

20



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROYECTO DE AIRE ACONDICIONADO PARA UN INVERNADERO DE ROSAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA PRESENTAN: ESPINOZA RAMIREZ JULIO VALENTIN ORTIZ DURAN ALEJANDRO

ASESOR: ING. JUAN DE LA CRUZ HERNANDEZ ZAMUDIO



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
**UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS**

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Proyecto de aire acondicionado para un invernadero de rosas"

que presenta el pasante: Julio Valentín Espinoza Ramírez  
con número de cuenta: 7717633-0 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Septiembre de 2001.

PRESIDENTE	Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio	
VOCAL	Dra. Frida Ma. León Rodríguez	
SECRETARIO	Ing. José Juan Contreras Espinosa	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Rolando Cortés Montes de Oca	



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVEMARA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
**UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS**

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
**DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN**  
**PRESENTE**

**ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares**  
**Jefe del Departamento de Exámenes**  
**Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Proyecto de aire acondicionado para un invernadero de rosas"

que presenta el pasante: Alejandro Ortiz Durán  
con número de cuenta: 8162015-5 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Septiembre de 2001

**PRESIDENTE** Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio

**VOCAL** Dra. Frida Ma. León Rodríguez

**SECRETARIO** Ing. José Juan Contreras Espinosa

**PRIMER SUPLENTE** Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez

**SEGUNDO SUPLENTE** Ing. Rolando Cortés Montes de Oca

## **AGRADESIMIENTOS:**

**A mis padres: Por creer en mí, por su constante apoyo y educación de siempre.**

**A mi esposa: Por la compañía, el amor y la comprensión demostrada para alcanzar esta importante meta.**

**A mis hermanos: María Luisa, Cristina, Gloria, Amanda, Ismael, Mauricio y Lucía: por su ayuda y compañía y saber respetar mi forma de ser y pensar.**

**A los profesores: que de primaria a facultad contribuyeron con miles de conocimientos que hoy se convierten en formación profesional.**

**A la UNAM: por la educación que me dio.**

**A los miembros del jurado por sus observaciones y sus aportaciones para la correcta realización de esta tesis.**

**Al Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio: por su valiosa colaboración como asesor y por el tiempo que ocupó con nosotros.**

**A todos ellos y los que me faltaron y que estuvieron cerca de mí alentándome, gracias.**

**Julio Valentin Espinoza Ramírez.**

## **DEDICATORIAS:**

*De manera especial dedico este trabajo a mi padre con respeto y admiración.*

*A Gertrudis con todo el amor de mi vida.*

*A Mario y Francisco quienes empiezan a vivir y adoro.*

*Julio Valentin Espinoza Ramirez*

## **AGRADESIMIENTOS**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme usar sus instalaciones para adquirir los conocimientos necesarios y formar parte de la Máxima Casa de Estudios.**

**A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por haberme brindado una preparación profesional.**

**Al Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio por la paciencia para dedicar parte de sus conocimientos y de su tiempo al asesorarme.**

**A los Maestros de la FES-C y al Jurado por aportarme sus conocimientos, que transmitieron generosamente y por el apoyo que me dieron para poder aclarar mis dudas.**

**A todas aquellas personas e instituciones que de forma directa o indirecta me ayudaron a terminar mis estudios.**

**A mi esposa por darme el último empujón para no dejar este trabajo inconcluso.**

**A dios por iluminar el sendero correcto para poder alcanzar una meta.**

**Alejandro Ortiz Durán**

## DEDICATORIA

*A* mis padres: Hilaria Durán Segovia y José Nicanor Ortiz Acevedo.  
Les dedico este trabajo como una pequeña muestra de gratitud por todo lo que me han dado: la vida, el amor de padres, la libertad de elegir, su apoyo, su confianza y comprensión en las buenas y en las malas, así como, la educación y los principios para poder salir adelante.

*SINCERAMENTE:*

*Alejandro Ortiz Durán*

## INDICE

### CAPITULO I. ANTECEDENTES

A. Historia del Aire Acondicionado	1
B. Aplicaciones del Aire Acondicionado	3
C. ¿Que es un Invernadero?	6
D. Historia del los Invernaderos	8
E. Tipos de Invernadero	9
F. Tipos de Cubierta para Invernadero	12

### CAPITULO II. INTODUCCION

A. Horticultura Ornamental	14
B. Niveles Térmicos Característicos del Cultivo	22
C. Historia de la Rosa	24
D. Descripción Botánica de la Rosa	26
E. Tipos de Rosal y Variedades de Invernadero e Intemperie	28
F. Diferencias entre Cultivo del Rosal Bajo Invernadero y a la Intemperie	30

### CAPITULO III. GENERALIDADES

A. Concepto de Aire Acondicionado	32
B. Conceptos Básicos	32
C. Psicometría	48

#### **CAPITULO IV. CALCULO DE CARGAS**

A. Carga de Calentamiento	72
B. Carga de Enfriamiento (Refrigeración)	78

#### **CAPITULO V. LUZ**

A. Radiación Solar	101
B. Energía Solar a Través de los Cristales	108
C. Temperatura y Bióxido de Carbono	112
D. Transferencia de Calor en los Invernaderos	116
E. Balance de la Energía Dentro del Invernadero	119
F. Radiación Infrarroja	121

#### **CAPITULO VI. PROYECTO Y PLANOS DEL INVERNADERO**

A. Calculo de Áreas y Planos	125
B. Condiciones de Diseño	130
C. Cargas de Calentamiento	130
D. Cargas de Enfriamiento	132
E. Calculo del Número de Luminarios	137
F. Distribución de Camas en el Invernadero	138

#### **CAPITULO VII. ESTUDIO ECONÓMICO DEL EQUIPO** 141

**CONCLUSIONES**

**143**

**ANEXO A: TABLAS**

**145**

**BIBLIOGRAFÍA**

**181**

## **CAPITULO I: ANTECEDENTES**

### **A. HISTORIA DEL AIRE ACONDICIONADO**

El Aire acondicionado es tan antiguo como el hombre, puesto que el hombre de las cavernas para poder vivir en lugares fríos, utilizó las pieles de los animales para poder controlar el escape de su propio calor corporal y efectuar un cambio en su comodidad personal. Refugiándose en cuevas, encontró protección contra el frío y el calor, así como del sol, cambiando básicamente su medio ambiente. El descubrimiento y uso del fuego fue quizás el avance más importante en esa era, pues consiguió de forma artificial calor, aunque quizás tuvo dificultades con la extracción del humo.

Los residentes de las primeras civilizaciones que tuvieron su origen en áreas tropicales, donde las necesidades de calefacción eran mínimas o innecesarias, se encontraron con el problema opuesto. Auxiliándose de la historia y de los artefactos antiguos vemos como los egipcios, usaron esclavos equipados con ramas de palmas para ventilar a sus amos.

Así el enfriamiento evaporativo, suministró algún alivio para el calor. La historia también recuerda que los romanos, diseñaron calefacción y ventilación en sus famosos baños. Los romanos también traían hielo de las montañas del norte, para enfriar vino y posiblemente también para enfriar agua para baño.

Pero los romanos no fueron los únicos en utilizar calefacción, los chinos también utilizaron calefacción para calentar sus casas. Esto fue durante la dinastía Ming (1368-1644).

En el renacimiento (1450-1570) el notable, Leonardo Da Vinci (1452-1519), construyo un ventilador accionado por agua, para ventilar los cuartos de una casa.

Durante el siglo XIX, se inventaron los ventiladores, calderas y radiadores, llegando a ser de uso común. De esta forma el arte de la ventilación y calefacción central progresó rápidamente.

Fue en 1844 cuando el doctor John Gorrie (1803-1855) describió su nueva máquina de refrigeración la cual fue la primer máquina comercial en el mundo, usada para refrigeración y aire acondicionado. Muchas mejoras al trabajo del doctor Gorrie, se obtuvieron con el desarrollo de los compresores alternativos aplicándolos a la hechura de hielo, cerveceria, empaque de carne y procesamiento de pescado.

El "padre del aire acondicionado" fue Willis H. Carrier (1876-1950). El en 1911 presentó su famoso trabajo, sobre las propiedades del aire, el cual fue la base para la primera carta psicrométrica. En 1922 invento la primera máquina centrífuga de refrigeración. Luego investigo los sistemas de inducción para edificios con muchas oficinas, hoteles, apartamentos y hospitales.

