaporados,}$$

En el enfriador chico arriba expresado con un desempeño óptimo, cerca de 9.5 lt fueron bombeados por cada uno evaporado; en el más grande, cerca de 5.45 lt por lt. Ya que esas relaciones descienden en climas muy calientes y secos, un promedio para los dos o 7.5 lt/lt puede ser útil seguramente para muchos tamaños de enfriador en este cálculo. Sin embargo, se debe añadir un sangrado de salida: usualmente se saca de las sali-

das de la bomba y se aproxima a la tasa de evaporación normal, estimada ser de 66 por ciento de las tasas más extremas arriba expresadas, o 1 21 lt/min en promedio.

Así, la capacidad necesitada de la bomba para prevenir cualquier secamiento relacionado con el clima extremo es, para una salida supuesta de 2.8 m<sup>3</sup>/s:

$$(7.5 \text{ lt/lt}) (1\ 817 \text{ lt/min} = 1.211 \text{ lt/min}) = 22.71 \text{ lt/min.}$$

Ese flujo se aproxima a los 0.113 kg de agua por kg de aire, el cual sobrepasa a lo que es común utilizar. De aquí que, debiese lavar todo el polvo de las almohadillas, posponer virtualmente todos los sedimentos de cal en ellas, y probablemente duplicar la vida de la almohadilla, admitir mucho menos polvo y polen en el interior, y garantizar un enfriamiento óptimo en todos los climas, incluso en el más extremo y peor.

Algunos inconvenientes serían que se incrementaran los escurrimientos, el ruido en los enfriadores que no emplean ductos y que los tamaños de la bomba se incrementen desde tal vez 1/70 hasta 1/30 HP, y que el consumo quizás sea 100 en cambio de 60 watts. Dadas las velocidades normales del aire en las almohadillas y relativamente no obstruido el excelsior, la erosión por medio del agua no debiese ocurrir.

Como se ha observado las velocidades del aire empleadas en los enfriadores, así como las consideraciones económicas rigen el diseño del producto

Los enfriadores por evaporación directa son muy competitivos y artículos estacionales, así que si se instalan bombas más grandes en ellos, así como reducir las velocidades cubiertas por la almohadilla, debe crear desventajas en la comercialización, por lo que los fabricantes prefieren no arriesgarse.

### ***II.B.3.b.6 Controles.***

Los controles para los enfriadores por evaporación directa son rudimentarios. Las unidades de ventana sin uso de bomba típicamente tienen el interruptor del ventilador y

válvulas manuales para el agua en el frente del equipo. Los enfriadores sin uso de bomba que permanezcan lejos deben tener dos interruptores y una válvula de solenoide.

Los enfriadores con reabastecimiento a menudo tienen a los interruptores del ventilador y a la bomba apartados para permitir secar las almohadillas en caso de uso de ventilación. En tamaños por abajo de 1HP, los interruptores multivelocidad del ventilador quizás den dos, tres, u ocasionalmente hasta cuatro diferentes salidas de aire lavado, aun que los usuarios aparentemente desdénen las velocidades más bajas. Los enfriadores de ventana y de pared invariablemente tienen rejillas acanaladas y ajustables para la salida de aire.

Los termostatos raramente forman parte de los módulos del enfriador; la mayoría solamente son agregados a sistemas con ductos y llevados por cálculos ingenieriles. A menudo son puestos en unidades arriba de 1 HP y bajo voltaje, funcionando por medio de relevadores los más grandes. Pocos tienen algún medidor de humedad o funciones complejas que no sean otras que circuitos de anticipación de la posible temperatura como en caso de los empleados en los sistemas de calefacción y enfriamiento.

La mayoría meramente se dan para ajustar la temperatura con ciclos de apagado-encendido del sistema de poder para dirigir al mismo tiempo los ventiladores y bombas o los ventiladores exclusivamente en casos de ventilación. Sus paneles usualmente ofrecen mandos manuales como siguen: velocidad del ventilador, apagado de la bomba para ventilar y encendido para premojar las almohadillas antes de arrancar los ventiladores (para impedir las ráfagas iniciales calientes y olores), y apagado-encendido del sistema en general.

## ***II.C La energía que proviene del Sol.***

Quizás alguien se habrán hecho esta clase de pregunta, ¿Cuales serán las principales fuentes de energía que se utilizan en el mundo? Y su respuesta pudo ser que únicamente conocía dos, que son los combustibles fósiles y los nucleares. Pero si se ahondará en la respuesta se encontraría que hace falta uno muy importante y que ha estado, está y seguirá estando en toda la historia del hombre, y al que no se le presta mucha atención pues se da como "default" y es mejor conocido por el Sol.

Definitivamente estas son las principales fuentes para la conversión de energía, pero de estos tres sabemos que los combustibles fósiles no se pueden renovar, y que los combustibles nucleares son muy peligrosos para el medio ambiente y para el hombre al estar en contacto con ellos. Así, nos queda el Sol, que es la fuente continua más abundante con la que contamos en el mundo.

El Sol representa la estrella más cercana a la tierra y es 1 300 000 veces más grande que ella; su color a simple vista es amarillento, lo que indica que es una estrella en decadencia, a pesar de esto se ha calculado que el Sol nos proveerá de luz y calor por alrededor de 20 000 millones de años más !Bastante tiempo y no creo veamos su explotación al máximo en lo que nos reste de vida como individuos; Datos interesantes a cerca del Sol son que este gira sobre su propio eje en 25 días, que se mueve hacia la constelación de Hércules llevando consigo a todo el sistema solar a razón de 72 000 km./h, y que su luz tarda 8 minutos 13 segundos en llegar a la tierra. Para la gente en general el sol solo nos brinda luz y calor a primera vista, pero para ser explícitos el sol está emitiendo energía electromagnética.

Resulta, pues, que la energía proveniente del Sol es muy atractiva, porque no contamina, no degrada al medio ambiente, y sobre todo es libre, o sea gratis. Aunque, como todo en la vida, tiene algunos inconvenientes que se pueden cuantificar en dos: primero y antes que nada, no es constante ya que solo se tiene a lo mucho medio día y en ocasiones menos tiempo, lo que hace necesario la utilización de sistemas secundarios para el almacenamiento de energía y así poder aprovecharla en los días nublados y en la noche; y segundo que es, por así decirlo, muy diluida, o lo que es lo mismo, su concentración no es lo suficiente para aprovecharse al máximo. De aquí que se realicen esfuerzos

titánicos investigando y desarrollando sistemas económicos para su aprovechamiento como fuente principal de energía. Varias instituciones internacionales están viendo por el desarrollo de nuevas tecnologías en lo referente a las energías alternativas, y dirigen sus baterías a la energía solar para nuestro consumo.

### ***II.C.1 La energía del sol.***

Ahora bien, a la energía electromagnética se le puede convertir directamente en otras formas de energía mediante tres procesos por separado el proceso helioquímico, el proceso helioeléctrico, y el proceso heliotérmico. La principal reacción helioquímica que conoce el ser humano es el proceso de la fotosíntesis, que como se sabe las plantas emplean para convertir directamente la energía proveniente del Sol en energía química, la cual funge como la principal fuente para su desarrollo. El proceso helioeléctrico no es otra cosa que convertir la energía electromagnética que emana el Sol en corriente eléctrica mediante el uso de dispositivos semiconductores, mejor conocidos por fotoceldas. Y el proceso heliotérmico que radica en convertir la energía irradiada por el Sol en energía calorífica, este proceso tiene como virtud ser el único donde se puede tener una eficiencia en la conversión del casi cien por cien.

Conociendo los tres procesos básicos necesarios para la conversión de la energía solar en otras energías, es necesario que se determine la cantidad de dicha energía que llega a una localidad dada o a una región determinada. A la cantidad de radiación solar que cae sobre una superficie cualquiera comúnmente se le da el nombre de insolación. La insolación total de una superficie cualquiera se compone de dos partes. una componente directa en forma de un rayo de luz; y una componente difusa o diseminada; así como una radiación de onda corta que es el resultado de la "luz" reflejada por otras superficies. Hay que tener en cuenta que la insolación directa sobre cualquier superficie perpendicular a los rayos del Sol variará de acuerdo a la época del año, a la hora del día, y a la latitud de la superficie, así como de las condiciones atmosféricas que prevalezcan en ese momento.

#### ***II.C.1.a Tiempos del Sol***

Para el conocimiento de los lectores, la tierra interactúa con el Sol de la siguiente manera, la tierra viaja alrededor del Sol sobre una trayectoria elíptica que es más o menos

muy próxima a un círculo. El 21 de diciembre es cuando la tierra se encuentra más cercana al Sol, a unos  $1.45 \times 10^{11}$  metros de distancia, o para tener una idea más clara algo así de ciento cuarenta y cinco millones de kilómetros ¡bastante cerca!, ¿No lo creen así?. El día 22 de junio es cuando más lejos está:  $1.54 \times 10^{11}$  metros de distancia entre el Sol y la tierra. Si la tierra se moviese a velocidad constante alrededor del Sol, el momento del sol medio sería el momento del sol local, pero como la órbita sobre la cual viaja no es completamente circular, estamos hablando de una elipse muy poco pronunciada, la velocidad será variable; este fenómeno se aprecia cuando en ciertas épocas del año los días aparentan ser más cortos o más largos según sea la hora a la cual amanezca, aunque el momento del sol promedio no varíe. A la diferencia que existe entre el momento solar correcto, conocido como el momento solar aparente (AST, de sus siglas en inglés Apparent Solar Time), y el momento del sol medio (MST, también de sus siglas en inglés Mean Sun Time) se le llama "ecuación del tiempo".

A decir verdad la "ecuación del tiempo" no es propiamente una ecuación con todo y variables, sino simplemente un factor de corrección que dependerá de la época del año del que se tratase

Tabla 2.2  
Parámetros para cálculos solares. (al día 21 de cada mes)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Noviembre	Diciembre
Día del año	21	52	80	111	141	173	202	233	265	294	325	355
Inclinación	19.9	-10.6	0.0	+11.9	+20.3	+23.45	+20.5	+12.1	-0.0	-10.7	-19.9	23.45
Ecuación tiempo min	11.2	-13.9	7.4	+1.1	+3.3	-1.5	-6.2	-2.4	+7.5	+15.1	+13.8	+1.6
Mediada solar	Inclde			Temprano			Tarde			Temprano		
A, $\text{ft/m}^2$	390	385	376	360	350	315	311	331	365	378	387	391
B,	0.132	0.141	0.156	0.180	0.196	0.205	0.201	0.177	0.160	0.149	0.149	0.142
C,	0.058	0.060	0.071	0.097	0.121	0.131	0.136	0.122	0.092	0.073	0.063	0.057

A es la radiación solar aparente en aire con masa 0.

B es el coeficiente de extinción atmosférica.

C es la tasa de radiación directa difusa sobre una superficie horizontal (es adimensional)

El momento del Sol medio se calcula utilizando la longitud local, cabe señalar que la longitud representa una de las coordenadas geográficas con las cuales se puede determinar una posición en el globo terráqueo, en total son tres las coordenadas geográficas y estas son: latitud, longitud y altura. La longitud la determinamos por el ángulo formado por el Meridiano de Greenwich ( $0^\circ$ ) y el plano del meridiano del lugar. Se comienza a cuantificar a la longitud a partir de los  $0^\circ$  del meridiano de Greenwich, hasta los  $180^\circ$  al

Este y los 180° al Oeste; y todos los puntos que se ubican dentro de un mismo meridiano tendrán la misma longitud.

Dado que la Tierra rota 360° sobre su propio eje cada 24 horas, a un grado de giro en la Tierra corresponderían 4 minutos, esto dato se encontró mediante una simple regla de tres. Téngase en cuenta una línea imaginaria que corre a través del centro aproximadamente de cada huso horario (la variación de cada huso horario es de 15 grados en la longitud) y llámesele el meridiano estándar de cada zona horaria. Sobre esta longitud el momento del Sol promedio y el tiempo local estándar son idénticos, por lo que cuando se mueve un individuo al Este o al Oeste del meridiano estándar tendría que sumar o restar 4 minutos por cada grado de separación en la longitud, para explicarse mejor: si se mueve al oeste de la línea imaginaria que pasa por el centro del huso horario tendría que restarle al tiempo local 4 minutos por cada grado de separación, pues estaría hablando de un momento del Sol medio anticipado; y si se moviese al Este tendría que hacer lo contrario, o sea restar los 4 minutos por cada grado, pues en este caso tendría el caso de un momento del Sol medio retrasado.

Cuando se cuenta con un horario de verano como ocurre en nuestro país En este caso lo que se hace es restar al tiempo de luz natural una hora, y después agregar o quitar los minutos establecidos, según la separación que exista con el meridiano estándar.

Se puede pensar que es mucha vuelta o desperdicio de esfuerzo en lo referente a los tiempos del Sol, pero la razón fundamental para haber dedicado este espacio y tiempo es que el momento solar aparente se ocupa para poder calcular algunos ángulos solares que tienen incidencia directa con la insolación. Y el AST está en función del MST.

$$\text{AST} = \text{MST} + \text{"ecuación del tiempo"} \quad (2.8)$$

### ***II.C.1.b Angulos solares.***

Para el sistema planetario el Sol representa el centro, y los planetas giran en torno a él describiendo órbitas elípticas. Los planetas al hacer su movimiento alrededor del sol obedecen a las leyes de Kepler, que dicen:

1. Todos los planetas giran alrededor del sol en órbitas elípticas y el sol ocupa uno de sus focos. Dado que los planetas describen en su movimiento con respecto al sol una ruta elíptica, hace que dichos planetas se encuentren a distintas distancias con respecto a él. Cuando se encuentran más cerca del sol se dice que están en Perihelio, y cuando están más retirados están en Afelio.
2. Los radios vectores de cada planeta recorren áreas iguales en tiempos iguales. Dado que los arcos de la órbita elipsoidal que recorren los planetas son distintos entre sí, harán que el planeta viaje más rápido cuando se encuentre en el Perihelio y más lento en el Afelio.

Cuando la tierra realiza su movimiento de rotación alrededor del Sol al mismo tiempo se encuentra girando sobre su eje, pero al realizar la tierra su movimiento con respecto al Sol no lo hace con su eje de giro perpendicular al plano de la órbita, sino con una inclinación de  $66^{\circ} 33'$ , de tal forma que el plano de la órbita y el del Ecuador de la tierra forman un ángulo de  $23^{\circ} 27'$ . De tal forma que el eje sobre el cual gira la tierra es unidireccional con respecto al Sol. Ahora bien, al ver como gira la tierra con respecto al sol y acelerando este proceso, se nota que la tierra pareciese tambalearse. Este "tambaleo" es lo que produce los cambios en las estaciones y también genera un ángulo solar muy importante que se le conoce como ángulo de inclinación al cual se le asigna la letra griega  $\delta$ , vale la pena mencionar que la inclinación del eje determina que la tierra no reciba los rayos del sol del mismo modo durante todo el año. Este ángulo de inclinación se puede explicar en función del ángulo formado por los rayos del Sol y la normal al eje de rotación de la tierra (eje polar) en el plano de los rayos del sol. Para las latitudes que se encuentran al norte los valores que puede tener  $\delta$  van del  $0^{\circ}$  en el equinoccio primaveral (21 de marzo), a  $+23^{\circ} 27'$  en el solsticio de verano (22 de junio), a  $0^{\circ}$  en el equinoccio otoñal (septiembre 23), a  $-23^{\circ} 27'$  en el solsticio de invierno (22 de diciembre).

Es necesario recordar unos conceptos vistos en la escuela primaria para que quede claro lo anterior. La latitud, como se había comentado antes, forma parte de las coordenadas geográficas para la localización de un punto en la tierra, y para poder determinarla se toma el ángulo formado por el plano del ecuador y el plano que forma la vertical

del lugar que se trata de localizar. La vertical es una recta imaginaria que parte del punto a localizar y que penetra hasta el centro de la tierra. Para medir esta latitud se hace uso de los paralelos, que a partir del ecuador se marcan de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  hacia el norte o hacia el sur, de tal manera que la menor latitud la tendremos en el Ecuador  $0^\circ$  y la mayor en los polos  $90^\circ$ , y todos los puntos que queden dentro una misma latitud quedarán en un mismo paralelo. Así mismo cuando sé esta hablando de la rotación de la tierra con respecto a su eje, se esta haciendo referencia a la vuelta que realiza la tierra en dirección de oeste a este sobre su eje polar (eje inclinado) y que tiene una duración de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos (representa lo de un día sideral) a una velocidad promedio de 1600 km /s. Desde pequeño a uno se le enseña a percibir que solo hay cuatro estaciones en el año: primavera, verano, otoño e invierno. Se le llama estación al tiempo que transcurre entre un solsticio y un equinoccio, y hay dos de cada tipo 2 equinoccios y 2 solsticios, que tienen como fechas las señaladas anteriormente. Los equinoccios tienen lugar cuando los rayos del Sol caen inclinados igualmente al hemisferio norte y al hemisferio Sur, de aquí que el día en esa fecha sea igual en toda la tierra, de hecho equinoccio quiere decir noches iguales. En cuanto al solsticio este ocurre cuando los rayos del Sol sólo alcanzan a llegar hasta los Trópicos debido a la inclinación del eje polar, el significado de solsticio es: Sol estacionario.

Hay otros ángulos que son esenciales para los cálculos en lo referente a la energía que regala el Sol. Ahora bien, para un punto cualquiera sobre una latitud  $L$ , la posición del sol puede ser encontrada en términos de: el ángulo de altitud  $\beta_1$  y el ángulo de acimut  $\alpha_1$ . Antes de proseguir, se ha demostrado por varios astrofísicos que el ángulo sólido medio del Sol, relativo a un observador que este sobre la tierra o muy próxima a ella es como de medio grado; por lo que a distancia solar el sol puede ser tratado como un punto fuente. Ahora si se puede continuar, el ángulo de altitud es el que se forma de los rayos del sol y la horizontal de la tierra, pero se puede utilizar para mayor facilidad el ángulo cenital y que se forma entre los rayos de Sol y una línea que parte del centro de la tierra al cenit del punto específico; y el ángulo de acimut es el que resulta de la proyección horizontal de los rayos del sol y la línea al sur que va en dirección a las manecillas del reloj, para conocer mejor el acimut: se mide sobre un plano horizontal en dirección oeste desde el meridiano sur. Como los ángulos  $\beta_1$  y  $\alpha_1$  no son de fácil adquisición, se pueden emplear para fines

más prácticos el ángulo de latitud  $L$ , el ángulo de declinación  $\delta$ , y el ángulo de la hora  $H$ , y con ellos calcular  $\beta_1$  y  $\alpha_1$  derivados de las siguientes expresiones algebraicas:

$$\cos \gamma = \sin(90 - \gamma) = \sin \beta_1 = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta_1} \quad (2.9)$$

Tanto el ángulo de latitud y el de inclinación son muy fáciles de encontrar, y el ángulo de la hora se consigue de medir hacia el oeste alrededor del Ecuador, desde el meridiano sur hasta el meridiano del punto en cuestión. Físicamente representa el ángulo que debe girar la tierra para colocar el meridiano del punto directamente debajo del Sol. El ángulo de la hora, así como al ángulo de acimut de los rayos del sol, es positivo después de atardecer y negativo antes de atardecer. Este puede ser calculado con la siguiente expresión:

$H = 0.25$  [número de minutos antes (-) o después (+) del atardecer, AST]

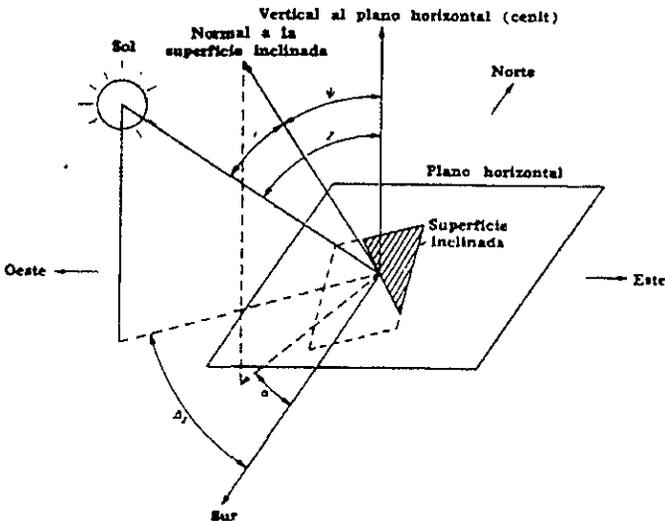


Fig. 2.14

Todo este procedimiento es muy complejo, pues para determinar el ángulo entre los rayos del sol y la normal a la superficie  $\theta$ , primero se debe dejar claro que orientación tiene la superficie. De la figura 2.14 el ángulo de acimut  $\alpha_2$  de la superficie es el ángulo que queda formado entre la proyección horizontal de la normal a la superficie y la línea tirada al sur en dirección a las manecillas del reloj; además el ángulo que forman la superficie y la horizontal es el ángulo en declive  $\beta_2$  de la superficie.

Una vez que se han evaluado los ángulos:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ; es posible determinar el valor de  $\theta$  en la siguiente ecuación:

$$\cos\theta = \sin\beta_1 \cos\beta_2 + \cos\beta_1 \sin\beta_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (2.10)$$

Existen para esta ecuación dos casos particulares. El primero de ellos es que la superficie a la que se está haciendo referencia sea horizontal con  $\beta_2 = 0$ , la ecuación anterior se reduciría a:  $\cos\theta = \sin\beta_1$  ó lo que es lo mismo  $\theta = 90^\circ - \beta_1$ . Y el otro caso consiste en que la superficie fuese vertical con una  $\beta_2 = 90^\circ$ , para lo cual la ecuación quedaría reducida a  $\cos\theta = \cos\beta_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)$ . Cabe señalar que si  $\cos(\alpha_1 - \alpha_2)$  es negativo, entonces el sol no resplandece directamente sobre una pared vertical.

### ***II.C.1.c Radiación solar.***

La cantidad de radiación solar directa, también conocida por insolación, que cae sobre una superficie cualquiera es igual al producto de la insolación cayendo sobre una superficie normal a los rayos del sol,  $I_{DN}$ , y el  $\cos\theta$ . Más el valor de la radiación solar también se ve afectada por las condiciones atmosféricas, que como muchas veces se ha podido verificar que la radiación que llega a la superficie terrestre se altera por lo grueso de las nubes, o por la cantidad de vapor de agua que haya en el aire, o por los niveles de contaminación presentes. Todos estos factores que afectan los niveles de insolación son representados en forma general por una tasa de masa atmosférica  $m$  que se ubica entre la ruta de la radiación solar en un punto cualquiera y si el sol estuviese exactamente arriba del punto ( $\beta_1 = 90^\circ$ ) a nivel del mar; de tal forma que fuera de la atmósfera de la tierra esta tendría un valor de  $m=0$ , y con fines prácticos para otras localidades sería

$m=1/\text{sen}\beta_1$ . Se han realizado investigaciones sobre el efecto de la transmitividad de la atmósfera con respecto a los efectos que tienen sobre de ella: la humedad, el ozono y las partículas de polvo. Como es sabido por todos, las condiciones de humedad y altura varían de un lugar a otro, por lo que será necesario para cualquier punto tener su valor de claridad del cielo.

Para poder calcular la intensidad de la radiación normal directa sobre la superficie de la tierra, esto en  $\text{W}/\text{m}^2$ , en un día claro se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$I_{DN} = Ae^{-\left(\frac{B}{\text{sen}\beta_1}\right)} \quad (2.11)$$

donde A viene siendo la insolación aparente extraterrestre (en  $m=0$ ) y B es el coeficiente de extinción atmosférica, además el valor de B depende de la época del año y la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Los valores mensuales de estos parámetros se presentan en la tabla 2.2.

El flujo total de energía que proviene del Sol  $I_{T0}$  sobre una superficie en cualquier orientación e inclinación con el ángulo incidente  $\theta$ , es igual a la suma de las componentes solares. Al inicio del capítulo se había mencionado lo de las componentes solares, pero ahora se detallarán un poco más. La componente directa que en este caso se forma por la perpendicular a la superficie es  $I_{DT} \cos\theta$ , la componente difusa o diseminada de la radiación que viene del cielo es  $I_{DS}$ , y la parte que corresponde a radiación por onda corta reflejada de los alrededores de la superficie  $I_R$ . Así pues se tienen que el flujo total de energía solar es:

$$I_{T0} = I_{DN} \cos\theta + I_{DS} + I_R. \quad (2.12)$$

La parte que se refleja  $I_R$  depende de la geometría y características de reflejo de las superficies. De tal forma que la cantidad de radiación reflejada se puede calcular utilizando métodos convencionales, además de que esta parte no es muy importante dentro de los cálculos, excepto para aplicaciones espaciales como podría ser el diseño de un transbordador espacial

Quizás el parámetro que más trabajo cueste poder calcularse sea  $I_{DS}$ , que viene siendo la componente diseminada, esta tiene su dificultad para calcularse debido a que su naturaleza la convierte en no direccional, pero para las superficies que están expuestas a una componente directa, la parte difusa se puede estimar en razón de:

$$I_{DS} = C I_{ND} F_{SS} \quad (2.13)$$

donde  $C$  es la tasa de diseminación para la insolación directa, que ya se conoce, sobre una superficie horizontal, y  $F_{SS}$  representa el ángulo factor entre la superficie y el cielo. El valor de  $C$  se localiza en la tabla 2.2, mientras que  $F_{SS}$  se aproxima de:

$$F_{SS} = \frac{1 + \cos \beta_2}{2} \quad (2.14)$$

Ahora bien, para finalizar los referente a la radiación solar habría que hablar de la energía que es absorbida por la superficie: la cantidad de energía absorbida es igual al producto de la radiación incidente  $I_{T0}$  y la emisividad de las superficie por radiación insolación  $\epsilon_{su}$ . La emisividad de la superficie se considera diferente de la radiación solar y común a transferencia térmica debido a la naturaleza de la longitud de onda de la energía solar.

Todo lo anterior se hace necesario para que se tenga conocimiento de que es lo que se necesita para poder calcular los niveles de insolación que llegan a la tierra, pero realmente no son muy usados pues existen cartas o tablas que indican la radiación solar que llega a un punto en específico con solamente saber unos cuantos datos de fácil adquisición, es posible observar una carta con los niveles de insolación en la sección de anexos; e incluso hay programas de computadoras que aproximan los ángulos y establecen la radiación solar

## ***II.C.2 Sistemas recolectores de energía solar.***

Ahora que ya se conoce la forma de medir la cantidad de energía que llega a la tierra, viene la parte de cómo es que se recolecta para poder aprovecharla. Existen en el mundo tres tipos de sistemas que son capaces de realizar estas tareas y que se dividen en tres categorías. La primera de ellas recae en aquellos sistemas que sólo son pueden producir temperaturas por abajo de los 150°C, es decir convierten la energía electromagnética en energía térmica que generalmente se aprovecha para el calentamiento y enfriamiento de edificios; la segunda consiste en las fotoceldas que son sistemas únicos que pueden producir energía eléctrica directamente de la energía electromagnética que desprende el Sol., y por último la tercera, que son aquellos sistemas que producen elevadas temperaturas y que se ocupan para la generación de energía eléctrica.

Para continuar se hace una breve descripción de los sistemas. Los sistemas que producen temperaturas debajo de los 150°C normalmente ocupan un plato colector plano y que generalmente está hecho de vidrio o plástico traslucido. El vidrio, o en su caso el plástico, funciona como una "trampa" de la radiación de onda corta de los rayos solares. El calor que se genera dentro del colector comúnmente se transporta por medio de aire o una solución de agua - glicol. Su apariencia de estos sistemas es como la figura 2.15.

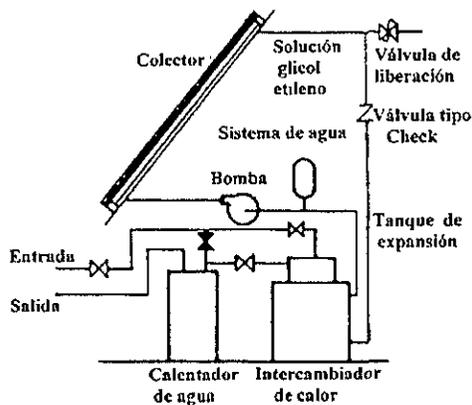


Fig. 2.15

Gracias a los programas espaciales, las fotoceldas ha encontrado una gran aplicación, desarrollo e investigación, esto debido a la tasa que tienen entre energía generada y peso. Desafortunadamente cuentan con una muy grande desventaja comparados con los sistemas tradicionales de conversión de energía eléctrica y es que son muy costosos, más sin embargo pueden ser empleados para aplicaciones sencillas o en donde instalar una planta convencional tiene demasiadas complicaciones

A excepción de las fotoceldas, la producción de energía eléctrica a través de energía solar requiere la concentración de esta para alcanzar elevadas temperaturas. Para poder superar los 150°C que se alcanzan en otros sistemas, es necesario que la radiación solar incidente sea concentrada. Tal vez alguna vez hayan visto en la televisión este tipo de sistemas, la energía de los rayos del sol se concentra con el uso de espejos parabólicos, o enfocando una matriz de espejos. En Francia es donde operan este tipo de sistemas y tienen una distribución como la figura 2.16 muestra. Cabe mencionar que este sistema ocupa la elevación de la temperatura para generar vapor y de ahí pasarlo a una turbina que tendrá acoplado un generador eléctrico.

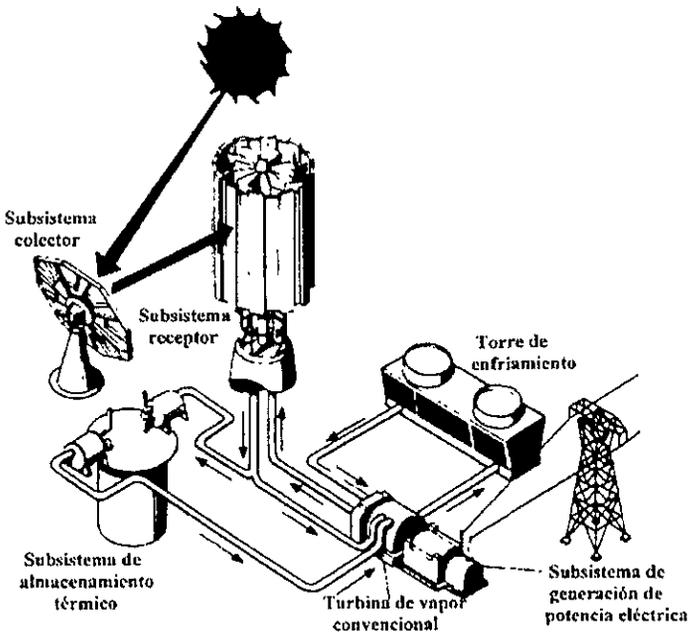


Fig 2 16

## ***II.C.2.a Las fotoceldas***

De los tres sistemas mencionados anteriormente el que se ocupa para esta investigación es el de las fotoceldas por lo que lo siguiente hará referencia a este tipo de sistemas. Como se había comentado antes la radiación electromagnética se manifiesta ante el hombre en forma de luz y calor, y la capacidad de convertirla en electricidad directamente está en función de las bajas eficiencias de conversión.

Históricamente el principio de operación de las fotoceldas fue descubierto por Adams y Day en el año de 1876 cuando se encontraba ocupando selenio. Cuarenta y tres años después un investigador de apellido Coblenz descubrió que se puede inducir una diferencia de potencial entre las regiones iluminadas y oscuras de unos cristales semiconductores. Pero no fue hasta 1941 que Ohl descubre y da vida al efecto en unión P-N de dos semiconductores, que es como a hora se le conoce al principio de las fotoceldas

La imaginación vuela y conduce a considerar el alto potencial de las fotoceldas, pero que desafortunadamente todavía no se puede explotar al máximo. Se esta haciendo referencia a que con una constante solar de  $1395 \text{ W/m}^2$  la temperatura efectiva radiante sobre la superficie del Sol es de alrededor de  $6000 \text{ }^\circ\text{K}$ , y de acuerdo a la ley de desplazamiento de radiación térmica de Wiens, la energía más probable de la radiación solar es de 2.8 eV. Esta última cantidad es muy pequeña comparada con la energía encontrada en las reacciones nucleares, pero es más que suficiente para excitar los electrones de valencia de algunos materiales.

### ***II.C.2.a.1 La teoría del estado sólido con los semiconductores.***

El principio de operación de la celda fotovoltaica recae en el efecto fotoeléctrico sobre una unión p-n donde intervienen dos semiconductores. Ahora pues, para poder comprender el principio de operación de la fotoceldas es necesario primero relacionar al mundo del estado sólido con el mundo de los semiconductores.

Para lo que el ser humano considera temperatura y presión normales, la mayoría de los materiales se encuentran en estado sólido, que viene siendo un estado en el cual la

materia esta condensada y que se caracteriza por ciertas interacciones atómicas de suficiente intensidad que proporcionan al material un volumen y una forma. Ahora bien, la separación entre los átomos contiguos de un sólido es del mismo orden de magnitud que el diámetro de la nube de electrones que rodea a cada átomo.

Se pueden encontrar dos tipos de sólidos: los amorfos y los cristalinos. Los sólidos cristalinos se caracterizan por tener un orden de largo alcance, es decir, una disposición periódica de los átomos que se conoce como estructura cristalina, mientras que los sólidos amorfos tienen un orden de corto alcance, o mejor dicho cuentan con un estado en el que cada átomo esta rodeado por otros dispuestos más o menos regularmente. Las fuerzas que causan la disposición de los átomos en un sólido cristalino son, en algunos casos, las mismas que intervienen en los enlaces moleculares. De aquí que se pueden encontrar cristales iónicos, covalentes y metálicos, según del tipo de enlace químico de que se trate.

En la realidad los cristales difieren en muchos aspectos de una estructura ideal. Con frecuencia, los materiales son policristalinos, lo que es lo mismo, materiales compuestos de muchos pequeños cristales individuales unidos por las fronteras de grano. Dentro de un cristal individual puede haber átomos intersticiales en lugares que no les corresponde, y vacantes, lugares de la estructura cristalina que deberían estar ocupados por un átomo.

Muchas propiedades macroscópicas de los sólidos están en función de la estructura microscópica del material, y las propiedades ópticas no son la excepción. Los buenos conductores eléctricos no pueden ser transparentes a las ondas electromagnéticas, por que los campos eléctricos de las ondas inducen corrientes en el material, y estas disipan la energía ondulatoria en forma de calor cuando los electrones chocan con los átomos de la red.

Un semiconductor es un material que cuenta con una estructura cristalina cuya resistividad eléctrica tiene un valor intermedio entre la de los buenos conductores y la de los buenos aisladores. Ahora bien la fotocelda se compone de dos semiconductores donde se presenta el fenómeno fotoeléctrico. La particularidad principal de los semiconductores es el espacio que existe entre las bandas de energía.

Así pues, utilizando un diagrama simplificado de las bandas de energía se pueden identificar la banda de conducción marcada por  $E_c$ . Similar a la banda de conducción pero en su parte baja se haya la banda de valencia marcada por  $E_v$ . La banda de energía para el espacio entre las dos bandas anteriores es  $E_g$ . La distancia entre la banda de conducción y le energía de un electrón libre  $E_{vac}$  se cuantifica multiplicando la afinidad del electrón  $X$  por la carga electrónica  $q$ .

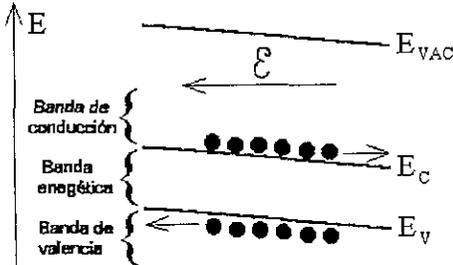


Fig. 2.17

A partir de aquí se introduce el concepto de hueco u hoyo para poder facilitar el entendimiento de que es lo que sucede con los electrones en la bandas energéticas de un semiconductor cuando se encuentra en presencia de un campo eléctrico. Los hoyos o huecos son electrones perdidos. Estos se comportan como partículas con las mismas propiedades que los electrones tendrían al ocupar su posición o estado con la diferencia que estos tienen una carga positiva.

Al aplicarse un campo eléctrico uniforme este provoca un gradiente constante en las orillas de las bandas de conducción y valencia así como un gradiente constante en  $E_{vac}$ . El gradiente en  $E_{vac}$  representa el campo eléctrico entre el semiconductor

Los electrones en la banda de conducción son partículas cargadas negativamente, los cuales se mueven cuesta abajo en dirección opuesta a la dirección del campo eléctrico. Los electrones en la banda de valencia se mueven en dirección del campo eléctrico, de tal manera que la corriente total debida a los electrones en la banda de valencia está dada por :

$$J_{vb} = \frac{1}{V} \sum_{\text{lugares-completos}} (-q)v_i \quad (2.15.a)$$

donde V es el volumen del semiconductor, q es la carga electrónica ( $1.602 \times 10^{-19}$  C) y v es la velocidad del electrón. Pero si a esta expresión se le acomoda de tal forma que contenga la corriente originada por los electrones que se encuentran perdidos en la banda de valencia, quedaría la expresión de la siguiente forma:

$$J_{vb} = \frac{1}{V} \left( \sum_{\text{todo los lugares}} (-q)v_i - \sum_{\text{lugares-vacios}} (-q)v_i \right) \quad (2.15.b)$$

La suma de todos los estados o posiciones en la banda de valencia es igual a cero dado que los electrones que se encuentran en una banda completamente llena no contribuyen a la corriente, por lo que el último término queda:

$$J_{vb} = \frac{1}{V} \sum_{\text{lugares-vacios}} (+q)v_i \quad (2.15.c)$$

Y el cual es la corriente debida a una partícula cargada positivamente asociada con el estado vacío en la banda de valencia. A esta partícula se le llama hoyo o hueco. Resumiendo un poco, los huecos se mueven en la dirección del campo eléctrico, ya que son partículas cargadas positivamente y tienden a ascender en las bandas de energía

### **II.C.2.a.2 La operación de una fotocelda.**

Una unión p-n consiste de dos regiones semiconductoras adyacentes de tipo opuesto. En un semiconductor cuando la unión p-n se forma, hay un proceso de carga pasajero con el cual se establece un campo eléctrico en la vecindad de la unión. Si bien ambos semiconductores el tipo n y el tipo p están cargados neutralmente por si mismos, la concentración de electrones en el material del semiconductor tipo n es tan alto que cuando se combina con el semiconductor tipo p algunos de los electrones del material n se "escurren" dentro de los hoyos del material p. Esto permite esencialmente que el material de la junta n quede cargado positivamente, mientras que el material de la junta tipo p queda cargada negativamente en la vecindad de la unión

Ahora bien, si un voltaje  $v_L$  es aplicado a través de la unión, el potencial en la unión se reducirá por la cantidad de voltaje. Siendo que el voltaje incrementará el flujo de portadores mayoritarios (electrones al material p y los "huecos" al material n) que atraviesan la unión, y como es posible observarse en la figura 2.18 Para efectos teóricos la densidad de corriente en la red  $J$  a través de la unión viene dada por

$$J = J_0 \exp \left( \frac{e v_L}{k T} - 1 \right) \quad (2.16)$$

donde  $J_0$  es la densidad de corriente de saturación inversa, esto quiere decir que es la corriente que fluye cuando un voltaje inverso se aplica a través de la junta y el flujo de la corriente es obligado a únicamente portadores minoritarios (electrones a el material n y "hoyos" a el material p).