El aire acondicionado para comodidad de personas, tuvo su primer gran uso en cinemas, durante la década de 1920. Hacia el final de la década, apareció el primer acondicionador de aire autocontenido.

El siguiente avance fue el desarrollo de los refrigerantes seguros. En 1930, Tomás Midgley, desarrollo el hoy famoso refrigerante Freón (Fluorocarbón). En 1931 se introdujo el Freón 12 como refrigerante comercial. Para 1935 la industria introdujo el primer compresor hermético para el trabajo de aire acondicionado, y se ha desarrollado tanto que los hay hasta de 20 toneladas en una sola carcasa.

Otro gran avance, que realmente aceleró las ventas fue la introducción en 1953, de la operación con enfriamiento por aire en vez de agua.

La última innovación de productos ocurrida a finales de la década del 50 y principios del 60 fue la combinación de "techo" de calefacción con gas y enfriamiento eléctrico. Inicio con unidades tipo paquete pequeños, de 2 a 5 toneladas. Con la sofisticación y tamaño del equipo la capacidad aumento hasta 100 toneladas para enfriamiento.

La innovación más reciente es la introducción de las computadoras para poder automatizar los sistemas de aire acondicionado.

Podemos observar que después de los años 20's se han desarrollado plenamente sistemas completos de acondicionamiento de aire para producir comodidad y para control de productos industriales, los cuales cada día se extienden más, encontrando más aplicaciones.

## **B. APLICACIONES DEL AIRE ACONDICIONADO**

Quizás el aire acondicionado industrial, no ha crecido tan espectacularmente como lo hizo el aire acondicionado para comodidad de personas, pero su crecimiento ha sido constante.

El aire acondicionado industrial se utiliza más frecuentemente en los laboratorios, imprentas, talleres de mecánica de precisión, y en la fabricación de productos fotográficos. En menos proporción se esta utilizando en granjas e invernaderos.

1.- Laboratorios.- El objeto del acondicionamiento del aire varia de un laboratorio a otro. En unos puede ser proporcionar condiciones de comodidad al personal, de manera que

su trabajo y mediciones sean precisas, mientras que en otros, la temperatura puede mantenerse a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  para estudiar el comportamiento de una determinada máquina a bajas temperaturas. El acondicionamiento de otros laboratorios puede destinarse a ayudar a los médicos y biólogos a estudiar los efectos de la temperatura y humedad sobre seres vivientes.

2.- Imprentas.- El control de la humedad, es una de las razones primordiales para la utilización del aire acondicionado en las imprentas. Cuando se imprime en multicolor, el papel pasa a través de la prensa, una vez para cada color. Si la humedad no es constante, el papel se encoge o se estira, lo que origina una mala impresión de los colores. Otros perjuicios debidos a la humedad impropia son la electricidad estática, los rizos u ondulaciones del papel, y el mal secado de la tinta.

3.- Mecánica de Precisión .- El aire acondicionado realiza tres servicios en la fabricación de piezas metálicas de precisión: conserva la temperatura uniforme, con lo que el metal no se dilata ni se contrae; mantiene una humedad tal que no hay peligro de oxidación de los metales; y filtra el aire para disminuir al mínimo el polvo.

4.- Fábricas Textiles.- Lo mismo que el papel, los tejidos son sensibles a los cambios de humedad y en una menor proporción a los cambios de temperatura. Los hilados en las modernas plantas textiles se mueven a enormes velocidades, y los cambios en la flexibilidad y resistencia de la tela o la generación de electricidad estática deben evitarse.

**5.- Plantas Siderúrgicas.-** Deseccando el aire antes de que entre en el horno alto, se mejora la calidad del acero y se reduce la cantidad de coque necesario por tonelada de acero.

**6.- Productos Farmacéuticos.-** Las fábricas de productos farmacéuticos necesitan aire acondicionado para eliminar las bacterias aéreas y el polvo, y para conservar los productos. Las cápsulas de gelatina, por ejemplo, necesitan aire muy seco. Los productores glandulares pierden su efectividad si la temperatura aumenta demasiado. Las píldoras y tabletas requieren unas condiciones de aire precisas para mantener su calidad.

**7.- Productos fotográficos.-** La industria de productos fotográficos hace gran uso de la refrigeración. Los materiales fotográficos recién fabricados se deterioran rápidamente si se exponen a altas temperaturas y humedades, y otros materiales que se usan en el revestimiento de las películas necesitan un cuidadoso control de temperatura. La película elaborada debe almacenarse en lugares de baja humedad.

**8.- Granjas.-** Se están llevando acabo interesantes experimentos para determinar si el aire acondicionado puede aplicarse económicamente a refrigerar establos y gallineros. Las primeras experiencias indican que refrigerando los establos en verano se obtiene un mayor rendimiento en la conversión del pienso en carne, es decir, se aumenta la producción.

**9.- Invernaderos.-** Al desafiar los elementos atmosféricos por medio de instalaciones climatizadas o invernaderos se ha logrado prolongar la actividad y floración de las plantas en una época en que de ser cultivadas al aire libre no se podrían obtener.

### **C. ¿ QUE ES UN INVERNADERO ?**

El termino invernadero, se refiere a una estructura cuyo techo y paredes son transparentes o translúcidos y permiten la entrada de suficiente cantidad de radiación solar, necesaria para que las plantas en el interior realicen eficientemente la fotosíntesis.

Un invernadero permite el crecimiento de las plantas que se cultivan dentro de él, independientemente del clima exterior. Debido a que la temperatura y humedades interiores pueden ser controladas. Pero el mantenimiento de la temperatura dentro del invernadero puede ser difícil si las condiciones ambientales exteriores fluctúan marcadamente cuando el sol brilla intensamente, en el verano o en los climas cálidos, debe efectuarse un apropiado control térmico dentro del invernadero para que los cultivos no se dañen, ya que la temperatura puede elevarse demasiado, rebasando incluso la exterior.

Un invernadero varia de tamaño, forma y complejidad desde un pequeño albergue con techo de dos aguas, un pequeño túnel semicilíndrico, hasta las estructuras comerciales cubriendo grandes extensiones de tierra (figuras 1 y 2).

La estructura básica de un invernadero consiste en un armazón sencillo pero muy sólido, capaz de resistir viento y otros esfuerzos mecánicos. Convencionalmente, el techo se cubre con placas de vidrio, pero el plástico o la fibra de vidrio frecuentemente se usan con buenos resultados.

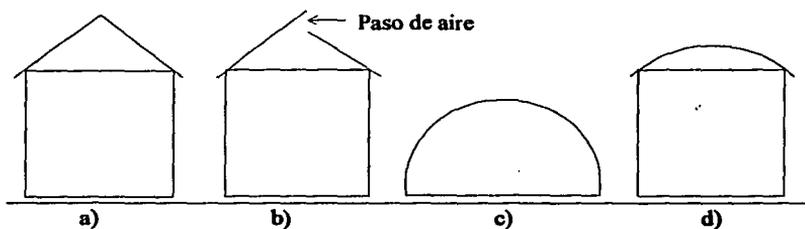
El uso comercial más extendido de un invernadero es cultivar hortalizas y plantas ornamentales. La producción en invernaderos requiere de muchos cuidados, por que se deben realizar diversas labores, normalmente llevadas acabo por la naturaleza al aire libre.

Debe regularse la temperatura y la cantidad de energía luminosa, ventilar, regar, fertilizar y en ocasiones facilita la polinización.

Periódicamente la estructura debe ser limpiada y fumigada y el suelo debe arreglarse. Estas desventajas aparentes se ven superadas ampliamente por los beneficios que un invernadero aporta al permitir la producción ininterrumpida de cultivos que, de otra forma, no podrían lograrse.

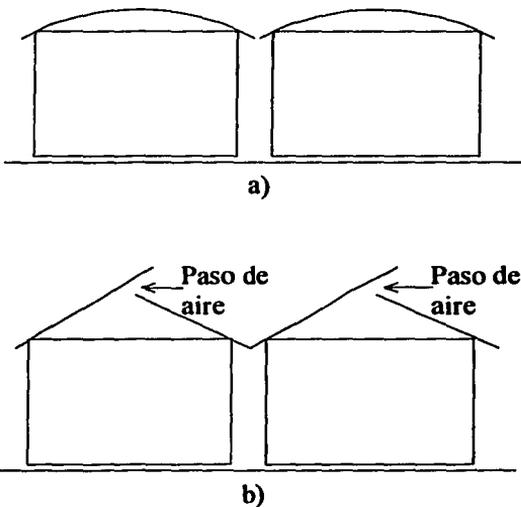
### FIGURA 1. INVERNADEROS TIPO UNITARIO

- a) Cubierta a dos aguas sin ventilación. b) Cubierta a dos aguas con ventilación.  
c) Cubierta semicircular. d) Cubierta tipo parabólica



**FIGURA 2. INVERNADEROS TIPO CAMARA PLENA**

a) Tipo parabólico. b) Tipo diente de sierra.



#### **D. HISTORIA DE LOS INVERNADEROS**

Es probable que la industria de invernaderos como tal, apareciera en Holanda durante su "EDAD DE ORO", en el siglo XVII. Este hecho fue favorecido por el amor de los holandeses, especialmente hacia las flores, y el nivel de vida de los mismos que en ese entonces era el más elevado del mundo.

Todas las cortes reales de Europa tenían un gusto especial por la elegancia y el buen vivir. Apreciaban enormemente el tener flores en el invernadero y frutas fuera de estación.

La capacidad productiva de la clase media y las cadenas comerciales del floreciente sector mercantil, pronto dieron origen en los países bajos, a lo que hoy es una de las más grandes industrias de invernaderos en el mundo. En América, el cultivo en invernaderos como industria se originó, mucho más tarde, en el siglo XIX, cuando la tecnología fue llevada a los Estados Unidos por inmigrantes europeos.

Actualmente el área agrícola mundial protegida bajo vidrio, fibra de vidrio y plástico se incrementa aproximadamente en un 10 % cada año. Siendo Japón y Europa los sitios donde estas técnicas están más desarrolladas. Los cultivos protegidos pueden dar como resultado una producción enorme.

#### **E. TIPOS DE INVERNADERO**

Se denomina nave de invernadero a la estructura mínima cubierta para producir en forma comercial. Cuando varias naves se agrupan sin divisiones y formando un único clima, se denomina invernadero a cámara plena y en ambos casos, por la forma de su estructura y cubierta, los invernaderos se pueden clasificar en dos grupos, que son los de cubierta curva y cubierta recta.

A continuación los tipos más representativos y sus características básicas:

1.- Semicircular.- Generalmente su estructura es de tubo galvanizado rolado en frío y la cubierta puede ser de fibra de vidrio o polietileno. Cada nave se forma de un arco semicircular que apoya sus dos extremos directamente en el piso. La conducción de aguas pluviales y/o granizo es en canaletas, al nivel del piso exterior.

Su principal ventaja es la sencillez de construcción y su mayor desventaja es que dificulta la ventilación cenital (por la parte superior). Se puede utilizar en climas fríos y con vientos constantes.

2.- Parabólico.- Sus características son similares al semicircular, incluyendo sus ventajas y desventajas. La diferencia básica es que el arco semicilíndrico se apoya en el suelo y el arco parabólico se apoya en postes verticales.

Las canaletas para agua pluvial y granizo son elevadas y corren por los ensambles de los arcos con los postes.

3.- Parabólico y Semicircular con Ventilación Cenital.- Este tipo de invernadero es de una variante de los anteriores y se caracteriza por tener un mecanismo o tapadera en un desnivel que permite la ventilación en la cumbre de la cubierta.

4.-Diente de Sierra.- Este invernadero se caracteriza por tener la cubierta plana apoyada en un poste más elevado que el opuesto. Al ensamblarse varias naves, una vista lateral semeja los dientes de una sierra o una cubierta de fábrica.

En nuestro país la inclinación de la cubierta debe ser de 20° a 30° y el lado bajo debe estar orientado al sur del lado alto en la misma estructura.

Se pueden construir en madera rolliza, madera aserrada, perfil tubular, perfil estructural o con armaduras. La cubierta puede ser de fibra de vidrio o polietileno. Su principal ventaja es la sencillez de construcción, así como la flexibilidad para construirse con cualquier

material; y su principal desventaja es la sombra que ocasiona la canaleta y el desnivel para ventilación, especialmente en invierno debido a su orientación.

5.- Dos Aguas con Ventilación.- A diferencia del diente de sierra, este tipo de invernadero se caracteriza por que cada nave canaliza el agua pluvial hacia dos lados. Ambos lados rectos presentan una inclinación respecto al piso y reciben cada uno respectivamente el sol de la mañana y por la tarde.

La cubierta puede ser vidrio, fibra de vidrio o polietileno. Su principal ventaja es la sencillez de construcción, así como la flexibilidad para construirse con cualquier tipo de material, y su desventaja es que no permite la ventilación cenital. Es recomendable para climas fríos con vientos constantes.

6.- Dos Aguas con Ventilación.- A este tipo de invernadero se le conoce también como "Colombia" por que su uso es generalizado en aquel país. Mediante un desnivel en la cumbre, permite la ventilación durante el día y al cerrar almacena calor por la noche.

La estructura se puede presentar en cualquier tipo de material que usan los invernaderos anteriormente descritos, así como las cubiertas; en nuestra opinión, éste es el tipo que por su versatilidad para construir en diversos materiales, así como su funcionalidad, puede resolver las necesidades climáticas para los cultivos de condiciones controladas en nuestro país.

## **E. TIPOS DE CUBIERTA PARA INVERNADERO**

La cubierta de un invernadero es el elemento que protege al cultivo de la intemperie, pero esencialmente permite el paso de los rayos luminosos y acumula la temperatura de la energía solar.

La selección de la cubierta estará en función del clima, de la localización, el tipo de cultivo, el grado de mantenimiento previsto, el tipo de comercialización y el monto de la inversión. El tipo de cubierta condiciona el diseño de la estructura.

Para elegir el tipo de cubierta es conveniente conocer los requerimientos de luminosidad para el cultivo a desarrollar, así como la consecuencia o daño que resulte al fallar el material de cubierta por una economía mal planeada que haga fracasar al cultivo.

Se ha observado que a mayor intensidad lumínica la fotosíntesis se intensifica y que para cada planta existe una intensidad de luz después de la cual el exceso de luminosidad destruye los pigmentos; por esta razón se deben prever, en algunos cultivos como el crisantemo, sombras artificiales sobre la cubierta o dentro del invernadero.

Los tipos de cubierta utilizados son:

1.- Cubiertas de Vidrio.- Su uso en nuestro país es escaso debido al costo propio del material, a la colocación y a las necesidades de carga y sujeción que origina sobre la estructura. Su espesor varía de 3 a 12 mm. en función de las dimensiones de la estructura.

Su resistencia a la intemperie es buena y su durabilidad, transmitiendo luminosidad del 86 al 95 %, se puede decir que es indefinida. El espesor recomendable es de 3 mm. con peso de  $9.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ .

2.- Cubiertas de Fibra o Acrílico.- De construcción a base de resinas con refuerza de fibra de vidrio, su utilización es regular y se estima que su costo es aproximado al 80 % del valor para cubiertas de vidrio y no se requiere estructura tan costosa como la de este material.

La resistencia a la intemperie es buena y su durabilidad, transmitiendo luminosidad del 80 al 85 %, es de 4 a 10 años. El espesor recomendable es de 1.2 a 1.6 mm.

3.- Cubiertas de Polietileno.- Por su bajo costo, que en comparación con el vidrio es aproximado al 4 %, su uso es frecuente en las cubiertas de invernaderos.

Su resistencia a la intemperie es escasa, especialmente cuando el polietileno no ha sido tratado para absorber el efecto de los rayos infrarrojos que lo endurecen y hacen quebradizo. Su durabilidad es de 6 a 18 meses, transmitiendo luminosidad de un 70 a 75 %. Su espesor recomendable es de 6 milésimas de pulgada y su peso promedio de  $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . El polietileno tratado acepta, sin riesgo, elongaciones de 5 a 10.

4.- Cubiertas de Doble Capa.- Este tipo de cubiertas son una variante para el uso del polietileno. Con la colocación de dos capas de polietileno separadas entre sí por una cámara de aire, se logra un mayor aislamiento térmico y cuando se utiliza calefacción ahorra hasta el 33 % de costo de combustible.

La separación recomendable de las capas de polietileno es de 37 mm. El aislamiento con separación menor a 19 mm. se pierde al tocarse las capas; y cuando es mayor a 200 mm, se producen corrientes de aire que impiden el aislamiento térmico.