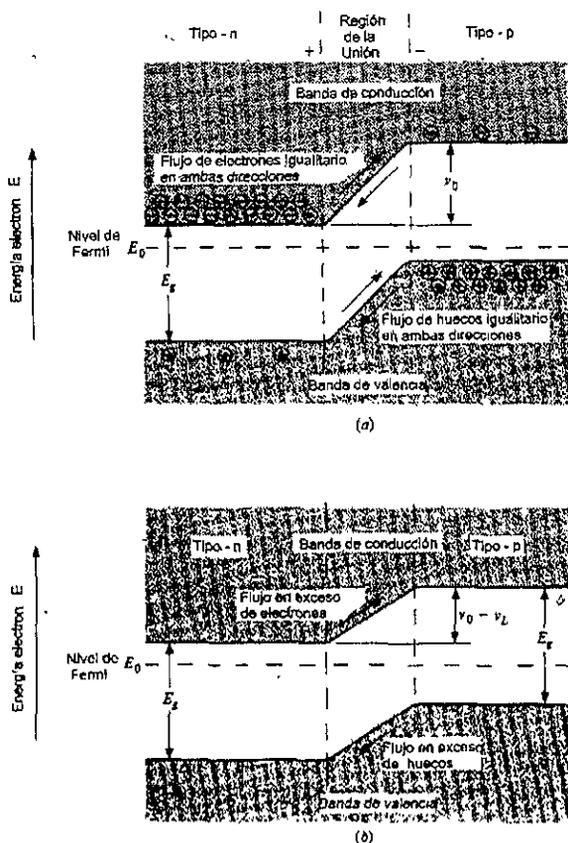


Fig 2 18

Los fotones que reaccionan con los electrones de valencia cerca de la unión p-n provocan un efecto parecido al que produce el voltaje transmitido. En este caso,  $v_L$  es el voltaje de salida que se genera por los fotones. Para ilustrarnos haré uso del diagrama esquemático de una fotocelda común y corriente (figura 2.19). Los fotones que no son reflejados inciden sobre la superficie de la celda, entran por la fina capa exterior del material semiconductor y son uno y otro convertidos en calor o producen iones dobles debido a los electrones de valencia despojados de los átomos del semiconductor. Para lograr obtener un ion doble, el fotón entrante debe tener una energía excesiva de  $E_g$ , que generalmente es conocida por energía de excitación. Algunos de estos iones serán separados por la acción del campo eléctrico en la unión, de tal forma que estos iones reducirán el campo eléctrico en la junta e incrementarán el flujo de portadores mayoritarios, logrando producir un flujo de corriente.

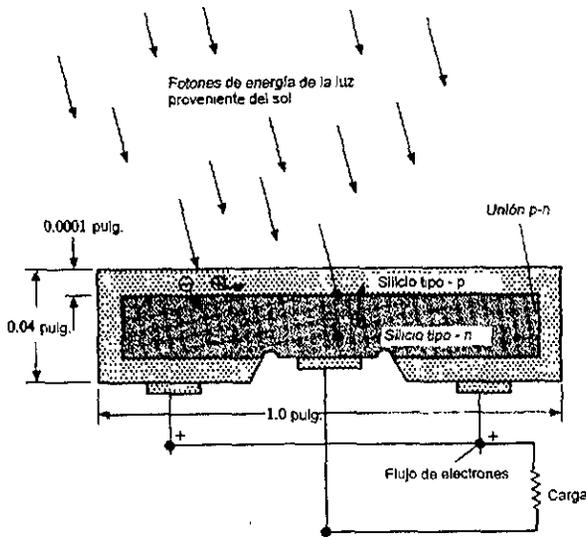


Fig. 2.19

Como todo en la vida nada es perfecto, y a decir de las fotoceldas tampoco lo son. La eficiencia en la conversión de las celdas solares se ve afectada por las pérdidas que severamente limitan el desempeño de estas. Son dos las pérdidas principales en el funcionamiento de una fotocelda y estas son pérdida en la junta y pérdida en el espectro. La primera de ellas es la pérdida debida al flujo de portadores minoritarios en la unión (que dentro de la ecuación de la densidad de corriente en la red viene representada por el  $-1$ )

Aunque este flujo es comúnmente pequeño comparado con el flujo portadores mayoritarios, no es posible despreciarlo. De tal manera que para celdas solares a base de silicio expuestas a la radiación solar, la pérdida en la unión representa una reducción en la eficiencia de conversión de alrededor de 50 por ciento. La pérdida en la unión baja a medida que la intensidad de la radiación se incrementa mientras que esto aumenta efectivamente  $v_L$  en la ecuación de densidad de corriente  $J$ . Debe tenerse mucho cuidado en incrementar la intensidad de la radiación porque si la temperatura  $T$  aumenta mucho, puede negar el incremento en  $v_L$ .

La otra pérdida considerable en las fotoceldas esta asociada con el espectro de energía de los fotones incidentes y la energía de excitación del material del semiconductor. Cualquier fotón con una energía incidente menor que la energía de excitación  $E_g$  no puede producir un ion doble y la energía del fotón se convierte en energía térmica y perdida. Aquellos fotones que tienen una energía por arriba de la energía de excitación producirán normalmente iones dobles y la energía que sobra se convertirá en calor, aunque el exceso de energía quizás ayude a prevenir alguna recombinación de los iones dobles. Así que para celdas solares con base en silicio, la energía de excitación es 1.1 eV y la pérdida en el espectro para radiación solar es de casi 50 por ciento.

Existen también pérdidas menores asociadas con la operación de las celdas, incluyendo el reflejo de los fotones, recombinación de iones dobles antes de que alcancen la unión, y también la pérdida ocasionada por calentamiento, particularmente capa delgada exterior del semiconductor. Tomando en consideración todas las pérdidas, la máxima eficiencia en la conversión de celdas a base de silicio, la cual tiene una de las más altas eficiencias en la práctica, es de alrededor del 25 por ciento, mientras que el rango para las demás es de 15 a 20 por ciento.

Es por esta razón que el silicio es el material base más usado para la operación de celdas fotovoltaicas. El silicio es empastado con fósforo para producir semiconductores tipo n y es empastado con boro para producir semiconductores tipo p.

Ya que se ha venido hablando de la eficiencia en la conversión y de las pérdidas en su operación, creo se hace necesario asentar las bases de cómo es que se calcula el desempeño de las fotoceldas. La operación de dichos dispositivos es en parte semejante

a la corriente generada por el efecto fotoeléctrico  $J_s$  que es enviada por entre la resistencia interna de la celda si es que existe una carga en la celda en todo. La porción de densidad de corriente en la celda que va por las cargas externas es  $J_L$ , que viene dada en la siguiente ecuación:  $J_L = J_s - J$  pero como ya conocemos la expresión  $J$  la podemos sustituir resultando con esto

$$J_L = J_s - J_0 \left( \exp \frac{eV_L}{kT} - 1 \right) \quad (2.17)$$

De acuerdo con la ecuación anterior si se presenta la condición de corto circuito, es decir  $V_L = 0$ , la razón exponencial en el último término se aproxima a la unidad por tanto  $J_L = J_s$ .

Ahora pues la potencia de salida de una celda es  $P = V_L J_L A$ , en donde  $A$  es la superficie de la celda; si se sustituyen términos de la ecuación arriba queda

$$P = Av_L J_s - Av_L J_0 \left( \exp \frac{eV_L}{kT} - 1 \right) \quad (2.18)$$

Si a la expresión anterior le sacamos un diferencial con respecto a  $V_L$  y a la derivada la determinamos igual a cero encontramos el valor del voltaje de la carga externa  $V_{L,max P}$  que da la máxima potencia de la celda. De aquí se puede obtener la siguiente relación:

$$\exp \frac{eV_{L,max P}}{kT} = \frac{1 + J_s/J_0}{1 + eV_{L,max P}/kT}$$

Si la densidad de corriente  $J_s$  y la densidad de corriente inversa de saturación  $J_0$  se conocen, el valor de  $V_{L,max P}$  puede ser encontrado de la ecuación de arriba por el método de error y acierto. La máxima potencia de salida que puede tener una celda esta dada por

$$P_{max} = \frac{Av_{L,max P} (J_0 + J_s)}{1 + kT/eV_{L,max P}}$$

Si el flujo de energía incidente,  $P_n/A$ , sobre la celda se conoce, la eficiencia en la conversión para la máxima potencia queda de la siguiente forma

$$\eta_{maxP} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{v_{L,maxP} (J_0 + J_s)}{P_{in} (1 + kT/e v_{L,maxP})} = \eta_{max} \quad (2.19)$$

### ***II.C.2.d Tipos de fotoceldas en base a sus materiales constituyentes.***

Cuando los fotones de la luz solar chocan con la fotocelda, únicamente los fotones con un cierto nivel de energía son capaces de liberar electrones de sus respectivos enlaces atómicos, produciendo con ello una corriente eléctrica. El nivel de energía al cual se hace referencia arriba se define como la cantidad de energía necesaria para dislocar un electrón de su enlace covalente. La energía que poseen los fotones debe ser al menos más alta que la energía necesaria para liberar un electrón. Sin embargo los fotones con una alta energía a menudo expelen su energía extra como calor cuando liberan un electrón. Es por esta razón que el material de una fotocelda debe maximizar la energía de los fotones a través de modificaciones en la estructura molecular del semiconductor, para de esta manera poder convertir tanta luz en electricidad tanto como sea posible.

La energía de los fotones en la luz varía de acuerdo a las diferentes longitudes de onda de la misma, así pues en el espectro completo de la luz solar se cubren rangos desde 0.5 eV hasta 2.9 eV, pero desafortunadamente cerca del 55 % de la energía de luz está por debajo o se excede de la energía para la liberación de electrones.

Previo a establecer los tipos de materiales para fotoceldas hay que describir un material tipo p y un material tipo n, así como el campo eléctrico en ellos. Una fotocelda generalmente se conforma de dos semiconductores en capas como si fueran un emparejado. Uno de esos semiconductores es un material tipo p y el otro un material tipo n, y corresponden a positivo y negativo respectivamente debido a la abundancia de huecos o electrones. Cuando el semiconductor tipo p y el tipo n son puestos juntos, el exceso de electrones en el material tipo n fluyen hacia el material tipo p, y los huecos vacantes fluyen al material tipo n. El movimiento de un hueco es algo así como si se moviese una burbuja dentro de un líquido. A través del movimiento de huecos y electrones los dos semiconductores actúan como si se tratase de una batería creando un campo eléctrico en la

unión de las superficies. Este campo es el causante de que los electrones salten del semiconductor para dar paso a un circuito eléctrico.

De esta manera se llega a como se obtiene un semiconductor tipo p y un tipo n. La manera más común de obtener un material tipo p o n es agregando a un material base, que generalmente viene siendo el silicio, un elemento que tenga un electrón extra o que le falte uno. Al proceso de agregar un elemento diferente a la estructura molecular del silicio se le conoce como dopaje. Así pues el primer tipo de fotocelda que se encuentra es la hecha a base de silicio simple. Un cristal de silicio tiene una estructura molecular uniforme dado que la estructura entera se desarrolla de un mismo cristal, esta uniformidad en la estructura es ideal para la transferencia de electrones a través del material.

Para producir un material tipo n se agrega fósforo, que tiene cinco electrones de valencia, al silicio. El proceso generalmente es cubrir la capa superior con fósforo después calentar la superficie, esto permite al fósforo diseminarse por el silicio; existen otros métodos como la difusión gaseosa, el proceso de atomización líquida y una técnica por la cual iones de fósforo son puestos en la superficie de silicio. Lo que ocurre en el dopaje con fósforo es que un átomo de fósforo ocupa el mismo lugar en la rejilla cristalina que estuvo ocupada por un átomo de silicio. Cuatro de electrones de valencia del fósforo toman posesión de la responsabilidad de enlace que tenían los electrones de valencia del átomo de silicio, pero el quinto electrón de valencia queda libre. De manera que cuando se sustituyen numerosos átomos de silicio por átomos de fósforo en la estructura de un cristal siliciano habrá muchos electrones disponibles.

En el caso de un material tipo p, al silicio se le dopa con boro. El boro es introducido en el proceso por el cual se obtiene el cristal de silicio. Cuando el boro asume su posición en la rejilla cristalina hay un enlace al cual le hace falta un electrón, esto debido a que el boro solo cuenta con tres electrones de valencia, así que en el enlace donde hace falta un electrón hay un hueco.

Pero no solo del silicio se logran materiales tipo p y tipo n para una fotocelda, sino que también hay a base de silicio amorfo, policristalinos y a base de galio - arsénico. Con lo que se completa los tipos de fotoceldas.

A causa de que un cristal de silicio amorfo no tiene una estructura uniformemente cristalina, la pequeñas desviaciones resultan en defectos tales como enlaces colgados (vacíos). Estos defectos proveen lugares para que electrones se recomponen con huecos. Al silicio amorfo se le agrega una pequeña cantidad de hidrógeno con el fin de que los átomos de hidrogeno se combinen químicamente con varios enlaces colgados, esencialmente para removerlos y de este modo permitir a los electrones moverse a través del silicio amorfo. La ventaja del silicio amorfo es que absorbe la radiación solar 40 veces más que como lo hace el silicio simple. Por estas características, las celdas se diseñan ultradelgadas y se componen de tres capas básicas, la capa superior tipo p, la capa intermedia de un material intrínseco y la capa inferior de un material tipo n. La capa superior es tan delgada que la mayor parte de la luz incidente pasa a través de ella, para generar electrones libres en la capa intrínseca. La capa p y la n crean un campo eléctrico a través de la región intrínseca para inducir el movimiento de electrones en la capa.

La celda policristalina se compone de varios pequeños granos de materiales semiconductores, además de tener una interface entre los dos tipos de semiconductores, a esta interface se le conoce como heterojunta debido a que se forma de dos diferentes materiales. Los materiales para la formación de semiconductores tipo p y tipo n para las fotoceldas policristalinas generalmente se constituyen por cobre - indio - selenio doble ( $\text{CuInSe}_2$ ) su característica principal es una alta tasa de absorción que permite que el 99 % de la luz disponible se absorba en el primer micrón del material. La celda típica policristalina tiene una muy delgada capa en la parte alta conocida como ventana (menor que 0.1 micrón). La tarea de la ventana es absorber la energía luminosa únicamente del final del espectro luminoso, es lo suficientemente delgada y tiene una banda de liberación amplia (2.8 eV o más) que permite que el resto de la luz pase a la heterojunta y se absorba, por lo regular la capa absorbente en tipo p. El material para la ventana en dispositivos  $\text{CuInSe}_2$  es el cadmio - sulfuro ( $\text{CdS}$ ), aunque se le puede adicionar zinc para mejorar la transparencia. El cadmio - telurio ( $\text{CdTe}$ ) es otro prominente material en la celdas policristalinas cuenta con una alta tasa de absorción, al igual que las celdas  $\text{CuInSe}_2$  las celdas  $\text{CdTe}$  utilizan una interface como heterojunta y  $\text{CdS}$  actuando como ventana. La desventaja de este tipo de celda es que  $\text{CdTe}$  es muy resistente al paso de la electricidad, aunque se puede solventar esta dificultad permitiendo a  $\text{CdTe}$  ser intrínseco y adicionando una capa de zinc - telurio ( $\text{ZnTe}$ ) tipo p entre  $\text{CdTe}$  y la parte del contacto eléctrico.

Por último se encuentran las celdas fotovoltaicas a base de galio arsénico. Este semiconductor compuesto tiene como principales características:

1. su banda de liberación es 1.43 eV
2. cuenta con una alta tasa de absorción, lo que permite que la celda pueda ser delgada.
3. Pero quizás la mayor ventaja de GaAs es su gran control para el diseño.

**II.C.2.b Tamaño de un sistema fotoeléctrico.**

El tamaño de un sistema solar – eléctrico depende de la cantidad de potencia requerida (Watt), el tiempo necesario en que será utilizado (horas) y la cantidad de energía disponible para el área particular (horas de sol por día). Las dos primeras variables son fácilmente manipuladas por el hombre, sin embargo la tercera variable está en función del lugar donde se proyecte ubicar el sistema

Ahora bien, el primer paso para determinar la capacidad de un sistema fotovoltaico de cualquier índole que se trate, consiste en calcular las cargas totales, para el caso de un enfriador por evaporación directa estas cargas se resumen en dos dispositivos que demandarán la potencia, estos son el ventilador, ya sea de hélice o el tipo compresor, y la bomba de alimentación, que llevará el agua a las almohadillas.

ⓐ Así pues se tendrá que llenar una tabla con las siguientes características:

Descripción de la carga	Watt	x	Hrs/semana	=	Watt Hrs/semana
			<b>TOTAL</b>	<b>=</b>	

ⓑ El siguiente evento consiste en establecer el voltaje que se empleará para alimentar dichas cargas, para el caso de sistemas fotovoltaicos, es común encontrar aplicaciones con voltajes de 12 o 24 volts

③ Después es necesario conocer el total de amperes hora / semana que van a ser utilizados en corriente directa, para esto se divide el total de ① entre ②.

④ Para terminar con lo correspondiente a las cargas, se obtiene el promedio total amperes hora por día, para lograr esto simplemente se divide el valor de ③ entre 7, que es el número de días por semana.

Una vez que se han establecido las cargas totales, los siguientes pasos sirven para cuantificar el número y tamaño de los paneles solares

① El promedio total de amperes hora por día.

② Como todo sistema que tenga que ver en la conversión de energía no es perfecto, aquí se compensan las pérdidas aplicando un factor de 1.2, por lo que ① se multiplicará por 1.2

③ Es necesario tener conocimiento de las horas del sol por día en la localidad donde se planea ubicar el sistema

④ El total de amperes por arreglo será ② entre ③.