## CAPITULO II: INTRODUCCIÓN

### A. HORTICULTURA ORNAMENTAL

La Horticultura Ornamental es una subdivisión de la Horticultura, que se comprende todas aquellas actividades encaminadas a la producción masiva y metódica de las plantas que por su belleza en conjunto, o por algunas de sus partes y sobre todo la flor, son utilizadas por el hombre para adornar los lugares en donde transcurre su vida, con la finalidad de procurarse un medio ambiente más agradable, o bien festejar algún evento que tenga una importancia subjetiva en sus costumbres.

La horticultura Ornamental, en términos generales, abarca la producción de flores y plantas Ornamentales.

1.- FLORES.- Se pueden clasificar como los siguientes tipos:

a) DE CORTE.- Son aquellas flores que se separan, vía corte de la planta madre, para usarse en arreglos florales tales como rosa, crisantemo, clavel, margarita, nardo, nochebuena, orquídeas, anturio y otras (figura 3).

b) VIVAS.- Son flores que para su ornato se manejan en forma de planta como nochebuena, hortensia, orquídeas, ciclamen, violeta africana y otras (figura 4).

**FIGURA 3. FLORES DE CORTE**

**ROSAS**



**CLAVELES**



**NARDO**



**FIGURA 4. FLORES VIVAS**

**ORQUÍDEA**



**NOCHEBUENA**



**VIOLETAS**



**2.- PLANTAS ORNAMENTALES.-** Las que se conocen como plantas ornamentales pueden clasificarse bajo los siguientes tipos:

a) **DE INTERIOR.-** Como las dracenas, amoenas, filodendros, teléfono y otras (figura 5).

b) **DE EXTERIOR.-** Ficus, tuyas, crotos, coleos y otras (figura 6).

c) **FOLLAJES.-** Palmas, espárragos, tuyas, helechos y otros. En ocasiones sólo se utilizan para dar fondo y complemento a los arreglos florales (figura 7).

En México se tiene una gran diversidad de microclimas, ocasionados por las diferentes condiciones de relieve y precipitación, muchos de ellos son ideales para la producción de ornamentales y se distribuyen principalmente en las estribaciones del eje neovolcánico, destacando por sus características favorables los estados de México, Puebla, Michoacán y Morelos, en donde existe actualmente, la mayor superficie cultivada.

Los datos existentes indican que actualmente en nuestro país se cultiva una superficie aproximada de 34475 ha. bajo invernadero. Estas cifras contrastan con las de muchos otros países, entre los cuales se encuentran Holanda, líder mundial de esta actividad, donde hoy día se cultivan 10,000 ha. bajo condiciones de intemperie y 11,000 ha. bajo condiciones de invernadero.

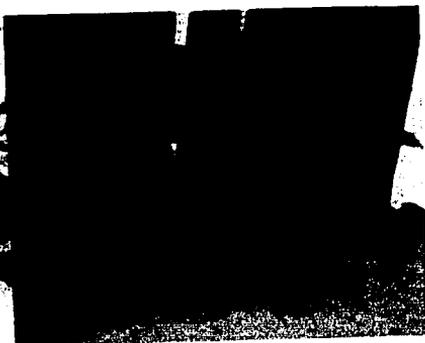
La gran mayoría de las especies ornamentales que se obtienen en nuestro país en condiciones de intemperie se destinan al mercado nacional, debido a su baja calidad, en tanto

**FIGURA 5. PLANTAS DE INTERIOR**

**DRACENAS**



**FILODENDROS**

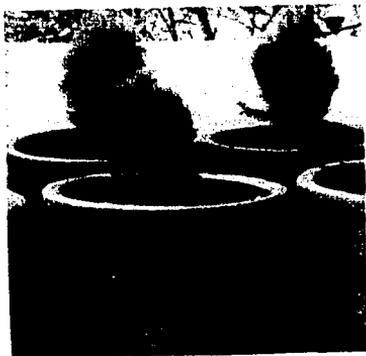


**AMOENAS**

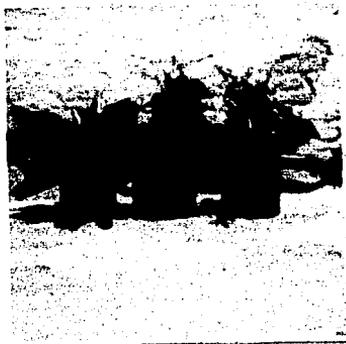


**FIGURA 6. PLANTAS DE EXTERIOR**

**TUYAS**



**CROTOS**



**FICUS**



**FIGURA 7. PLANTAS TIPO FOLLAJE**

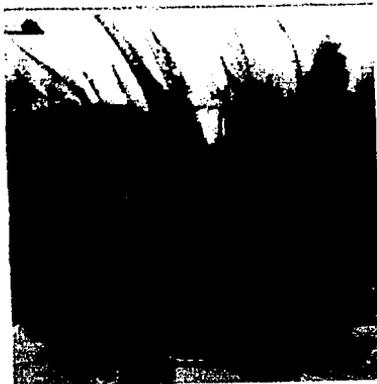
**PALMAS**



**ESPÁRRAGOS**



**HELECHOS**



que la producción lograda bajo condiciones de invernadero solo una cuarta parte se exporta, principalmente a los E.U.A.

La producción de plantas ornamentales ha venido creciendo muy lentamente debido a los siguientes factores:

1.- La producción comercial de plantas ornamentales ha sido en México prácticamente una actividad elitista, reservada a los productos que disponen de recursos económicos suficientes que permiten respaldar y obtener financiamientos de la banca específicos para ese fin, así como para adquirir los conocimientos sofisticados que se requieren para llevar adelante con éxito esta actividad.

2.- Los técnicos especializados y con buena experiencia son muy escasos en nuestro país; muchos de ellos han adquirido sus conocimientos en el extranjero, por que sus servicios encarecen fuertemente y muchas de las veces representan una carga financiera excesiva para determinados proyectos.

3.- La información y la experiencia que se genera sobre esta actividad es guardada muy celosamente por los técnicos y productores especializados, por lo cual prácticamente no existe un efecto divulgador hacia nuevos productores y especialistas.

4.- No existen programas de estudio universitarios especializados -a excepción de la Universidad de Morelos-, que permiten generar una tecnología propia, de acuerdo a nuestras condiciones ambientales, humanas y técnicas.

**5.- Las inversiones necesarias para producir ornamentales bajo condiciones de invernadero son muy fuertes, en comparación a otras líneas de producción.**

De esta manera, aún para una superficie relativamente pequeña cubierta de invernadero, se requiere de fuertes inversiones que es necesario atender con créditos bancarios o con recursos de otras fuentes de financiamiento o propios, dependiendo de las políticas prioritarias de desarrollo agropecuario que existan. Desafortunadamente no siempre el productor está preparado para convertirse en sujeto de crédito. Por fortuna contamos con grandes ventajas que estamos seguros permitirán a corto plazo producir y comercializar exitosamente aquellas especies como demanda exterior, particularmente las flores de corte, como la rosa, el clavel y el crisantemo.

Entre las ventajas que podemos mencionar para el incremento del sector florícola, tenemos:

**1.- Gran diversidad de microclimas adecuados para la producción de diversas especies a costos rentables.**

**2.- Proximidad al gran mercado de los Estados Unidos de América, país en el que existe una gran demanda de flores de corte y que es deficitaria, principalmente durante el invierno. Esta proximidad permitirá a México ser más competitivo en precios, en relación a otros países sudamericanos que exportan actualmente flores a los E.U.A. ya que podríamos usar transportación terrestre y la aérea sería relativamente barata.**

3.- Los costos de producción que se tienen en los Estados Unidos de América, son muy elevados, básicamente por la mano de obra y por los energéticos, conceptos de que se dispone a precios razonables

4.- Existen programas y recursos económicos suficientes para apoyar un programa de financiamiento a la horticultura ornamental de exportación.

### **B. NIVELES TERMICOS CARACTERISTICOS DEL CULTIVO**

Todo ciclo productivo de un cultivo tiene lugar en un entorno térmico que normalmente encierra un nivel óptimo de temperatura. Por lo tanto, el ideal para la producción agrícola es que la planta esté sometida en cada momento de su ciclo a dicha temperatura óptima.

Existen diferentes niveles de temperatura característicos de cada material vegetal, que se definen a continuación:

1.- Temperatura Mínima Letal.- Es aquella que produce daños irreversibles a la planta con posibilidad de muerte de la misma en caso de duración prolongada. En la tabla 1 los valores más altos de este nivel térmico se refieren a los estados de mayor actividad fisiológica. En casos en los que el invernadero no cuenta con apoyo térmico es necesario que la probabilidad de que se alcance dicha temperatura sea mínima.