⑤ Un dato que no se debe pasar por alto es el correspondiente al máximo de amperes que un módulo fotovoltaico puede entregar.

⑥ Para tener cuantos módulos son necesarios para activar las cargas eléctricas se divide ④ entre ⑤.

⑦ Por último se redondea ⑥ al próximo número entero mayor.

### ***II.C.2.b.1 Respaldo eléctrico para un sistema fotoeléctrico.***

Una vez que se tiene el tamaño del sistema eléctrico, quizás sea necesario un sistema que respalde o proporcione energía eléctrica, cuando la magnitud de la radiación

electromagnética proveniente del sol no sea suficiente para seguir suministrando los amps requeridos para continuar operando el equipo; aprovechando al mismo sol el dimensionamiento para una batería que tendría la función señalada estaría asentada en los siguientes pasos

① Tómanse los amps \* módulo / hr por día requeridos (paso 4 de cálculos de cargas).

② Téngase como número continuo de días seminublados y la necesidad de enfriamiento en 2.

③ Se multiplica ① x 2.

④ Para mantener un 20 % de reserva en la batería después de la descarga se divide ③ entre 0.8

Este último paso nos da la capacidad neta de amps \* hora de la batería. Es posible que no se encuentre una batería que sea capaz de suministrar tales magnitudes, pero atendiendo a las leyes de resistencias en serie y paralelo se pueden configurar 2 o más baterías para obtener los amps \* hora requeridos.

### **Capítulo III**

**“El enfriamiento por evaporación directa y las fotoceldas una alternativa energética a los costos derivados del consumo de energía hecho por los sistemas simples de aire acondicionado”**

Ahora bien, para evaluar si un equipo enfriador por evaporación directa impulsado por la energía eléctrica que proviene de la conversión de la luz solar que realizan unos módulos fotovoltaicos, es una alternativa en función de los costos originados por el consumo de energía que los equipos de aire acondicionado empleados por habitantes de aquellos estados de la República Mexicana, donde las altas temperaturas que se sienten en el ambiente van acompañadas por altas cuentas por pagar como consecuencia del consumo eléctrico de los equipos acondicionadores del aire. Se realiza un análisis comparativo a forma de establecer las bondades y carencias económicas del enfriamiento por evaporación directa y el uso de sistemas fotovoltaicos.

Previo a emprender dicho análisis, se deja claro que este tipo de sistemas se limitan en su capacidad de enfriamiento, es decir que estos no debiesen ser dimensionados para alcanzar grandes capacidades de enfriamiento, esto se señala pues de esperarse que alcancen a enfriar una construcción completa, se vería afectado el consumo de energía, y por tanto el número de paneles fotovoltaicos. Así mismo, este tipo de sistemas se recomiendan para zonas donde la humedad relativa del aire sea inferior al 40%, ya que si fuese superior al 60%, no se obtendría provecho de estos, siendo aquí más viables los equipos de aire acondicionado, aún cuando estos consuman mucha más energía.

### ***III.A La localidad y sus condiciones de diseño.***

La primera parte consiste en determinar el lugar de operación y las condiciones de diseño prevalecientes en verano en el lugar designado, Al mismo tiempo se determina la carga de calor representativa. Del mapa con la distribución de los climas en la República Mexicana, se selecciona una localidad con clima seco o muy seco. De preferencia una ciudad de la cual se tengan los criterios de diseño para el acondicionamiento del aire en verano. En el mapa de la figura 3.1 se muestra de forma sombreada todo el territorio nacional que cuenta con clima seco o muy seco. En lo que a la carga de calor a retirar se refiere, se tomarán las capacidades de enfriamiento más comunes con las cuales son vendidos los equipos simples de aire acondicionado en estas regiones de nuestro país, que por lo común resulta en 1 y 1.5 Toneladas de refrigeración, para las casas habitación.

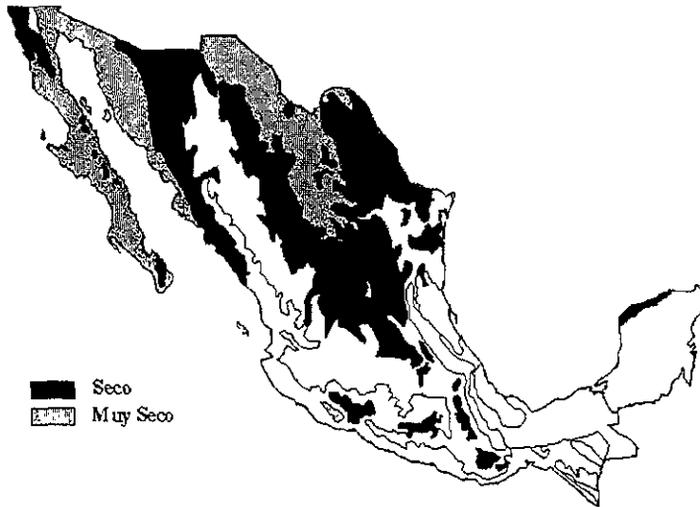


Fig. 3.1

De acuerdo con la información recopilada, el estado sobre el que se hace más propicio llevar a cabo esta proyección es Sonora, además que de este estado se cuentan con las condiciones de diseño de tres de sus ciudades: Guaymas, Hermosillo y Ciudad Obregón. Cualquiera de estas tres ciudades es propicia para llevar a cabo el análisis. Para los efectos de esta investigación se toma como localidad de trabajo a Ciudad Obregón.

Ahora bien, para mejorar la noción de las características del aire en esta ciudad, se localiza en la carta psicrométrica (detallada para nivel del mar) las condiciones de diseño para aire acondicionado en verano. En la carta de la figura 3.2 es posible observar que la humedad relativa del aire para esta ciudad es de aproximadamente un 34%.

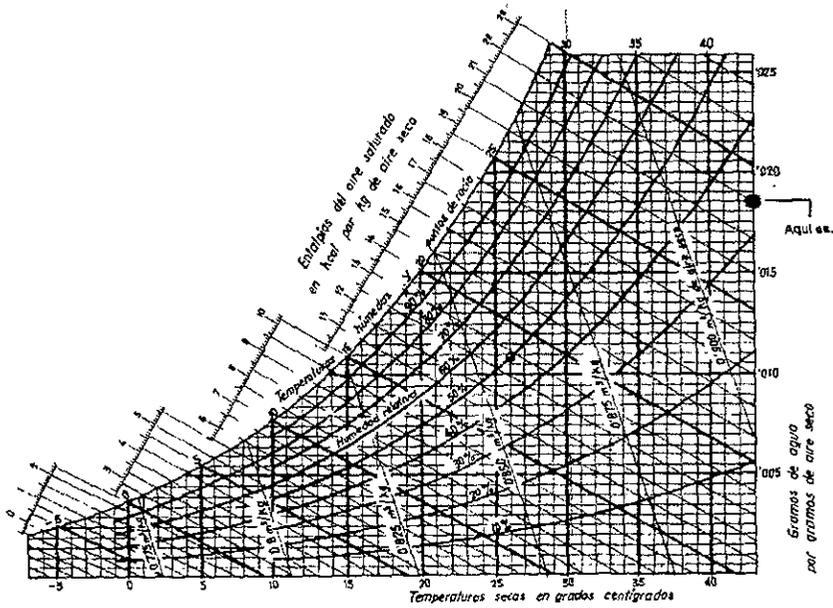


Fig. 2.3

Las condiciones que se ilustran son:

Temperatura de bulbo seco =  $T_{bs} = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura de bulbo húmedo =  $T_{bh} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$

con lo que se calcula la depresión de bulbo húmedo:

Depresión de bulbo húmedo =  $D_{bh} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

### ***III.B La capacidad neta del enfriador por evaporación directa.***

Teniendo en cuenta que el método más adecuado para dimensionar un enfriador por evaporación directa es aquel que hace uso de la temperatura de ganancia o beneficio, la siguiente parte es seleccionar una temperatura con estas cualidades. Lo ideal es una temperatura que se ubique entre el rango de los 3.9 y los 7.8 °C, dependiendo en gran parte de la depresión de bulbo húmedo (clima). De las recomendaciones hechas para el acondicionamiento del aire en zonas calientes de capítulo II sección A y alcanzar confort, se requiere de una temperatura de ganancia por debajo de los 8° C que en este caso será de 7.8° C que es lo más adecuado para permanencias largas y el enfriamiento de espa-

cios chicos, además esta temperatura permite aprovechar mucho más la capacidad neta del enfriador, así como reducir las necesidades de carga del ventilador. Con la única condición de que se asegure que el enfriador por evaporación directa entregue suficiente aire enfriado para absorber el calor del cuarto e induzca suficiente circulación de aire para estimular la transferencia de calor de la piel humana

Es importante recordar que **los equipos enfriadores por evaporación directa no remueven el calor sensible del aire.**

Después, se procede a determinar el porcentaje de potencial de enfriamiento sensible útil en el cuarto, que para la depresión de bulbo húmedo y la temperatura de ganancia se sitúa en la carta de la fig 2.9 del capítulo II, debido a que en la carta no es posible leer el dato de forma directa es necesario recurrir a una interpolación lineal, con el fin de aproximar este dato, así pues:

para una  $D_{bh}$  de 14.4 y una  $t_g$  de 7.8 °C le corresponde un 67 %,  
 para una  $D_{bh}$  de 15.6 y una  $t_g$  de 7.8 °C le corresponde un 63 %

entonces se tiene que interpolando.

$$63 + \frac{15 - 14.4}{15.6 - 14.4} (67 - 63) = 65\%$$

Recordando, este porcentaje indica el tanto por ciento de enfriamiento sensible útil al espacio en la salida neta del enfriador. Ahora bien, con el porcentaje que se calculó se procede a dividir la carga de calor tipo, esta simple operación nos da la capacidad neta del enfriador por evaporación directa capaz de manejar una temperatura de ganancia o beneficio de 7.8 °C en las condiciones del lugar que se determinó:

$$\text{enfriamiento}_{\text{neto}} = \frac{Q_{\text{tipo}}}{\%_{\text{enfriamiento}_{\text{útil}}}} \quad (2.6.a)$$

$$\text{enfriamiento}_{\text{neto}} = \frac{1.7R}{65\%} = \frac{12660898.92 \text{ j/h}}{65\%} = 19478306.03 \frac{\text{j}}{\text{h}} \approx 19478.31 \text{ Kj/h}$$

### **III.B.1 Los requerimientos de energía del ventilador.**

Ya con el enfriamiento neto es posible determinar el flujo volumétrico de aire que el ventilador debe impulsar, empleando la ecuación para ventilación y enfriamiento neto vistas en el capítulo II sección B, se tiene pues:

$$\text{enfriamiento\_neto} = \frac{\text{flujo\_volumétrico} * \text{tg} * 60 * 1.117}{\text{volumen\_específico\_del\_aire}} \quad (2.6.b)$$

de esta ecuación despejamos la parte correspondiente al flujo volumétrico y se cambian valores, quedando de la siguiente forma:

$$\text{flujo\_volumétrico} = \frac{\text{enfriamiento\_neto}}{4289(\text{tg})}$$
$$\text{flujo\_volumétrico} = \frac{19478.31 \text{ KJ/h}}{4289(7.8)} = 0.58 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 0.6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

de donde 4289 es el resultado de simplificar la siguiente operación: el volumen específico entre 60 para pasar de horas a minutos, entre 60 para pasar de minutos a segundos, entre 1.117 que es el calor específico del aire a volumen constante para presiones bajas en KJ/(Kg°C)

Cabe señalar que este enfriador será acoplado a un sistema simple de conductos por lo que la presión estática que debe manejar será de 125 PA, y que en este caso representan la resistencia al flujo del aire o caída de presión dentro del enfriador tanto del dispositivo saturador como de los conductos.

Ahora bien, como se mencionó en el capítulo II existen dos tipos de ventiladores: los axiales y los centrífugos, a "grosso modo", los primeros manejan grandes volúmenes y pequeñas presiones estáticas; y los segundos manejan volúmenes medios y presiones estáticas grandes y requieren menos energía para impulsar la misma cantidad de aire que

los axiales; las presiones que se manejan no son comparables con las presiones que manejan los compresores

Por las razones arriba expuestas se escoge un ventilador del tipo centrífugo, así que se realiza un análisis al enfriador para poder determinar la energía requerida para que el ventilador pueda manejar tal flujo y presión

Buscando catálogos de fabricantes de ventiladores a través de Internet, la compañía Stockbridge Airco ofrece un programa (fig. 3.3) para la selección de ventiladores centrífugos que ella misma manufactura.

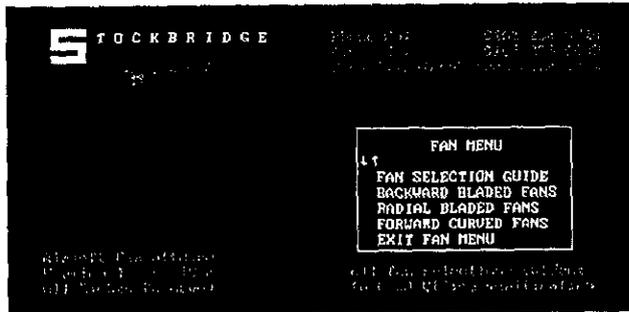


Fig. 3.3

El programa se estructura en tres tipos de ventiladores centrífugos los ventiladores inclinados hacia atrás, los ventiladores radiales, y los ventiladores curvados hacia delante, siendo los primeros los más adecuados para el manejo de aire limpio y con un rango que va desde los 0.5 m<sup>3</sup>/s hasta 70 m<sup>3</sup>/s y con presiones hasta 8 000 PA, es necesario mencionar que entre la gama de ventiladores inclinados hacia atrás están los serie QA2000 y los de alta presión.

Del programa se selecciona la opción referente a los ventiladores con rango de 0.5 m<sup>3</sup>/s hasta los 50 m<sup>3</sup>/s y con presiones de hasta 4000 PA. El siguiente paso es dar los requerimientos del ventilador que son el flujo volumétrico, la presión estática y la densidad del aire (fig. 3.4) De aquí el programa mostrará los datos de ventiladores capaces de ma-

nejar tales requerimientos, de aquí se selecciona el de mayor eficiencia estática (fig. 3 5)  
 Al final el programa puede imprimir las gráficas referentes al ventilador. La selección se realiza por un ventilador modelo 350 con doble ancho, con una eficiencia estática de 75 % y un consumo de potencia de 100 wats.

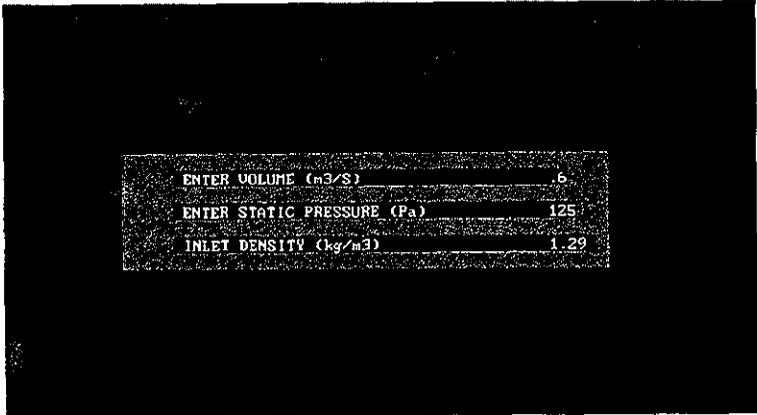


Fig 3.4

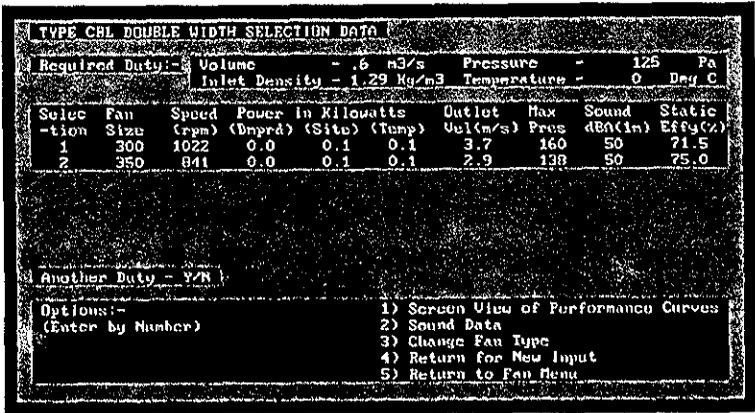


Fig 3 5

Ya que lo que se busca básicamente es hacer eficiente el enfriamiento por evaporación directa para reducir el consumo de energía, este enfriador será del tipo dispositivo saturador rígido, ya que este medio es el que muestra mejor relación de saturación y vida. Así pues la disposición del enfriador tendería a ser como lo muestra la figura 3.6

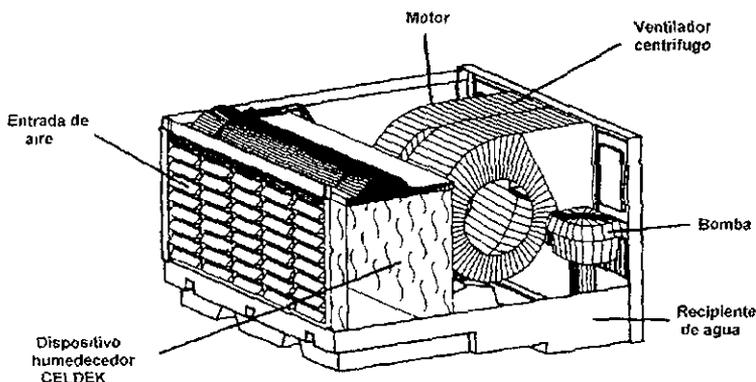


Fig. 3.6

El fabricante del dispositivo saturador CELDEK proporciona datos para tenerse en cuenta en el diseño del equipo enfriador. El dispositivo saturador provee de 11 427 m<sup>2</sup> (123 pie<sup>2</sup>) de superficie evaporadora por cada 0.0283 m<sup>3</sup> (1 pie<sup>3</sup>) del dispositivo.

**Datos de diseño para CELDEK**  
**(Dispositivo Saturador)**

Velocidad de encañe	Eficiencia de saturación de acuerdo al espesor del dispositivo saturador						Caída de la presión estática a través del espesor del dispositivo (P.A)					
	10,16 cm	15,24 cm	20,32 cm	30,48 cm	40,64 cm	60,96 cm	10,16 cm	15,24 cm	20,32 cm	30,48 cm	40,64 cm	60,96 cm
1.016 m/s	62 %	79 %	87 %	93 %	98 %	99 %	4.97	7.46	9.95	9.95	12.4	14.9
1.27 m/s	60 %	76 %	86 %	92 %	98 %	99 %	-	-	-	-	-	-
1.524 m/s	58 %	74 %	84 %	91 %	98 %	99 %	7.46	9.95	12.4	17.4	22.4	32.3

1 778 m/s	56 %	73 %	83 %	91 %	97 %	99 %	-	-	-	-	-	-
2.032 m/s	55 %	71 %	81 %	90 %	97 %	99 %	9.95	14.9	22.4	34.8	44.8	59.3
2 286 m/s	55 %	69 %	79 %	90 %	97 %	99 %	-	-	-	-	-	-
2.54 m/s	54 %	69 %	79 %	90 %	97 %	99 %	17.4	22.4	34.8	52.3	72.2	97.1
2.794 m/s	53 %	67 %	78 %	89 %	96 %	99 %	-	-	-	-	-	-
3.048 m/s	52 %	66 %	77 %	88 %	95 %	98 %	24.9	32.3	49.7	74.7	102	137
3 302 m/s	51 %	65 %	76 %	88 %	95 %	98 %	-	-	-	-	-	-
3 556 m/s	50 %	64 %	75 %	87 %	95 %	98 %	57.2	69.7	89.6	122	149	199

El fabricante recomienda velocidades de paso de 2.54 ó 2.794 m/s, ya que estas ofrecen la mejor relación precio – desempeño, y las cuales pueden ser manejadas por el ventilador.