2.- Temperatura Mínima Biológica o Cero Vegetativo.- Es la temperatura por debajo de la cual la planta interrumpe su actividad vegetativa alcanzándose el crecimiento cero.

3.- **Temperaturas Óptimas Diurna y Nocturna.**- El óptimo de temperatura al que una planta puede ser cultivada varía en función de :

- a) Especie, cultivo y clon.
- b) Energía luminosa disponible.
- c) Disponibilidad de agua ; está influenciada por las propiedades físicas y químicas del sustrato, por sistema de riego, por las prácticas de cultivo, etc.
- d) Estado de desarrollo de la planta y edad de la misma.
- e) Nutrición y prácticas de fertilización.
- f) Concentración en CO<sub>2</sub>

De la complejidad del conjunto de factores enunciados se deriva la dificultad de estimar exactamente cual debería ser el nivel térmico óptimo para el cultivo. En la tabla 1 se citan los valores aproximados de este nivel térmico para diferentes cultivos.

4.- **Temperatura Máxima Biológica.**- Por encima de esta temperatura el cultivo comienza a manifestar desequilibrios fisiológicos y sobre todo disminución del crecimiento y producción. El sombreado, la ventilación (natural o forzada) y la refrigeración son los sistemas normalmente empleados para mantener la temperatura por debajo de estos valores.

**TABLA 1. NIVELES TERMICOS DE CULTIVO PARA FLORICULTURA<sup>1</sup> (°C)**

	Temperatura mínima letal	Temperatura mínima biológica	Temperatura óptima		Temperatura máxima biológica	Temperatura de germinación	
			noche	día		mínima	óptima
Clavel	(-4) - 0	4 - 6	10 - 12	18 - 21	26 - 32	-	-
Rosa	(-6) - 0	8 - 10	14 - 16	20 - 25	30 - 32	-	-
Gerbera	0 - 2	8 - 10	13 - 15	20 - 24	-	-	20 - 22
Gladiolo	0 - 2	5	10 - 12	16 - 20	-	6 - 8	-

<sup>1</sup> Esta tabla se muestra más completa en el Anexo I

### C. HISTORIA DE LA ROSA

Desde los tiempos más remotos hasta nuestros días, ninguna especie ornamental arbustiva como el rosal ha ejercido tan poderoso atractivo por la abundancia de sus floraciones, por la belleza de las flores, por los coloridos tan diversos y por sus perfumes. Los rosales más antiguos encontrados hasta ahora tienen más de treinta millones de años.

Las especies silvestres, con sus rudimentarias y sencillas flores, nos ofrecen también su elegancia, lo que fue motivo para que desde muy antiguo el hombre amante de las flores, las arrancara de su estado silvestre para cultivarlas, con el afán de mejorarlas, en cuyo logro ha conseguido superar a todas las otras especies ornamentales.

Aunque muy difícil de determinar cual es la verdadera cuna y origen del cultivo del rosal, puede asegurarse que se inició en China con sus remotas civilizaciones, desde donde se extendió más tarde al Oriente Medio, y en época más reciente por Europa.

El cultivo del rosal en Grecia y la Roma antiguas es citado por algunos autores contemporáneos de aquellas épocas, como Horacio, Plinio y Teofrasto, que nos hablan del cultivo de la rosa por los grandes patricios romanos, que se gastaban enormes sumas de dinero en su cultivo, a fin de obtener las mejores rosas y en las distintas épocas del año.

Los paladines de la antigua caballería romana tomaban las rosas según su color como emblema de sus legiones, costumbre que se mantuvo hasta el final del imperio, colocándolas en sus armas para manifestar con ellas el símbolo de la dulzura y el valor en los combates, considerándose muy honrados que se les distinguiera por su bravura y heroísmo mediante una corona de rosas.

En el siglo XII, los Papas bendecían cada año, en el día de viernes santo, una rosa de floración sencilla y de oro, como distinción soberana, Guillermo de Escocia y Luis el Joven de Francia recibieron de las manos del Papa Alejandro II, cada uno, una rosa como ofrenda.

En 1227, la Reina Blanca de Castilla, Viuda de Luis VIII y Madre de Luis IX, impuso en París, para celebrar un aniversario, el baile denominado "Baile de las Rosas", que se celebraba cada año en el día primero de mayo, consistente en ofrendar un ramo de rosas al soberano por parte del par más joven de la corte, costumbre que continuó celebrándose hasta el reinado de Enrique III, en 1589.

La Isla de Rodas debe su etimología a las rosas, ya que con motivo del gran cultivo que de ellas se hacía fue denominada antes la isla de las Rosas.

En el siglo XV, Inglaterra fue teatro de una lucha sangrienta entre la casa York, cuyo emblema consistía en una rosa blanca y la de Lancaster, que poseía una roja encarnada en el suyo, conocida en la historia por la "Guerra de las Rosas", cuya reconciliación fue celebrada por el roserista Mieller bautizando una rosa nueva por él obtenida, que representaba los dos colores del emblema de la disputa.

No obstante el interés demostrado por el cultivo de los rosales en Europa, y por desconocerse las leyes de la genética descubiertas por Mendel, el cultivo quedaba limitado a las especies silvestres, no evolucionando técnicamente hasta los primeros años de pasado siglo al popularizarse en Europa un gran número de especies importados de la China y la India en particular, y otras procedentes de las regiones de la costa Mediterránea.

La India, Persia, Turquía, Egipto, España y otros países conocieron la rosa a todo lo largo de su historia. Las propiedades medicinales de la rosa también desempeñaron un papel importante en la terapéutica antigua pues se conocían varios remedios, con los cuales se

enriqueció la antigua farmacopea. El agua y la esencia de rosas son muy conocidas y se emplea en perfumería desde hace muchos siglos. También la rosa ha tenido preponderante influencia en arte y religión, tanto por la belleza y pureza de sus formas como por el efecto que produce su contemplación y que lleva a reflexiones sanas y profundas.

El interés creciente del cultivo del rosal tomó grandes vuelos al descubrirse científicamente la forma de obtener nuevas razas y variedades por medio del hibridismo, ciencia de mayor interés cada día y que ha dado lugar a la obtención de extraordinario número de variedades con que actualmente contamos, año tras año aumentadas por los genetistas con sus nuevas obtenciones.

El culto de las rosas tiene fervientes adeptos en Francia, se la consideró digna de tener un día destinado a ella, al que se pensó convertir en fiesta nacional. En Estados Unidos el primer día del año en Miami se celebra el tradicional "Desfile de las Rosas". En Bulgaria, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Rumania y Turquía donde la rosa es la flor nacional, son los países donde el interés por esta planta es más vivo y donde se logran las mejores variedades.

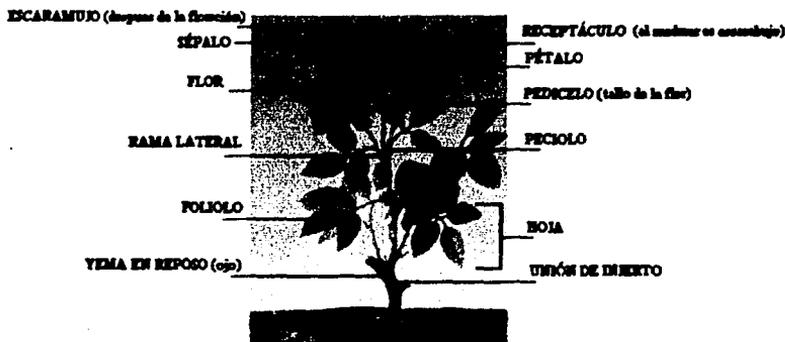
La rosa, considerada como la reina de las flores, ha sido utilizada en todos los tiempos como emblema y ofrenda durante la vida del hombre, y como homenaje y recuerdo póstumo después de su muerte.

#### **D. DESCRIPCION BOTANICA DE LA ROSA**

El rosal pertenece a la familia de las rosáceas, y se caracteriza por tener hojas caducifolias y en ocasiones semi-perennes, dependiendo del clima y de las condiciones

ambientales del lugar. Las flores están formadas por un cáliz (parte inferior de la flor, de color verde), una corola (verdadera flor) y numerosos estambres. El fruto es carnoso y de color rojo o amarillo durante su maduración, semejando un tejocote. Las hojas son compuestas y presentan 3 a 5 folíolos, o "pequeñas hojas", que son los que muchas veces se confunden con la hoja verdadera. La orilla de los folíolos es aserrada. (figura 8).