### ***III.B.2 La energía que necesita la bomba.***

La otra parte que es vital en las demandas de energía de un enfriador por evaporación directa es la bomba de alimentación para el dispositivo saturador. Para poder conocer los requerimientos de energía es necesario conocer el flujo de agua que la bomba debe manejar para mantener las condiciones de saturación en el dispositivo humedecedor

Para encontrar la tasa de flujo de agua se debe calcular primero la tasa de evaporación. En la carta psicrométrica se puede aproximar una lectura de la humedad específica para las condiciones de diseño en 0.0185 gramos de agua/gramos de aire seco. De datos del fabricante del CELDEK tenemos que para una velocidad de paso de 2.54 m/s y un espesor de 20 32 cm se tiene que la eficiencia de saturación es del 79 %, como el proceso que se realiza es adiabático en la misma carta psicrométrica el aire tendería a salir con 0.0215 gramos de agua/gramos de aire seco. Así pues durante el proceso de enfriamiento se adicionan 0.003 gramos agua/gramos aire.

Se tiene pues que se trata de un flujo volumétrico a la entrada del ventilador de 0.6 m<sup>3</sup>/s o lo que es lo mismo 46.44 kg/min, con esto es posible calcular la tasa de evaporación con la ecuación modificada del capítulo II sección B:

$$taza\_evaporación = \frac{4\ 877L/kg * flujo\_máscico * humedad\_especifica\_adicionada}{(1000\ gramos\_agua / kg\_aire)}$$

sustituyendo valores se tiene: (2.7)

$$taza\_evaporación = \frac{(4\ 877L/kg)(46\ 44\_kg/min)(3\ gramos\_agua/kg\_aire)}{(1000\ gramos\_agua / kg\_aire)} \approx 0\ 68\_Lt/min$$

sin embargo para tener la taza completa de flujo de agua es necesario adicionar el sangrado, que viene siendo un 20% de la taza de evaporación, así pues queda.

$$san\ gra\ do = taza\_evaporación * .20 = 0\ 68Lt / min * .20 = 0.136Lt / min$$

ahora para tener la taza de flujo de agua considerando el tipo de material del dispositivo saturador, se suman la taza de evaporación y la taza de sangrado y se multiplican por 3

$$flujo\_agua = 3(taza\_evaporación + san\ gra\ do) = 3(0.68 + 0.136) = 2\ 448Lt / min$$

ya con éste último dato es posible determinar la energía requerida para la bomba buscando en catálogos una bomba que se aproxime a las necesidades de flujo de agua y presión (altura). De esta forma buscando a través de Internet se localizó una bomba con las siguientes características:

Bomba con motor de corriente directa, muy bajo consumo de corriente. A 12 V puede esperarse que consuma 0.65 A (8 wats). Maneja fluidos hasta con una temperatura de 93.3 °C y presiones de sistema de hasta 1000 PA

### **III.C La parte solar del sistema enfriador.**

Ya que se tienen los datos de la energía requerida por cada parte fundamental del enfriador es necesario transcribir estos datos en voltaje y amperaje. En el caso del ventilador se recurre a buscar un motor capaz de proveer tal potencia más un 20% (120 wats) de acuerdo a las recomendaciones al respecto del capítulo II sección B 3.b 2, así como la velocidad requerida, que sea alimentado por voltaje de corriente directa, así pues buscando en catálogos de fabricantes de motores de CD, se encuentra que "Leeson Electric Motors" fabrica un motor con una potencia de 124.28 wats (1/6 HP) que trabaja con un voltaje nominal de 12 volts y 14 amps, y opera con una velocidad máxima de 1800 RPM. En el caso de la bomba se informa que para 12 volts requiere 0.65 amps

#### **III.C.1 Las fotoceldas para operar el enfriador.**

En esta parte se trata de establecer el número de módulos que se necesitan para hacer trabajar todo el conjunto. Solo para recordatorio la potencia eléctrica se calcula por:

$$P = V \cdot i$$

Se llena la siguiente tabla y se sigue el procedimiento.

Descripción de la carga	Watt	X	Hrs x semana	=	Watt Hrs x semana
Motor para ventilador	168		49		8232
Bomba de alimentación	8		49		392
			TOTAL	=	8036

Los amps\* hora por semana que se van a necesitar se obtiene de dividir el total de la tabla de arriba entre el voltaje con el cual se van a operar las cargas, que para este caso son 12 volts:

$$\text{Amps* hora por semana} = 8624 / 12 = 718.66$$

Para determinar el total de amps \* hr por día se divide el resultado anterior entre 7:

$$\text{Amps* hr por día} = 718.66 / 7 = 102.66$$

Se aplica un factor de 1.2 para compensar las pérdidas en la batería, por lo que los amps \* hr por día quedan:

$$\text{Amps} * \text{hr por día} = 102.66 * 1.2 = 123.19$$

Estos amps \* hr por día se dividen entre el número de horas sol promedio por día, que para la zona que se trata son 6 horas, por lo que tenemos (sección anexos, radiación solar)

$$\text{Amps por conjunto de módulo requeridos} = 123.19 / 6 = 20.53$$

Por último se calcula el número de módulos necesarios para manejar este equipo enfriador, este se obtiene dividiendo los amps\* módulo entre los amps pico que puede dar un módulo que para este caso serán 5.36 amps, de acuerdo a información que da ASTROPOWER para un módulo de 90 wats APEX., por lo tanto:

No. Módulos =  $20.53 / 5.36 = 3.83$  aproximando este dato al número inmediato superior entero tenemos pues que se trata de 4 módulos.

### ***III.C.2 Un sistema de respaldo eléctrico.***

Quizás sea necesario un sistema que sea capaz de seguir suministrando corriente eléctrica cuando el sol dejase de estar "brillando" con suficiente fuerza, como es el caso de los atardeceres, días nublados e incluso durante parte de la noche, esto con el fin de seguir manteniendo una temperatura agradable aún en estas circunstancias.

Pero, primero para tener idea de si es necesario un sistema con estas características, y en el caso de que así fuera cuantas horas es apropiado que opere el equipo se atiende a la gráfica de la figura 3.7. En esta gráfica se observa la variación de la transmisión térmica debida a la temperatura del aire y a la radiación solar en un local sin acondicionamiento mecánico del aire.

Como es posible observarse la temperatura del aire interior sigue un comportamiento muy parecido al de la temperatura del aire exterior y al de la temperatura de la pared exterior con la única diferencia que la temperatura del aire interior se encuentra un poco desfasada (alrededor de 60 a 90 minutos) por lo que después de las 18:00 hr tarda en descender; en el caso de la radiación solar cuando esta se encuentra como a la mitad de su ruta de descenso, la temperatura de la pared interior apenas comienza alcanzar su tope, por lo que la temperatura interior todavía no alcanza su máximo.

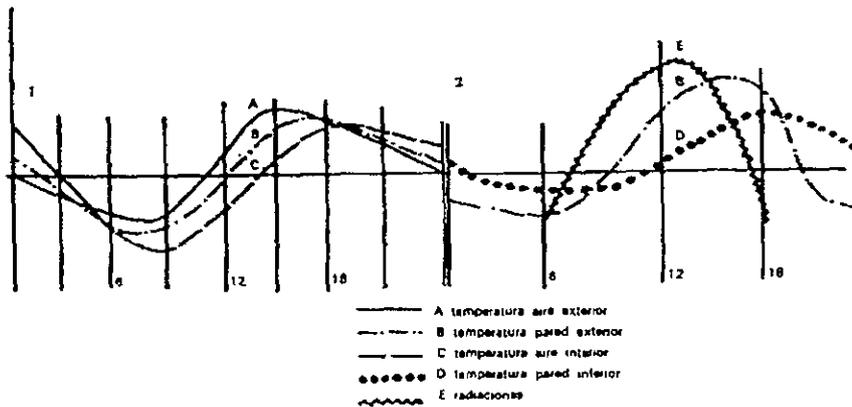


Fig. 3.7

Para los casos que nos ocupan, cuando el sol se encuentra obstruido por las nubes totalmente, la radiación solar es mínima por lo que no alcanza a elevar lo suficiente la temperatura del aire exterior para que sea necesario emplear un sistema enfriador en el interior, algo similar sucede en el caso de que el nublado sea parcial, solo que en este caso la temperatura del aire exterior se incrementa poco por lo que la temperatura del aire interior tarda más en alcanzar una zona de "no" confort. El otro caso es cuando se está empleando un sistema mecánico para enfriar el aire, en este caso la línea de la temperatura del aire interior se mantendrá más abajo que la línea de temperatura de aire exterior (en promedio es  $t_g = 7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) por un período de tiempo de aproximadamente 6 horas (horas promedio de sol radiante en la zona), es decir como hasta las 17:00 hr, que sería aproximadamente la hora en que los módulos fotovoltaicos dejarían de recibir suficiente radiación solar para seguirla convirtiendo en corriente eléctrica útil al enfriador, véase la gráfica de la figura 3.8; a partir de esta hora seguiría un proceso de calentamiento del aire

interior, mientras la temperatura del aire exterior ya estaría en su ruta de descenso, de aquí que se requiera de un sistema de respaldo eléctrico capaz de proporcionar la corriente necesaria para el enfriador por un tiempo de 4 horas diarias aproximadamente

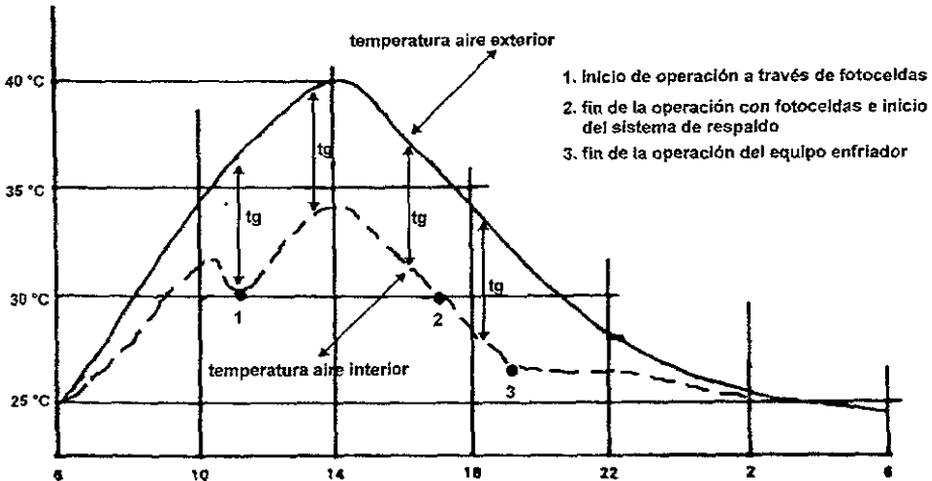


Fig. 3.8

Cabe señalar que las temperaturas exteriores de más de 35 °C no se toman en cuenta generalmente, ya que tales temperaturas no se mantienen mucho tiempo

Ya que la demanda de energía para estos casos es mínima, la opción que se recomienda es una fuente regulada de corriente directa capaz de suministrar 12 volts y 15 amps \* hora o en su lugar una batería que fuese capaz de rendir lo anterior y que se pueda recargar de módulos fotovoltaicos. La primera opción resulta mucho más simple y fiable, por su parte la segunda cuenta con la ventaja de no hacer uso de la red eléctrica convencional, por lo que cualquiera de las dos es viable. Para los fines de este proyecto se toma en cuenta la segunda opción, que consiste en la batería y las fotoceldas, por lo que:

Los amps \* hr por día requeridos que son 102 66 se multiplican por 2, que vendría representando al número de días consecutivos de días seminublados con la necesidad de enfriamiento o 14 horas continuas de operación para el enfriador sin el uso de los módulos fotovoltaicos, lo que nos da un número de 205 32 amps \* hr por día.

Para mantener un 20 % de reserva después de la descarga en la operación del enfriador se dividen los 205.32 amps entre 0.8, por lo que nos quedaría 256.65 amps \* hr por día. Este último dato representa la capacidad neta de la batería.

Como una acotación, se señala que antes de poner en operación el equipo enfriador es necesario primero cargar la batería, y de preferencia tener controles automáticos que monitoreen la descarga y carga de la batería, así como un regulador de voltaje.

De catálogos se encuentra una batería TROJAN L-16 con capacidad de 6 volts y 360 amps \* hr, con una vida útil de 8 a 12 años. En este caso se requerirán dos baterías de estas para configurarlas en serie y tener 12 volts con 360 amps \* hora por día

### ***III.D La inversión***

Ya se tiene la parte correspondiente a las necesidades energéticas del enfriador por evaporación directa y la parte de energía solar, ahora se hace necesario establecer la forma en que se va evaluar un equipo de estas características, para tal efecto se toma como base los costos energéticos.

Se requiere un costo estimado del enfriador y las fotoceldas, de las cuales se compondrá todo el conjunto, para tener una inversión aproximada (precios en frontera):

Tabla 3.3

Artículo	Cantidad	Precio unitario	Total
Controles	1	52 us dls	52 us dls
Bomba 12 volts	1	180 us dls	180 us dls
Ventilador centr	1	180 us dls	180 us dls
Motor DC para vent	1	225 us dls	225 us dls
CEI.DEK	2	55 us dls	110 us dls
Gabinete	1	70 us dls	70 us dls
Baterías L-16	2	190 us dls	380 us dls
Fotoceldas APEX	4	450 us dls	1800 us dls
Alambre	1 rollo	16 us dls	16 us dls
Agua	100 m <sup>3</sup>	0.6 us dls	60 us dls
		<b>TOTAL</b>	<b>3067 us dls</b>

La inversión de capital que se estimó se aproxima a \$3100 USD con el fin de tener un margen de salvamento. Como el mercado de divisas esta en constante fluctuación, la inversión en pesos será con un tipo de cambio de 10.5 pesos por 1 dólar americano, lo que deja una inversión de \$32550.00 moneda nacional.

Es indispensable señalar que las condiciones financieras a escala mundial no permiten establecer con seguridad los márgenes de trabajo con capitales, ya que las tasas de interés están en continua variación, más aún en los mercados secundarios como es el caso de México.

Ahora pues, la cantidad de la inversión es \$ 32550.00, si alguna persona tuviese la posibilidad de invertir esta cantidad en el proyecto a estas fechas (Octubre de 1998) antes tendría que considerar: que con una tasa de interés al año de 20.55 %<sup>6</sup> convertible cada 28 días:

$$S = C(1+i)^n \quad (A.1)$$

donde  $C = 32550$ ,  $n = 13$  e  $i = (20.55 / 13)$

$$S = 32550 (1+0.0158)^{13} = 39907.79$$

al término del año recibiría \$ 7357.79 por su inversión.

Para que el proyecto sea atractivo al inversionista, este debiese ahorrar anualmente en el pago de su cuenta corriente de energía eléctrica \$ 7357 79, que dividido entre 6 representa la cantidad que mensualmente debiera ahorrarse por concepto de emplear un enfriador evaporativo en los 6 meses más calurosos:

Mayo =	\$ 1226.30
Junio =	\$ 1226.30
Julio =	\$ 1226.30
Agosto =	\$ 1226.30
Septiembre =	\$ 1226.30
Octubre =	\$ 1226.30

<sup>6</sup> Diario "El Universal" sección "Finanzas",21-sept-98, tasa Secundaria en promedio para 1998.

Para determinar la cantidad de dinero que se ahorraría al año el inversionista al dejar de pagar lo referente al consumo de energía originado por el sistema de aire acondicionado, se toma como referencia una unidad Carrier modelo XHA123D de 1 tonelada de refrigeración y con un consumo promedio de 1.18 Kw por hora con voltaje nominal de 220 voltios.

El enfriador por evaporación directa funciona 6 horas por la acción directa de la radiación solar sobre las fotoceldas y 4 horas más mediante el empleo de un banco de baterías. De esta forma la unidad Carrier tendría que operar un tiempo similar, para efectos de comparación, esto es 10 horas al día, dando un total en el consumo eléctrico de 11 8 Kw al día en promedio.

Tabla 3 4

Mes	# días	x	Kw*día	=	Kw*mes	x	T3-99	=	\$
Mayo	31		11.8		25 libras		100.79		100 79
					341		0 636		216.87
							<b>tot + iva</b>		<b>\$ 365.30</b>
Junio	30		11.8		25 libras		101.99		101 99
					329		0.643		211.54
							<b>tot + iva</b>		<b>\$ 360.55</b>
Julio	31		11 80		25 libras		103 21		103.21
					341		0 651		221.99
							<b>tot + iva</b>		<b>\$ 373.98</b>
Agosto	31		11.8		25 libras		104.45		104.45
					341		0.659		224.71
							<b>tot + iva</b>		<b>\$ 378.53</b>
Septiembre	30		11 8		25 libras		105.70		105.70
					329		0.667		219.44
							<b>tot + iva</b>		<b>\$ 373.91</b>
Octubre	31		11 8		25 libras		106.96		106.96
					341		0.675		230 17
							<b>tot + iva</b>		<b>\$ 387.69</b>
							<b>TOTAL</b>		<b>\$ 2239.96</b>

En la tabla 3.4 se puede observar el gasto de dinero para un año en operación de un sistema de aire acondicionado simple, con una tarifa 3 estimada para 1999. Esta categoría de tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda de más de 25 Kw promedio mensual. La tarifa 3-99 se aproxima a partir de la tarifa 3-98, aplicando un factor de ajuste de 1.2% mensual (14.4% al año), de acuerdo a como lo maneja la CFE. En la tabla se puede apreciar que para un mes existen dos tarifas aplicadas, en realidad es una sola pero con diferente estándar de consumo, la más baja corresponde al consumo básico de 25 Kw, la segunda se aplica a partir de los 25.01 Kw por cada kilowat o fracción consumida.

En el primer año de operación del sistema enfriador el ahorro que se lograría es de \$2239.96. Con esta simple operación monetaria, el ahorro no alcanza a cubrir las necesidades del inversionista para hacer atractivo al proyecto.

En la tabla 3.4 se estimaron los costos de operación para un sistema de aire acondicionado en los seis meses más calurosos. En la tabla 3.5 aparecen los costos de operación para un enfriador por evaporación impulsado por la corriente proveniente de las celdas solares. Dado que el enfriador es independiente de la red eléctrica los costos de operación recaen en el consumo de agua que este realiza; tenemos que la tasa de evaporación es 0.68 Lts /min (sección III.b.2) lo que representa 40.8 litros por hora. En un día se consumen 408 litros que al mes son 12648 litros ó 12.65 metros cúbicos. Normalmente una casa habitación paga la tarifa que corresponde al consumo de agua entre los 20.1- 30 m<sup>3</sup> por lo que cada metro cúbico adicional cuesta 1.58 + IVA.

Tabla 3.5

Mes	Consumo Agua Promedio	Tarifa + IVA	Total Mes
Mayo	12.65	1.81	\$ 22.89
Junio	12.24	1.81	\$ 22.15
Julio	12.65	1.81	\$ 22.89
Agosto	12.65	1.81	\$ 22.89
Septiembre	12.24	1.81	\$ 22.15
Octubre	12.65	1.81	\$ 22.89

#### ***IV.A Los hechos.***

Esta investigación tiene su origen en la necesidad de desarrollar nuevos equipos o modificar los sistemas de enfriamiento existentes de tal forma que no requieran de mucha energía eléctrica para su funcionamiento, pero con la obligación de que sean capaces de mantener el confort térmico en aquellas regiones donde el clima es seco. Debido a que los costos de operación que se originan por la utilización de sistemas simples de aire acondicionado dentro de las casas habitación son altos.

Para el hombre el mantener un cierto control sobre la temperatura interior de un espacio cerrado no siempre es un capricho sino una necesidad imperativa. Su carácter de conquistador y aventurero, lo llevaron a tratar de establecer colonias donde las condiciones climáticas son difíciles: en donde hacía bastante frío utilizó el fuego y además se abrigó para mantenerse en calor, en donde hacía calor creó la forma de mover aire para que este chocase contra él y le hiciese sentir una sensación agradable en aquel clima

El proceso de enfriamiento que requiere de menos energía para hacer descender la temperatura del aire es el basado en la evaporación. Este tipo de enfriamiento tiene por cualidad adicionar agua en forma de vapor sobre una corriente de aire para disminuir la temperatura de bulbo seco en un proceso isentrópico ( $\Delta Q=0$ ).

Un sistema de aire acondicionado simple ofrece la ventaja de poder utilizarse en cualquier parte donde se requiera de enfriamiento para alcanzar confort, independientemente de las características del aire de la localidad. Por el contrario un equipo sustentado en el enfriamiento por evaporación solo tiene provecho donde las características del aire son extremosas, es decir donde la humedad relativa del aire está por debajo del 40%.

Otra diferencia entre ambos tipos de sistemas es el hecho que en un equipo de aire acondicionado se aprovecha una parte del aire que ya se enfrió (mezcla de aire del exterior con un 20% de aire del interior ya frío), mientras que en un enfriador por evaporación el aire que se enfría tiene que ser desechado por completo, pues ya no es susceptible de enfriarse más (de recibir más humedad), por el simple hecho de que una corriente de aire con un 60% de humedad relativa, ya no se encuentra dentro de los estándares de confort y que además es perjudicial para ciertos equipos y muebles.

El enfriamiento por evaporación requiere de muy poca energía permitiendo que un enfriador por evaporación se impulse por un conjunto de fotoceldas

Son tres las partes importantes en este tipo de enfriador: la bomba de alimentación, el material saturador de la almohadilla y el ventilador. Es el material de la almohadilla el que gobierna la demanda de energía en el ventilador como en la bomba, en función de la relación de enfriamiento (temperatura de beneficio) deseado. El ventilador es el mayor demandante de corriente eléctrica mientras la bomba solo requiere una pequeña fracción.

#### ***IV.B El Dinero y algunas expectativas.***

En la evaluación de cualquier proyecto el análisis de los costos es la forma fría e imparcial de evaluar cualquier idea.

En esta investigación los números obtenidos muestran que aunque los costos de operación de un equipo sencillo de aire acondicionado son demandantes, los costos de capital para este tipo de enfriador son bajos.

Mientras que los costos de operación de un equipo enfriador por evaporación impulsado con la corriente proveniente de los módulos fotovoltaicos son imperceptibles; son los costos de capital los representativos

Tabla 4.1

Equipo Aire Acondicionado 1 TR		Enfriador evaporativo + fotoceldas 1 TR	
Costos de capital		Costos de capital	
\$ 7000.00		\$ 32550.00	
Costos de operación 1999		Costos de operación 1999	
Mayo	\$ 365.30	Mayo	\$ 22.89
Junio	\$ 360.55	Junio	\$ 22.15
Julio	\$ 373.98	Julio	\$ 22.89
Agosto	\$ 378.53	Agosto	\$ 22.89
Septiembre	\$ 373.91	Septiembre	\$ 22.15
Octubre	\$ 387.69	Octubre	\$ 22.89

Son unos cuantos los factores que hacen que los costos de capital sean tan representativos. El primero consiste en que la producción de fotoceldas es cara, todavía no se desarrolla un proceso que reduzca el costo de fabricación de las fotoceldas

El segundo tiene que ver con la eficiencia en la conversión de radiación electromagnética en corriente eléctrica. Hasta estas fechas las fotoceldas tienen una eficiencia muy baja en la conversión de la luz en electricidad, promediando un 17% en general.

El último, pero no menos importante, se relaciona con el dinero que es un factor determinante. Debido a que la mayoría de las partes que conforman el enfriador y el sistema fotovoltaico son de origen extranjero estas se cotizan en dólares. Actualmente el mundo financiero sufre de una inestabilidad cambiara, si un día la paridad de peso – dólar amanece con 9.80 pesos por dólar al mediodía puede estar 50 centavos más alto o 20 centavos más bajo la paridad así que se hace difícil pronosticar con el tipo de cambio que operará el día que se realice la compra de las partes.

Ahora bien, está lo referente a las tasas de interés. Con la inestabilidad financiera alrededor del mundo, México se ha visto afectado en la circulación de dinero, es decir, el dinero circulante es escaso por lo que es demasiado caro conseguirlo en un crédito. Así que si se requiere de dinero hay que pagar altos intereses por un crédito, lo que haría mucho menos atractiva una inversión en este tipo de proyectos.

Aún si el inversionista tuviese el suficiente capital y que de preferencia sea el usuario final; por la cantidad que invierta en un proyecto cualesquiera que este sea un banco le daría un interés promedio sobre la "Tasa Secundaria". Hay que tener presente que las tasas de interés redituables que ofrecen los bancos son pequeñas, además mes con mes estas varían. Quizás en un año sean menores.

La Compañía de Luz y Fuerza del Centro aplica una tasa de ajuste mensual a sus tarifas en general del 1.2%. Es difícil pronosticar exactamente el futuro de los costos de la electricidad pero todo indica que aumentarán considerablemente en unos 5 años. Lo que vislumbra posibilidades para este tipo de equipos enfriadores ya que su vida útil es de

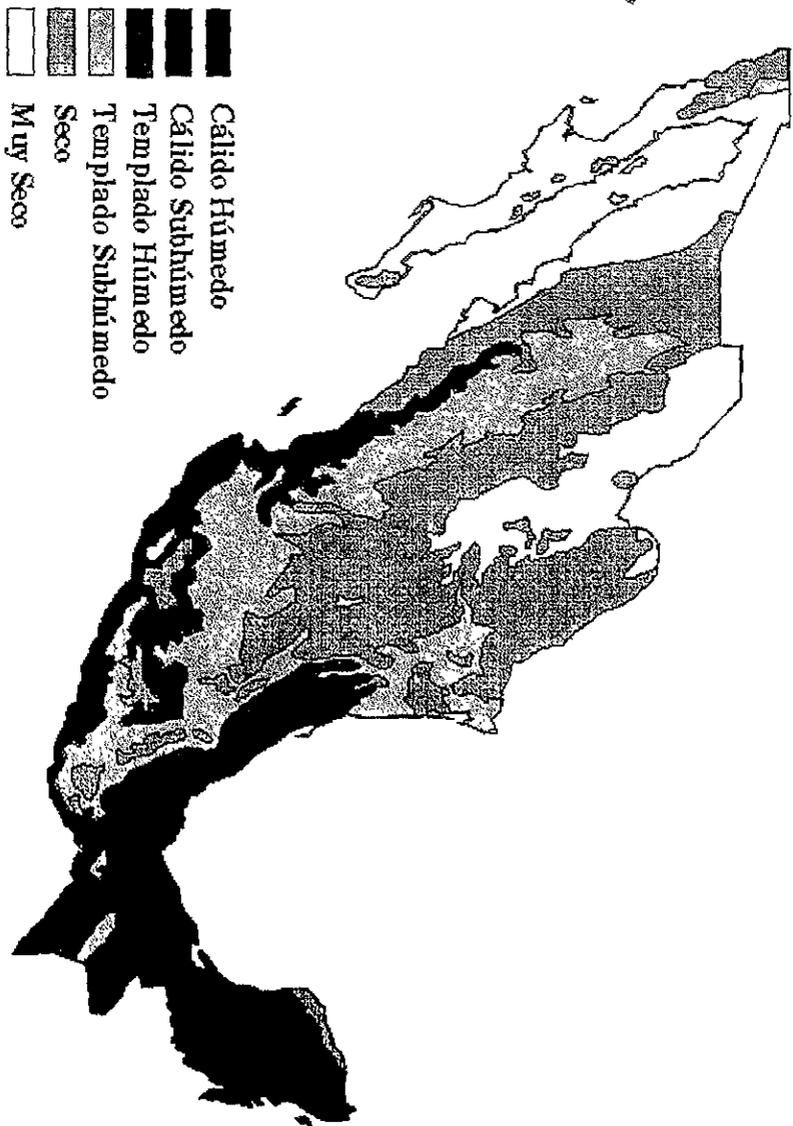
alrededor de 10 años, más aparte los módulos fotovoltaicos tienen una vida útil de 20 años con muy poco mantenimiento.

Las expectativas a futuro son la fabricación de módulos fotovoltaicos mucho más baratos, que hagan que la inversión se reduzca. Por otra parte, que las fotoceldas alcancen una eficiencia mucho mayor (se tiene en la actualidad como meta el límite teórico para la eficiencia de las fotoceldas en un 44%)<sup>7</sup>, de lograrse esto se aumentaría la potencia de cada módulo fotovoltaico, reduciéndose el número de estos necesarios para impulsar un enfriador por evaporación, e incluso permitiendo que se manejen capacidades de enfriamiento mucho mayores.

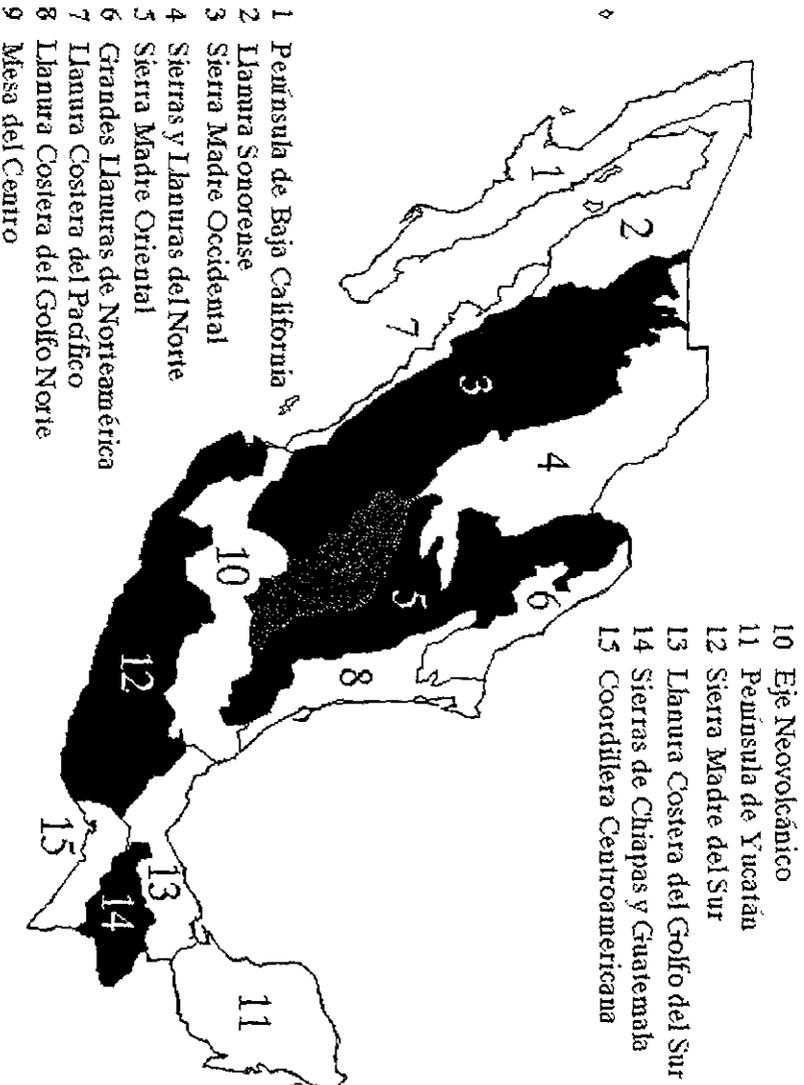
Concluyendo: En la actualidad un equipo enfriador por evaporación directa impulsado por energía solar resulta no ser provechoso para la gente que habita en zonas con clima seco en nuestro país, esto debido a que la inversión necesaria se ve afectada por las tasas de interés y el tipo de cambio peso - dólar, haciendo al proyecto no atractivo en el primer año de operación del equipo. Si en el futuro se mejora la eficiencia de las fotoceldas y las tasas de interés se reducen el proyecto sería atractivo.

---

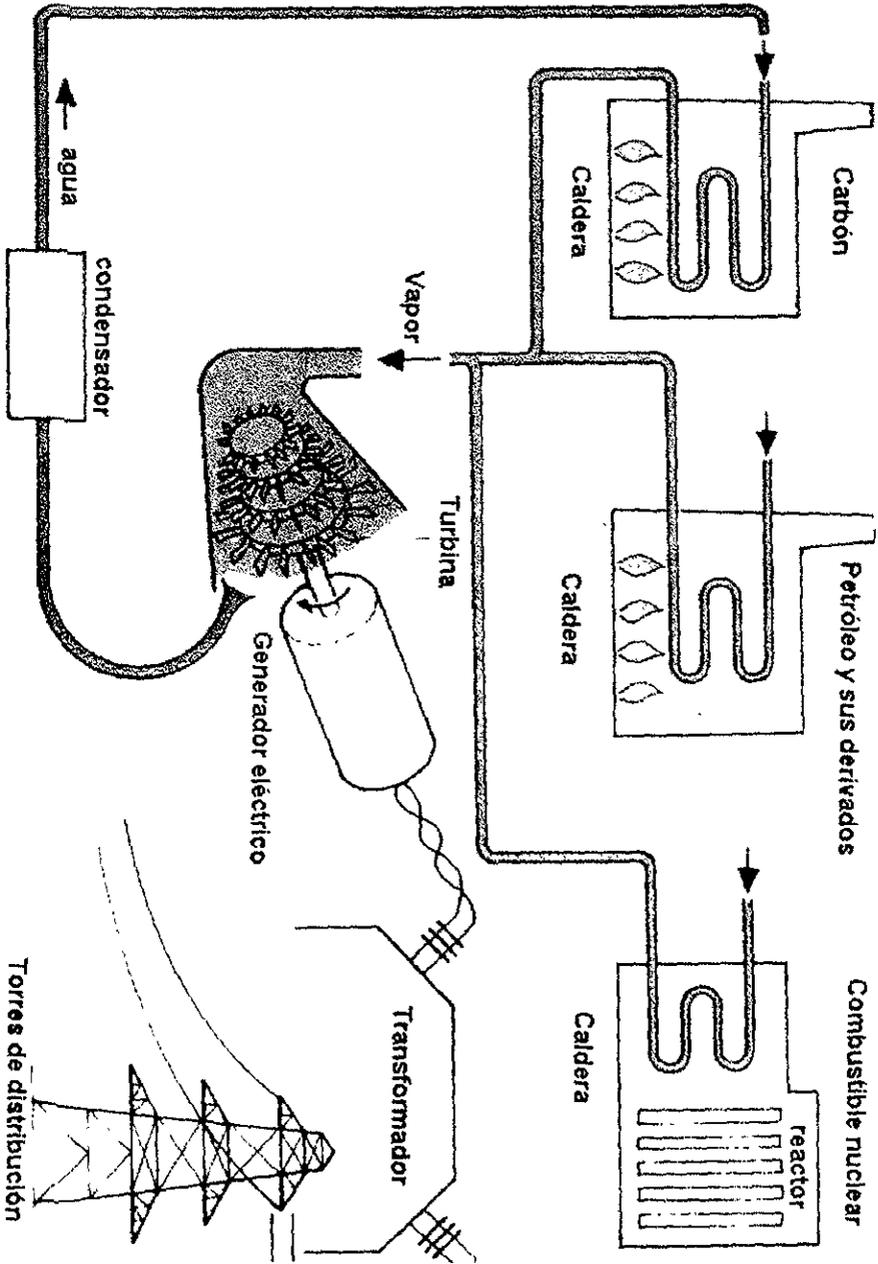
<sup>7</sup> Universidad de Stuttgart. <http://www.uni-stuttgart.de/ipe/res/pv/thermodynamics.html>