FIGURA 8. PARTES DE LA PLANTA



Existen rosales de diferentes tipos, de los cuales los más importantes son denominados Té Híbrido y el conocido como "floribunda". El tipo "Té Híbrido" produce flores de tamaño grande en la parte terminal de cada tallo. Si por alguna razón se llegan a tomar flores laterales, deberán eliminarse. Las flores son de color rojo, rosado, blanco, amarillo y otros como escarlata y naranja, en orden de preferencia.

El tipo floribunda produce flores más pequeñas, razón por la que en ocasiones se permite que las flores laterales se conserven, obteniéndose flores adicionales que alcanzan buen precio en los mercados, debido a que duran bastante después del corte. En este tipo, las flores más populares son las de color rosa, seguidas por las rojas, por las amarillas y por último por las blancas.

Los tipos floribunda producen cantidad de flor que los del tipo Té Híbrido.

### **E. TIPOS DE ROSAL Y VARIEDADES DE INVERNADERO E INTEMPERIE.**

Atendiendo a su hábito de crecimiento y características fenológicas, los rosales pueden ser de los siguientes tipos:

- 1.- De tallo bajo, arbustivo y de grandes flores.
- 2.- Trepadores o sarmentosos.
- 3.- Floribundos o poliantos.
- 4.- De pie alto o en forma de árbolito.
- 5.- Parasolados o pendulones.
- 6.- Miniaturas o bonsai.

Las variedades de invernadero y su color.

- |              |        |
|--------------|--------|
| 1.- Samantha | (roja) |
| 2.- Royalty  | (roja) |

- |                      |            |
|----------------------|------------|
| 3.- Rose Dot         | (roja)     |
| 4.- Dutchess         | (rosa)     |
| 5.- Sonia            | (rosa)     |
| 6.- Pink Sensation   | (rosa)     |
| 7.- Yellow Fantasy   | (amarilla) |
| 8.- Town Crier       | (amarilla) |
| 9.- White Satin      | (blanca)   |
| 10.- White Butterfly | (blanca)   |

**Las variedades de intemperie y su color**

- |                     |              |
|---------------------|--------------|
| .1.- Forever Yours  | (roja)       |
| 2.- Mister Lincon   | (roja)       |
| 3.- Tamora          | (roja)       |
| 4.- Moctezuma       | (anaranjada) |
| 5.- Yold            | (amarilla)   |
| 6.- Bettina         | (amarilla)   |
| 7.- Carina          | (rosa)       |
| 8.- Queen Elizabeth | (rosa)       |
| 9.- White Queen     | (blanca)     |

Los porta injertos o patrones de la rosa:

- 1.- DE INTEMPERIE.- Rosal garambullo o silvestre (rosa SPP).
- 2.- DE INVERNADERO.- Rosa Mannety y rosa canina.

## **F. DIFERENCIAS ENTRE EL CULTIVO DEL ROSAL**

### **BAJO INVERNADERO Y A LA INTEMPERIE.**

#### **BAJO INVERNADERO:**

- 1.- Posibilidad de producción de rosas cortadas en invierno, cuando alcanza un precio elevado.
- 2.- Alternativa de programación de la cosecha durante todo el año, para poder producir más flores en épocas de buena venta.
- 3.- Obtención de rosas cortadas de alta calidad y mucha duración en el florero, después del corte.
- 4.- Mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua de riego.
- 5.- Control absoluto de la temperatura, humedad y otros.
- 6.- Mayor control sobre plagas y enfermedades.
- 7.- Protección contra los fenómenos de heladas y granizadas.
- 8.- Posibilidad de practicar un cultivo forzado (intensivo).

#### **A LA INTEMPERIE**

- 1.- La mayor producción de rosas cortadas ocurre en Mayo que es cuando alcanza el precio más bajo (estacionalidad de producción).

- 2.- No se puede programar la cosecha durante todo el año.
- 3.- Obtención de rosas cortadas en mediana calidad y poca duración después del corte.
- 4.- Menor eficiencia en el aprovechamiento de agua de riego, debido a la alta evaporación del suelo y a la evapo-transpiración.
- 5.- No se tiene control sobre la temperatura ni sobre la humedad.
- 6.- Mayor incidencia de plagas y enfermedades.
- 7.- Son muy perjudiciales los fenómenos de heladas, granizadas, vientos fuertes y otros.
- 8.- Cultivo de baja densidad de población por hectáreas a fin de poder penetrar en las labores.

## **CAPITULO III: GENERALIDADES**

### **A. CONCEPTO DE AIRE ACONDICIONADO**

Acondicionar el aire es controlar su temperatura, humedad, distribución y pureza.

El objetivo es proporcionar comodidad a los ocupantes de residencias, teatros, escuelas, etc. o bien en la industria mantener productos alimenticios, productos químicos etc. a muy bajas temperaturas para evitar que se contaminen.

### **B. CONCEPTOS BÁSICOS**

1.- AIRE ATMOSFERICO.- El aire es una mezcla de gases, que cuando esta seco tiene la siguiente composición:

- Nitrógeno	78.03 %
- Oxígeno	20.99 %
- Argón	0.94 %
- Bióxido de Carbono	0.03 %
Y los siguientes gases que componen el	0.01 %

- Hidrógeno
- Xenón
- Kriptón
- Otros

Estos datos se refieren al aire seco, pero la humedad puede variar de 0 al 4%.

El aire contiene, normalmente muchas impurezas, como gases, sólidos, polvos, etc. en proporciones que dependen de varios factores. Se supone que en lugares montañosos y en el mar el aire es más puro, aunque los vientos también llevan consigo algunas impurezas. Tales como:

- Humos de sulfuros
- Humos de ácidos
- CO<sub>2</sub>
- Cenizas
- Minerales
- Vegetales
- Animales
- Microorganismos

**2.- CAPACIDAD CALORIFICA.-** Es la capacidad de un cuerpo para absorber calor. La capacidad calorífica de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado de temperatura de la unidad de masa de la misma sustancia. En ingeniería, las unidades usadas, son BTU por lbm por grado F. La capacidad calorífica de la mayoría de las sustancias varía con la temperatura, pero se pueden usar valores medios en intervalos limitados de temperatura.

La capacidad calorífica es comúnmente conocida como calor específico, por lo que utilizaremos en adelante este nombre.

En el caso de los gases, son de importancia dos calores específicos, el calor específico a presión constante ( $c_p$ ), y a volumen constante ( $c_v$ ).

Para fines prácticos se usa:

Calor específico a presión constante:

$$c_p = 0.2415 \text{ ó } 0.24 \text{ BTU} \cdot (\text{lb} \cdot ^\circ\text{F})^{-1}$$

Para fines que requieren precisión:

$$c_p = 0.24112 + 0.009 t \quad \text{-----}(1)$$

Donde  $t$  = temperatura en  $^\circ\text{F}$

Calor específico a volumen constante:

$$c_v = 0.1714 \text{ BTU} \cdot (\text{lb} \cdot ^\circ\text{F})^{-1}$$

3.- PESO ESPECIFICO ( $w$ ) .- El peso específico de una sustancia es su peso por unidad de volumen, medido en  $\text{lb} \cdot \text{pie}^{-3}$ .

Peso del aire seco:  $0.07496 \text{ lb} \cdot \text{pie}^{-3}$  (a  $70 \text{ }^\circ\text{F}$  y  $29.92$  pulgadas de Hg)

4.-VOLUMEN ESPECIFICO ( $v$ ) .- El volumen específico es el recíproco del peso específico o sea:

$$v = \frac{1}{w} \quad \text{-----}(2)$$

Para  $t = 70 \text{ }^\circ\text{F}$  y  $P = 29.92$  pulgadas de Hg:

$$v = \frac{1}{0.07496} = 13.34 \text{ pies}^3 \cdot \text{lb}^{-1} \quad (\text{aire seco})$$

El volumen específico y la densidad de un vapor o gas son influenciados tanto por la presión como por la temperatura.

5.- **HUMEDAD ABSOLUTA O DENSIDAD ( $d_a$ ).**- Se conoce con el nombre de "Humedad" a la mezcla de vapor de agua con aire seco en la atmósfera. El peso de vapor de agua expresado en libras o granos por cada pie cúbico de espacio se llama "Humedad absoluta" o Densidad del vapor de agua" y se representa como  $d_a$  cuando el aire no esta saturado y  $d_s$  cuando si lo está.

6.- **HUMEDAD ESPECIFICA O RELACION DE HUMEDAD ( $W_r$ ).** - Se llama "Humedad especifica" al peso del vapor de agua expresado en libras o granos, asociado con cada libra de aire seco. Se representa como  $W_r$  cuando la mezcla no esta saturada y como  $W_s$  cuando si lo esta. Algunas veces se designa a la humedad especifica por el término "Relación de humedad".

Puede recurrirse a la ley de los gases perfectos para calcular la relación de humedad, tanto el vapor de agua como el aire, pueden suponerse gases perfectos (obedecen) a la ecuación  $PV = RT$  y tienen calores especificos constantes. En las aplicaciones corrientes de acondicionamiento de aire.

Para cualquier presión barométrica dada, la relación de humedad es sólo función de la temperatura de PR (PR significa punto de rocío, su significado lo veremos más adelante). Sin embargo la relación de humedad correspondiente a cualquier temperatura de PR dada varía con la presión barométrica total, aumentándose a medida que la presión barométrica disminuye. La razón de estos se explica con facilidad. De acuerdo con las leyes del gas ideal, el volumen por unidad de masa de aire aumentará si disminuye la presión barométrica total. Debido inversamente con el volumen se deduce que la masa de vapor de agua necesaria para

producir un vapor de cierta densidad y presión aumentará a medida que aumente el volumen del aire.

Para obtener la relación de humedad partiremos de la ecuación:

$$PV = mRT \quad \text{-----}(3)$$

Donde:  $m = \text{Masa}$

$R = \text{Constante de gases}$

$T = \text{Temperatura}$

$P = \text{Presión}$

$V = \text{Volumen}$

Por lo tanto si despejamos el volumen tenemos:

$$V = \frac{mRT}{P} \quad \text{-----}(4)$$

Ahora si:

$$P = P_a = P_b - P_w \quad \text{-----}(5)$$

Donde:  $P_a = \text{Presión parcial de aire seco}$

$P_b = \text{Presión barométrica}$

$P_w = \text{Presión parcial del vapor de agua correspondiente al punto de rocío}$

y  $R = 53.34 \text{ lb}_f \cdot \text{pie} \cdot (\text{lb} \cdot ^\circ\text{R})^{-1} \quad (\text{aire})$

Sustituyendo (5) y R del aire en (4)

$$V = \frac{53.34 \times T}{P_b - P_w} \text{-----(4.a)}$$

El peso del vapor en el volumen ocupado por una lb de aire seco es:

$$W_v = \frac{P_w \times V}{RT} \text{-----(6)}$$

Donde:

$$R = 85.77 \text{ lb}_r \cdot \text{pie} \cdot (\text{lb} \cdot ^\circ\text{R})^{-1} \quad (\text{vapor de agua})$$

Sustituyendo (4.a) y R del vapor de agua en (6)

$$W_v = \frac{P_w \times 53.34 \times T}{58.77 \times T \times P_b - P_w} = 0.622 \frac{P_w}{P_b - P_w} \text{-----(6.a)}$$

7.- HUMEDAD RELATIVA ( $\Phi$ ) .- La humedad relativa se define como la relación de la presión parcial del vapor de agua contenido en el aire a la presión que ejerce el vapor de agua saturado a la temperatura del aire. para temperaturas menores de 150 °F, se tiene la siguiente definición equivalente a la que pudiera ser considerada como una definición más rigurosa: Humedad relativa es la relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad de saturación a la temperatura del aire.

$$\Phi = \frac{P_v}{P_d} \times 100 = \frac{d_v}{d_d} \times 100 \text{-----(7)}$$

Donde:  $\Phi$  = Humedad relativa expresada en forma decimal

$P_v$  = Presión parcial del vapor de agua

$P_d$  = Presión de saturación del vapor de agua

$d_v$  = Densidad existente del vapor de agua

$d_d$  = Densidad del vapor saturado

**8.- TEMPERATURA DE BULBO SECO (BS).**- La forma más usual de medir la temperatura es emplear un termómetro de mercurio. En la terminología del aire acondicionado se le suele llamar "Termómetro seco", ó "Temperatura de bulbo seco".

**9.- TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO (BH).**- A un termómetro de mercurio se le envuelve un paño húmedo con agua destilada. A continuación se coloca el termómetro a la corriente de aire de un ventilador o se desplaza rápidamente en el aire con la mano durante varios segundos. La evaporación del agua del paño mojado absorbe calor del bulbo y la columna de mercurio desciende en función de la evaporación. En una atmósfera seca la lectura del bulbo húmedo será más baja que la temperatura leída en el bulbo seco. En el aire saturado, no obstante, no habrá evaporación y la temperatura de bulbo húmedo será la misma que la del bulbo seco. La diferencia entre las lecturas del bulbo seco y del bulbo húmedo será más acentuada cuando más seca sea la atmósfera y así se obtiene una indicación de la humedad. Esta diferencia es conocida como depresión del bulbo húmedo.

**10.- TEMPERATURA DE ROCIO O PUNTO DE ROCIO (PR).**- La temperatura de rocío indica la cantidad de humedad contenida en el aire. Es la temperatura a la cual el aire se satura cuando se enfría, suponiendo que no hay aumento ni disminución de humedad, y esta expresada en grados Fahrenheit o Centígrados.

La temperatura de rocío no se puede cambiar sino se aumenta o disminuye la humedad del aire aunque se aumente o disminuya el calor.

Si el aire se enfría a una temperatura menor que la de rocío, empieza la condensación y se establece una nueva temperatura de rocío.

En conclusión la temperatura de rocío depende solamente del peso del vapor de agua presente en el aire en cuestión.

11.- ENTALPIA (H) .- La entalpia es una propiedad calculable de la materia que algunas veces ha sido muy pobremente definida como "calor total" ó "contenido de calor", más específicamente la entalpia de una masa dada de un material a una condición termodinámica conocida es la suma de todas las energías, suministradas a la misma para mantenerla en su condición actual con respecto a una condición inicial conocida arbitrariamente como punto de entalpia cero.

Mientras que la entalpia total representa la entalpia de  $n$  libras, la entalpia específica ( $h$ ) es la entalpia de una libra, que en esencia es la que se usa comúnmente.

Matemáticamente se define a la entalpia como:

$$h = u + \frac{Pv}{J} \text{-----}(8)$$

Donde:  $h$  = Entalpia específica en BTU por libra

$u$  = Energía interna en BTU por libra

$P$  = Presión absoluta en libras por pie cuadrado

$v$  = Volumen específico en pies cúbicos por libras

$J$  = Equivalente de energía mecánica (778 pies libra · BTU<sup>-1</sup>)

a) ENTALPIA DEL AIRE.- El aire tiene entalpia sensible y entalpia latente. La entalpia del aire a cualquier condición es la suma de la entalpia sensible y la entalpia latente contenidos en el mismo.

El cambio de entalpia de una libra de aire seco (hs) al variar la temperatura de T1 a T2 tiene un valor de:

$$h_s = C_p (T_2 - T_1) \text{-----(9)}$$

Donde:  $C_p$  = Calor específico del aire (0.24 BTU·(lb·°F)<sup>-1</sup>)

$T_1$  = Temperatura inicial en °F

$T_2$  = Temperatura final en °F

En las siguientes secciones se verán que: 1) la entalpia sensible del aire es una función de la temperatura del BS, 2) la entalpia latente del aire es una función de la temperatura de PR y 3) la entalpia total del aire es una función de la temperatura de BH.

**12.- ENTALPIA SENSIBLE.-** El calor que puede sentirse o medirse se llama entalpia sensible. Este es el calor que causa un cambio en la temperatura de una sustancia, pero no un cambio en el estado. La sustancia bien sea en estado sólido, líquido, o gaseoso, contiene entalpia sensible, en algún grado, siempre que su temperatura esté por encima del cero absoluto.

**a) ENTALPIA SENSIBLE DE LOS SOLIDOS.-** Para entender mejor la energía (interna) molecular, considérese el efecto progresivo de energía suministrado a una sustancia sólida, cuya condición termodinámica inicial es tal que su temperatura es cero absoluto (0°R). Teóricamente, bajo esta condición las moléculas de la sustancia no tiene energía y están por completo en reposo.