Distribución de climas en la República Mexicana

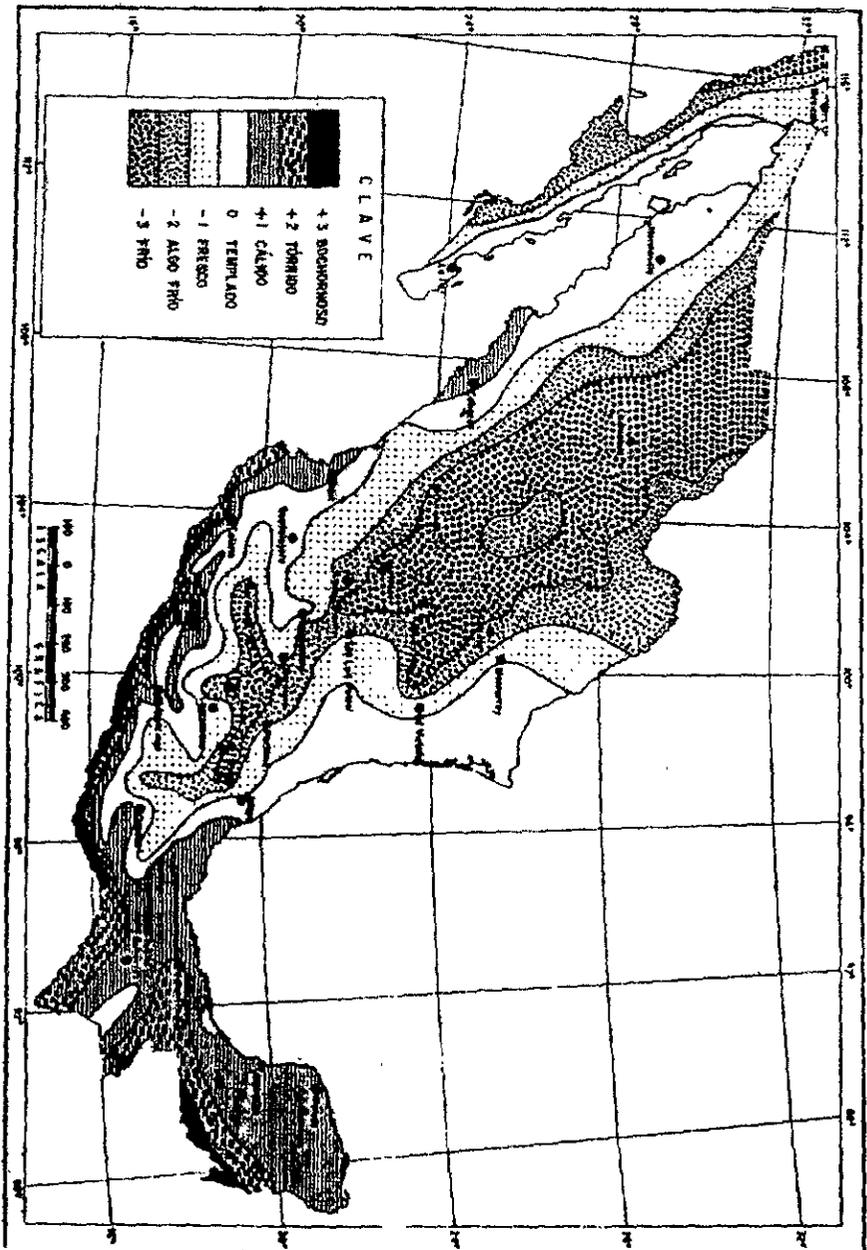


Fisiografía de México



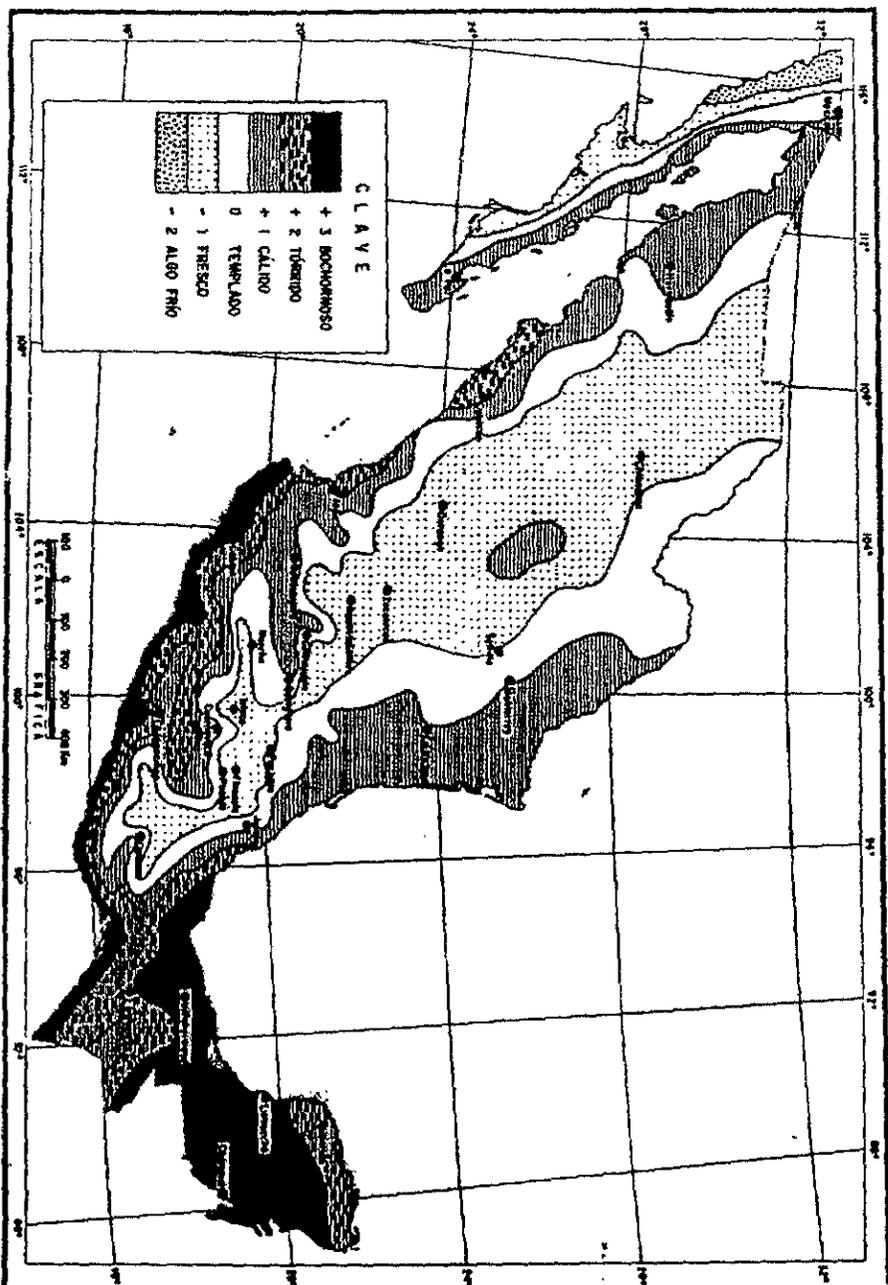
Generación de corriente alterna.

# Mes de enero a las 14 horas



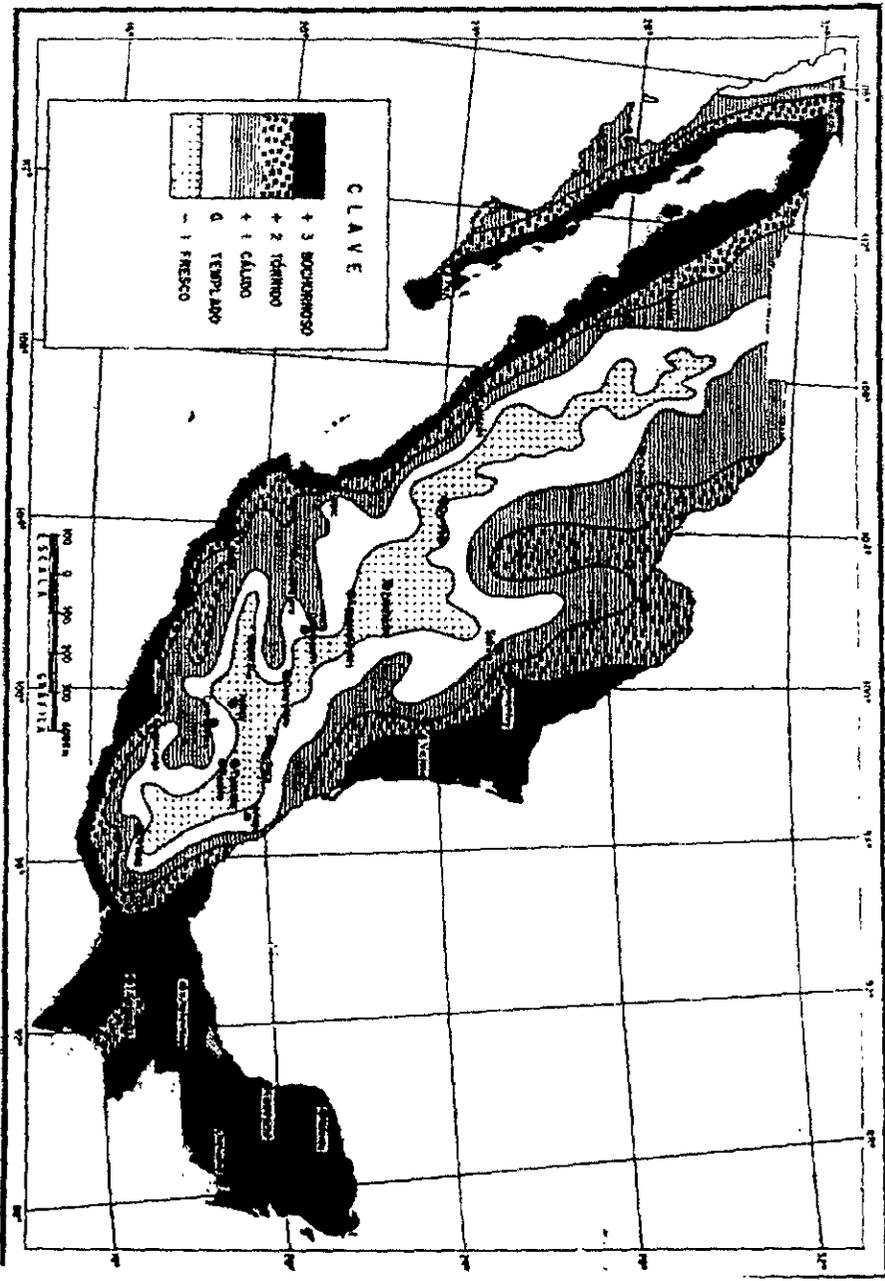
Mapa 1

# Mes de abril a las 14 horas



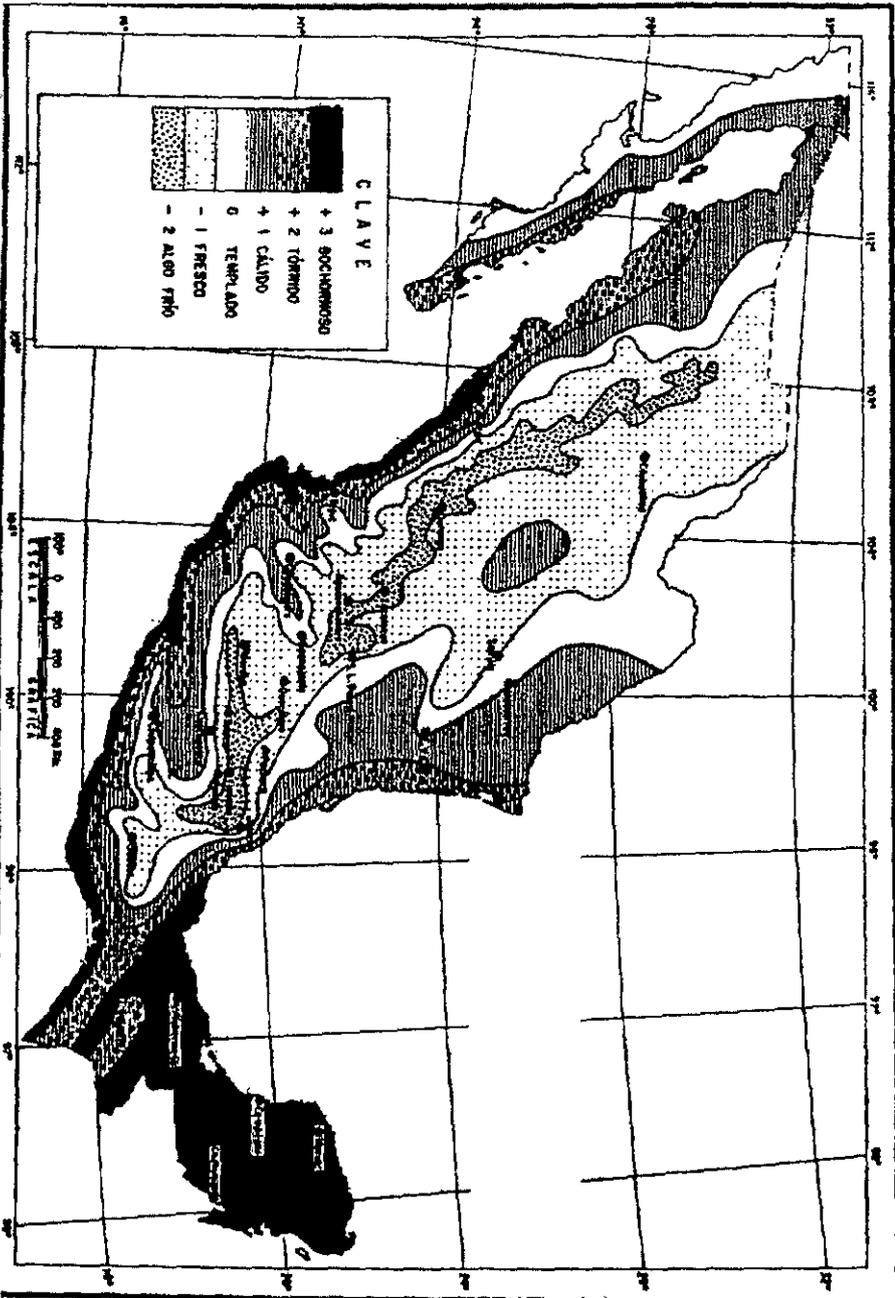
Mapa 2

Mes de julio a las 14 horas



Mapa 3

mes de octubre a las 14 horas



Mapa 4

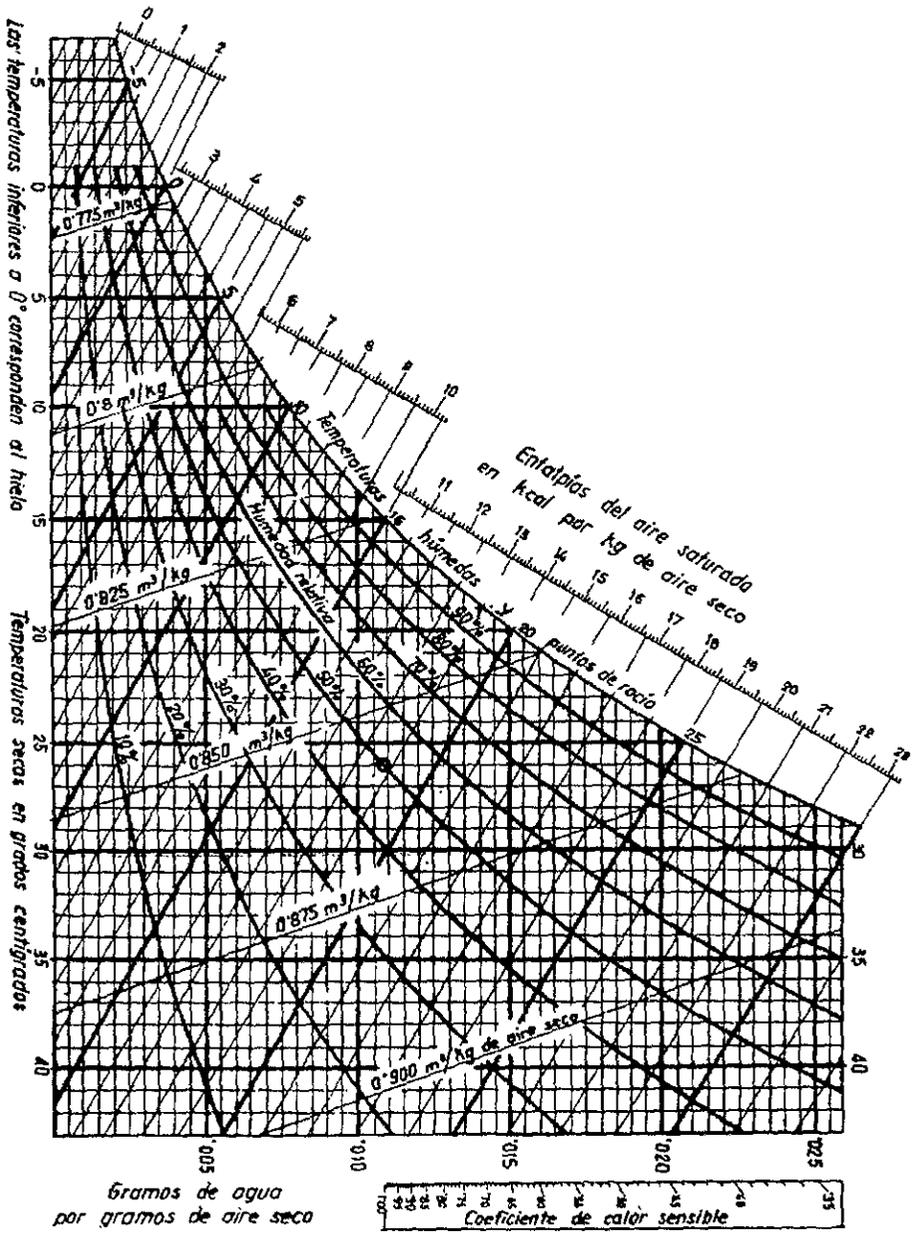
Tabla de valores de MET.

Actividad	MET
Reclinado - acostado	0.8
Sentado relajado	1.0
Reparador de relojes	1.1
De pie relajado	1.2
Actividad sedentaria (oficina, residencia, escuela, laboratorio)	1.2
Conduciendo el automóvil	1.4
Profesión gráfica	1.5
De pie actividad liviana (comprando, laboratorio, industria liviana)	1.6
Profesor	1.6
Trabajo doméstico (afeitando, lavando, y vistiendo)	1.7
Caminata sobre el nivel, 2 km./h	1.9
De pie actividad mediana (asistente de compras, trabajo doméstico)	2.0
Industria de la construcción - colocando ladrillo (bloque de 15.3 Kg.)	2.2
De pie lavando platos	2.5
Trabajo doméstico - rastrillando hojas sobre el césped	2.9
Trabajo doméstico - lavando por mano y planchando (120 - 220 w/m <sup>2</sup> )	2.9
Hierro y acero - apisonando la matriz con un martillo neumático	3.0
Industria de la construcción - formando la mezcla	3.1
Caminata sobre el nivel, 5km./h	3.4
Silvicultura - cortando a través del grano con una sierra de poder personal	3.5
Agricultura - arando con un equipo de caballos	4.0
Industria de la construcción - cargando piedras y mortero en carretilla	4.7
Deportes – patinando en hielo	6.2
Agricultura - excavando con la zapa (24 elevaciones/min.)	6.5
Deportes - esquiando sobre el nivel 9 km /h	7.0
Silvicultura - trabajando con un hacha (peso 2 kg , 33 golpes/min.)	8.6
Deportes – corriendo	9.5

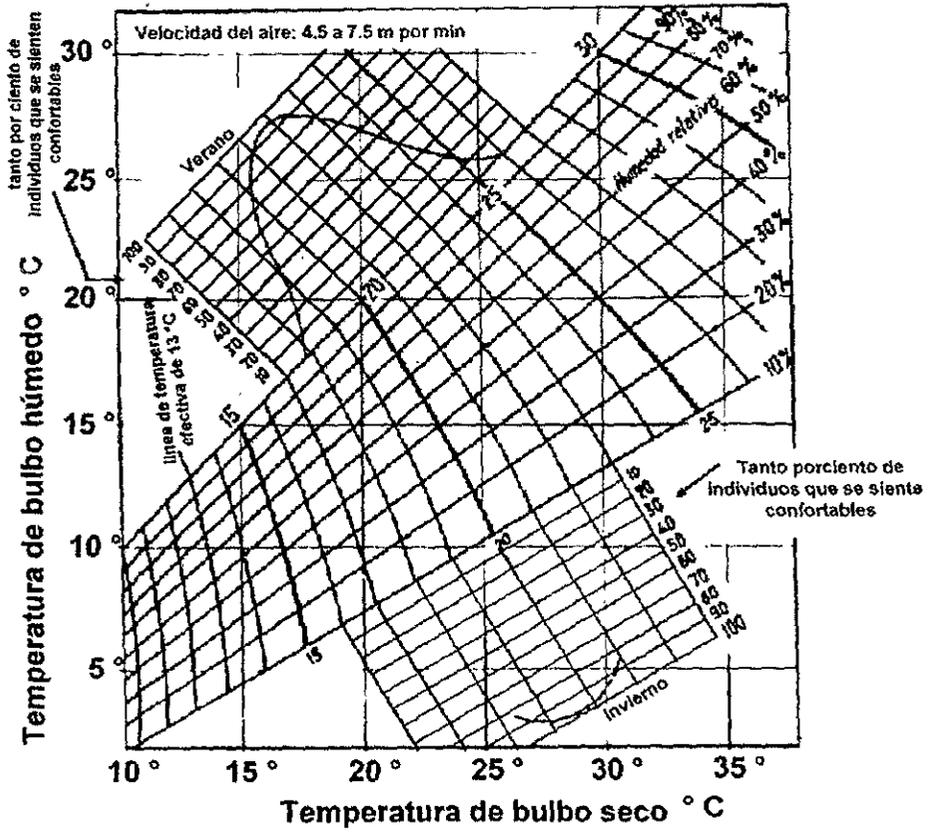
Tabla de Valores de CLO

Descripción del vestido		CLO	m <sup>2</sup> C/W
Ropa interior,	Pantimedia	0.02	0.003
	Medias	0.03	0.005
	Calzoncillo 1/2 pierna, lana	0.06	0.009
	Calzoncillo largo	0.1	0.016
	Sostén	0.01	0.002
	Camiseta sin manga	0.06	0.009
	Camiseta normal	0.09	0.014
	Camiseta con mangas largas	0.12	0.019
Camisas	Playera	0.06	0.009
	Manga corta	0.09	0.029
	Blusa liviana de peso, manga largas	0.15	0.023
	Blusa peso liviano, mangas largas	0.20	0.031
	Normal, manga largas	0.25	0.039
	Camisa de franela, mangas largas	0.3	0.047
	Blusa cuello de tortuga, mangas largas	0.34	0.053
Pantalones	Shorts	0.06	0.009
	Bermudas	0.11	0.017
	Pantalones livianos	0.20	0.031
	Pantalones normales	0.25	0.039
	Pantalones de franela	0.28	0.043
	Overol	0.28	0.043
Suéteres	Sin manga	0.12	0.019
	Suéter delgado	0.2	0.031
	Mangas largas, cuello alto (delgado)	0.26	0.040
	Suéter 0.28 - 0.043 espesor	0.35	0.054
	Mangas largas, cuello alto (grueso)	0.37	0.057

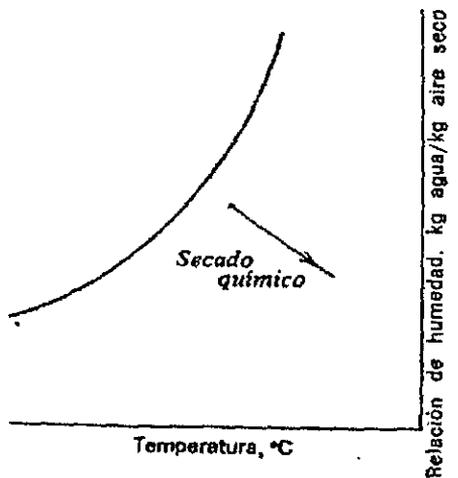
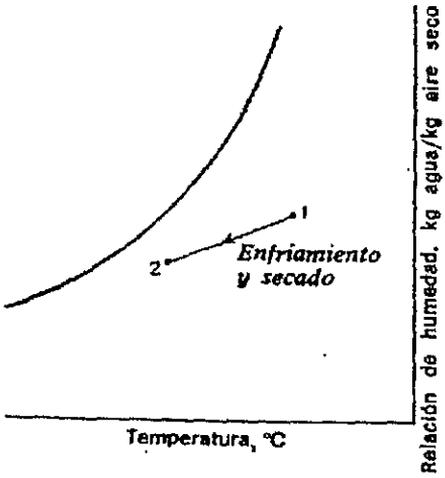
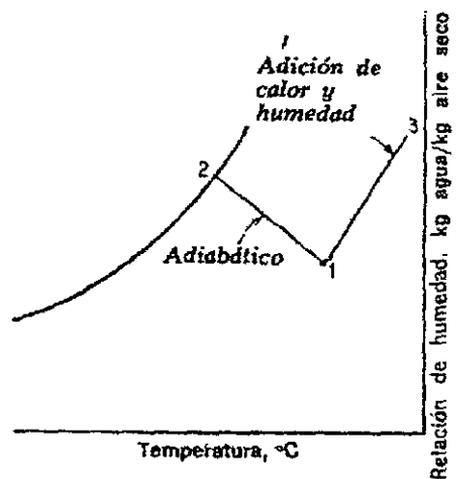
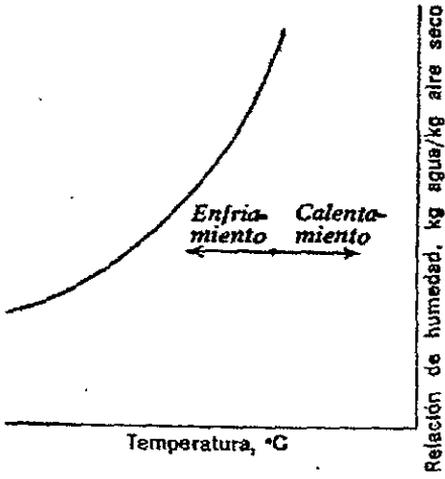
Carta psicrométrica



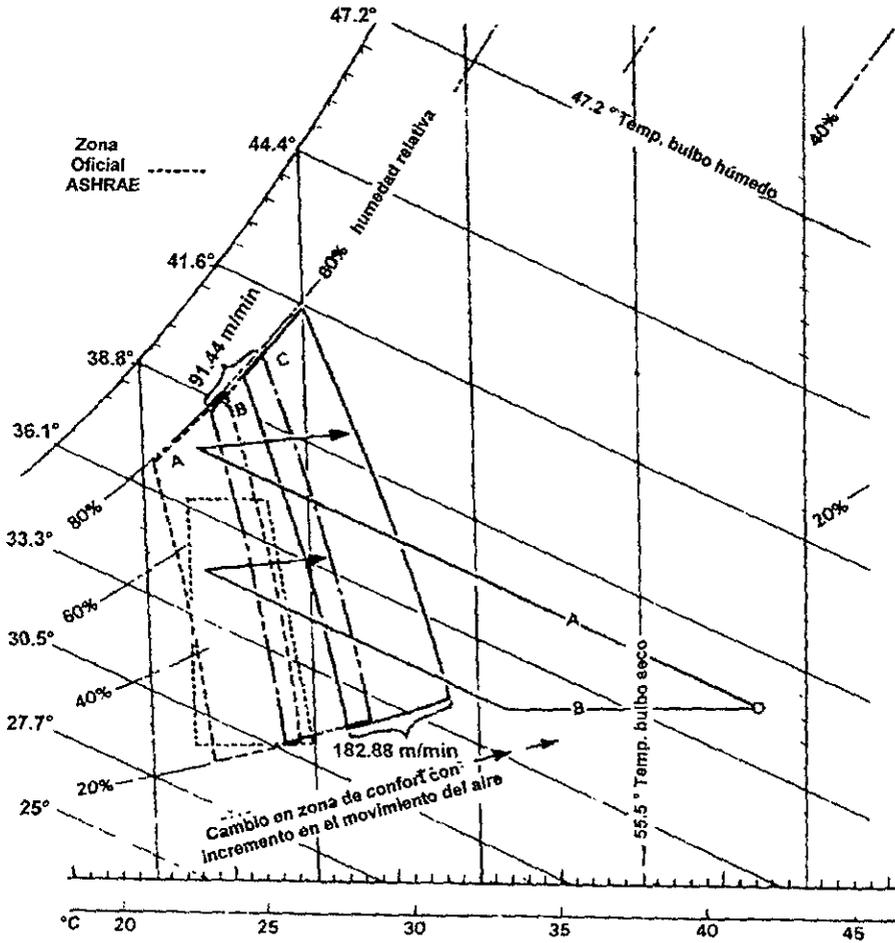
# Diagrama de confort



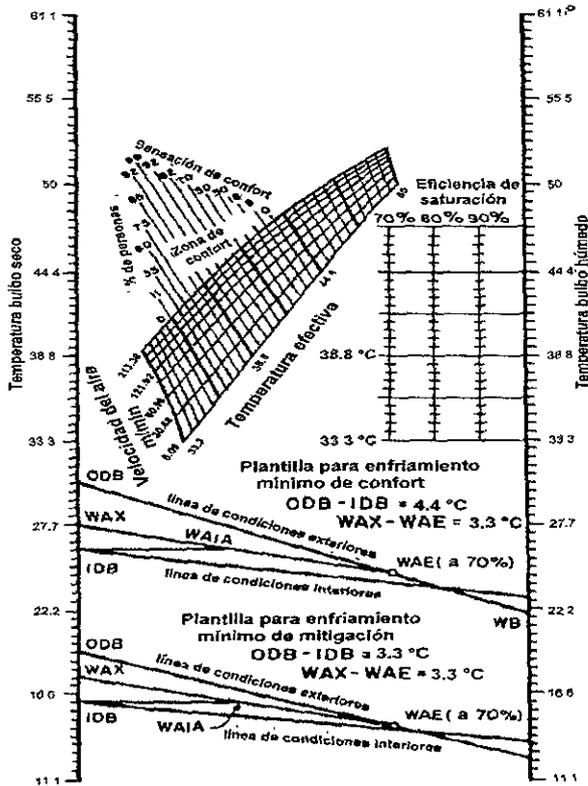
Procesos típicos del aire acondicionado



Carta de confort para el enfriamiento por evaporación



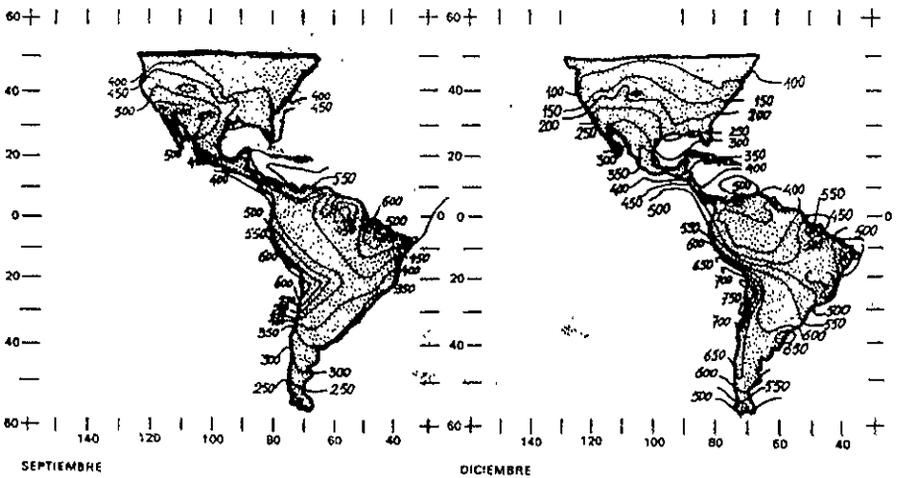
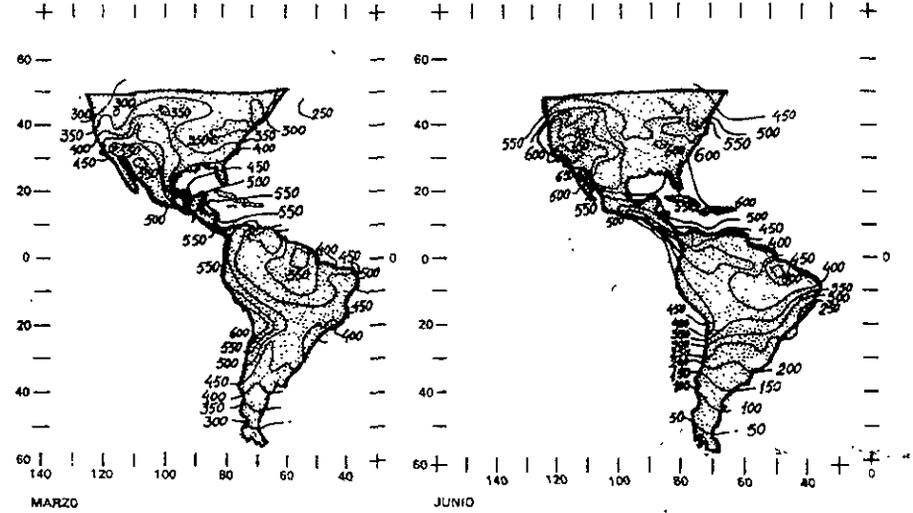
Calculadora de confort para el enfriamiento por evaporación directa.



1. Seleccione ODB y WB de las condiciones de diseño locales. ODB es la temperatura exterior de bulbo seco, y WB la temperatura exterior de bulbo húmedo.
2. Dibuje una línea con las condiciones exteriores de ODB a WB.
3. Seleccione la eficiencia de saturación de la columna correspondiente. Donde se cruce con la línea de condiciones exteriores, léase WAE, que es la temperatura del aire que entra al cuarto.
4. Seleccione la ganancia de temperatura interna del aire lavado, generalmente entre 3.3 a 5.5 °C, y localice WAX al extremo izquierdo de WAE, dibuje una línea a WAE. WAX es la temperatura de salida del aire al final del cuarto.
5. Localiza WAIA, la temperatura promedio del aire lavado interior, a la mitad entre WAE y WAX.
6. Dibuje una línea hacia la izquierda de WAIA y encuentre IDB, la temperatura promedio de bulbo seco interior.
7. Seleccione IWB, usualmente 1.1 °C arriba de WB, es la temperatura de bulbo húmedo interior estimada.
8. Dibuje la línea de condiciones interiores de IDB a IWB.
9. Seleccione la velocidad del aire estimada en el interior, generalmente entre 30.98 y 121.92 m/min.
10. Lea el nivel de confort interior en temperatura efectiva, donde la línea de condiciones interiores cruza la línea de velocidad interior del aire. Posteriormente se le el por ciento de gentes confortables.

# Radiación Solar

Calorías por cm<sup>2</sup>



## Horas de Sol por día

- A = 6
- B = 5.5
- C = 4.5
- D = 4
- E = 3.5

## Análisis de costos y aspectos financieros

Cuando los enfriadores por evaporación comenzaron a competir con los sistemas de aire acondicionado no se le prestaba atención a las comparaciones de costos. La electricidad en esos días era barata por lo que la población adquiría sistemas del aire acondicionado sólo por razones de prestigio. Pero hoy en día los costos relativos a la operación de los equipos de aire acondicionado están adquiriendo un papel predominante. Las tarifas por Kilowat están aumentando en promedio 12% anualmente (CFE) y dichos incrementos durarán varios años más.

En gran medida esto sucede porque los precios del crudo que la Organización de Países Exportadores de Petróleo OPEP fija no son respetados; por tanto las exportaciones de petróleo continúan menguando el PIB y modifican mensualmente los índices de precios al productor; además las centrales nucleares ya no prometen electricidad más barata debido a que sus altos costos de construcción no permiten la recuperación de la inversión con tarifas bajas aún cuando están subsidiadas, como ocurre en la operación actual además de los desechos tóxicos que representan un problema en el entorno ecológico.

La necesidad principal en esta investigación es la comparación en función de los costos entre el enfriamiento por evaporación y el enfriamiento por refrigeración.

Para cualquier proyecto primero se estiman los costos de capital (gasto inmediato que se requiere para la construcción del proyecto) y se analiza la conveniencia en función de la tasa de interés que rija en su momento en los bancos. Por lo que se emplea la fórmula de interés compuesto:

$$S = C(1+i)^n \quad (\text{A.1})$$

Donde el valor presente (intereses) a la tasa  $i$ , por periodo de conversión, de un monto  $S$  con vencimiento en  $n$  periodos de conversión es la suma  $C$  tal que invertida a la tasa dada de interés alcanzaría el monto  $S$  después de  $n$  periodos de conversión.

$$C = S(1+i)^{-n} \quad (\text{A.2})$$

Los costos de operación son aquellos gastos que se originan de la utilización del proyecto ya construido. En este caso se trata de las cuentas por pagar de la energía eléctrica o del medio para enfriar en los evaporadores (agua).

## ***Bibliografía.***

- Pons Hernández, Margarita; Lecciones gráficas de geografía física y humana, Ed. Patria, Cap. 1, 1968
- Jackson, W.M.; "Psicología", Enciclopedia Práctica Jackson, Tomo 11, México 1967
- Dubos, Rene; El hombre en adaptación, Fondo de Cultura Económica, Cap. 1, México 1975
- Fuentes Aguilar Luis; Climatología Médica, EDAMEX, Caps. 1,4,7,8, México 1990
- Puppo, Ernesto; Acondicionamiento natural y Arquitectura, Marcombo, parte 2 Cap. 1, 1979
- Culp, Archie W.; Principles of energy conversion, Mac Graw Hill, Caps. 1,2,8, 1979
- Garrat, James; Design and Technology, Cambirdge University Press, Cap. 9, 1991
- García, Ramón; "La producción de energía", Enciclopedia de las Ciencias Larousse, Tomo 2, México 1982
- Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EREN); "Learning about renewable energy", EREC Fact Sheets, U.S Department of Energy, 1997
- Merrick Gay, Charles; Instalaciones en los edificios, Ed. Gustavo Gili, Cap. 17, 1966
- Fairey, P.W.; "Passive cooling and human comfort", Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1997
- Hernández Goribar, Eduardo; Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, Limusa, Cap. 8, México 1973
- Faires, Virgil M.; Thermodynamycs, MACMILLAN MARUZEN, Cap 20, 1962
- Watt, John R.; Evaporative Air Conditioning Handbook, Prentice Hall, Caps. 3,4,6,12,17, 1997
- Stoecker, W.F.; Refrigeración y acondicionamiento de aire, Mac Graw Hill, Cap. 16, 1977
- Kreith, Frank, Transmisión del calor por Radiación, Ed. Continental, Cap. 4, 1965
- Havrella, Raymond; Fundamentos de calefacción, ventialción y aire acondicionado, Mac Graw Hill, Caps, 9, 16,17, 1988
- Borowitz, Sidney; Essentials of Physics, Addison-Wesley, Cap. 35, 1967
- Ayres, Frank; Matemáticas Financieras, Mac Graw Hill, Cap 7, 1975

## Fuentes en Internet

<http://www.inegi.gob.mx>, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

<http://www.eb.com>, Encyclopedía Británica Online

<http://ece-www.colorado.edu>, Semiconductors Fundamentals, Bart J. Zeghbroeck, 1997

<http://www.breath.com>, Ions and Consciousness, Jim Kamstedt

<http://www.azap.com>, Alternate energy

<http://www.stockbridge-airco.com>, Ventiladores Airco

<http://www.piec.com>, Premier Industries Inc., CELDEK

<http://www.uni-stuttgart.de>, IPE, Solar cells

<http://www.cfe.gob.mx>, Distribución, Gerencia Comercial

<http://www.eren.doe.gov>, Photovoltaics

<http://www.jademountain.com>, Photovoltaics

<http://www.leeson.com>, Direct current motors and gearmotors.