Cuando se le suministre energía al sólido, ya sea como calor o como trabajo, las moléculas empiezan con lentitud a vibrar y la temperatura del sólido empieza a aumentar. Si continua el suministro de energía continuará aumentando el movimiento molecular y la temperatura hasta llegar a la temperatura de fusión. La cantidad total de energía necesaria para aumentar la temperatura del sólido desde una condición inicial cero absoluto hasta la temperatura de fusión; se le conoce como entalpia sensible del sólido y puede obtenerse a partir de la siguiente relación:

$$Q = m C_p (T_2 - T_1) \quad \text{-----}(10)$$

Donde:  $Q$  = Cantidad de energía térmica en unidades térmicas británicas

$m$  = Masa en libras

$C_p$  = Calor específico en  $\text{BTU} \cdot (\text{lb} \cdot ^\circ\text{F})^{-1}$

$T_1$  = Temperatura inicial en  $^\circ\text{F}$

$T_2$  = Temperatura final en  $^\circ\text{F}$

Debemos tener en cuenta que el fenómeno descrito anteriormente también se puede llevar acabo en un gas por lo cual la ecuación anterior también sería válida para los gases.

b) ENTALPIA SENSIBLE DEL AIRE.- Para cualquier temperatura de BS la entalpia sensible del aire es considerado como la entalpia del aire seco a dicha temperatura restada de  $0^\circ\text{F}$  puede calcularse a partir de la ecuación de entalpia sensible (Ec. 9).

Para este cálculo en particular, el término  $(T_2 - T_1)$  en la ecuación mencionada será numéricamente igual a la temperatura del BS del aire, por lo que la ecuación 9 puede escribirse como sigue:

$$h_s = (0.24) (BS) \text{-----}(11)$$

Donde :  $h_s$  = Entalpia específica del aire seco por libra de aire seco en BTU por lb

Para calcular la entalpia sensible total de  $m$  libras de aire (Entalpia del aire seco).

$$H_s = m (0.24) (BS) \text{-----}(12)$$

La cantidad de calor transferido cuando cualquier masa dada de aire es calentada o enfriada entre cualquier temperatura del BS inicial y final es también una función del calor sensible (Ec. 10) y como el calor específico a presión constante es  $0.24 \text{ BTU} \cdot (\text{lb} \cdot \text{F})^{-1}$  la ecuación se puede escribir como sigue:

$$Q_s = m (0.24) (\Delta BS) \text{-----}(13)$$

Donde:  $Q_s$  = Calor sensible transferido en BTU

$m$  = Masa del aire seco en lb

$\Delta BS$  = Diferencia de temperaturas BS inicial y final en °F

**13.- ENTALPIA LATENTE.-** Es la cantidad de calor necesario para cambiar el estado de un cuerpo " sin alterar su temperatura".

Es ley fundamental que cuando un cuerpo cambia su estado de sólido a líquido, o bien del líquido a vapor, este proceso, aunque no va acompañado de un cambio de temperatura perceptible, tiene por resultado la absorción de cierta cantidad de calor. Este calor permanece oculto o latente, de ahí su denominación.

Aplicando una determinada cantidad de calor a un cuerpo sólido se funde convirtiéndose en líquido (las moléculas se han separado y un movimiento es acelerado por el calor absorbido). Al calor absorbido se le llama entalpia latente de fusión.

Añadiendo más calor al líquido obtenido se logrará su conversión a vapor al incrementarse el movimiento molecular. El calor que absorbe se llama entonces entalpia latente de vaporización.

a) ENTALPIA LATENTE DEL AIRE.- Debido a que todos los componentes del aire no son condensables a temperaturas y presiones normales. Para todos los fines prácticos, la única entalpia latente contenida en el aire, es la entalpia latente del vapor de agua contenido en el mismo. Por lo tanto, la cantidad de entalpia latente en la cantidad dada de aire dependerá de la masa de vapor de agua contenida en el aire y del calor latente de vaporización del agua correspondiente a la temperatura de saturación del vapor de agua.

Puesto que la temperatura de saturación de vapor de agua es también la temperatura del PR del aire, se deduce que la temperatura del PR determina no sólo la masa del vapor de agua en el aire sino además la entalpia latente del aire sólo en función de la temperatura del PR. En tanto que la temperatura del PR permanezca constante, la cantidad sensible involucrada es relativamente pequeña, el error en que se incurre al suponer que todo el calor del vapor de agua sea la entalpia latente, no es de mayores consecuencias.

La entalpia latente de cualquier masa de aire puede calcularse por la siguiente ecuación:

$$h_L = m (w \times h_w) \text{-----}(14)$$

Donde:  $h_L$  = Entalpia latente de cualquier masa dada de aire seco con una

relación de humedad  $w$  en BTU.

$m$  = Masa de aire seco en libras

$w$  = Relación de Humedad en libras de agua x libras de aire seco.

$hw$  = Entalpia específica del vapor de agua del aire, por lo general se considera como la entalpia de vapor de agua saturada ( $h_g$ ) a una temperatura igual a la temperatura del PR del aire de BTU por libra.

*NOTA: Es importante notar que en cualquier mezcla de aire seco y vapor de agua, la masa del aire ( $m$ ) es tomada como la masa de aire seco, de modo que para  $m$  libras de aire la masa verdadera del aire (mezcla de aire seco - vapor de agua) es  $m$  libras de aire seco más la masa de vapor de agua en la mezcla.*

La cantidad de calor latente ( $Q_L$ ) transferido a, o cedido por una masa de aire conocida de acuerdo al vapor de agua agregado o eliminado, respectivamente, puede calcularse multiplicando la masa de aire (seco) por la diferencia de entalpia latente por libra de aire de acuerdo a las condiciones inicial y final, esto es:

$$Q_L = m (h_{L,2} - h_{L,1}) \text{-----}(15)$$

Donde los subíndices 1 y 2 indican, respectivamente las condiciones inicial y final del aire.

Cuando se obtiene un signo negativo en la ecuación 15 nos indica que en lugar de ser agregado el calor latente es eliminado. En la práctica el signo negativo por lo general es omitido.

**14 .- ENTALPIA TOTAL .-** La entalpia total del aire es la suma de entalpia sensible del aire (Entalpia del aire seco) y la entalpia latente del aire (Entalpia del vapor de agua) de modo que para 1 lb de aire.

$$h_t = h_s + h_L \quad \text{-----(16)}$$

Donde:  $h_t =$  Entalpia del aire húmedo en  $\text{BTU}\cdot\text{lb}^{-1}$

$h_s =$  Entalpia del aire seco en  $\text{BTU}\cdot\text{lb}^{-1}$

$h_L =$  Entalpia del vapor de agua en  $\text{BTU}\cdot\text{lb}^{-1}$  de aire seco

Para m libras de aire.

$$H_t = m (h_t) \quad \text{-----(17)}$$

Donde:  $H_t$  es la entalpia de m libras de aire.

El calor total transferido ( $Q_t$ ) a, o del aire cuando es calentado o enfriado respectivamente, puede obtenerse de la siguiente relación:

$$Q_t = m (h_{t,2} - h_{t,1}) \quad \text{-----(18)}$$

Donde los subindices 1 y 2 indican las condiciones inicial y final del aire en este orden.

Cuando la entalpia de la condición 1 es mayor que en la condición 2, el resultado será negativo indicando con ello que el calor es cedido por el aire, en lugar de dárselo al aire. En la práctica por lo general se omite el signo negativo.

**15.- ENERGÍA INTERNA (U) .-** La suma de las energías de todas las moléculas en un sistema, energías que aparecen en varias formas complejas, es la energía interna. En forma general, la energía interna de unas sustancias dependen de la temperatura y el volumen.

Un cuerpo tiene energía interna resultante de su velocidad (causada por la temperatura) y posición o configuración de las moléculas (volumen) que constituyen al cuerpo.

Las moléculas de cualquier material pueden poseer tanto energía cinética como energía potencial. La energía interna total de un material es la suma de sus energías cinéticas y potencial.

Esta relación se muestra por la ecuación.

$$U = K + P \quad \text{-----(19)}$$

Donde:  $U =$  Energía interna total

$K =$  Energía cinética interna

$P =$  Energía potencial interna

a).- **ENERGÍA CINÉTICA INTERNA (K)** .- La energía cinética interna es la energía del movimiento o velocidad de las moléculas. Cuando se transmite energía a una sustancia se incrementa el movimiento o velocidad de las moléculas, se incrementa la energía cinética interna de la sustancia y este incremento se refleja en un aumento en la temperatura de la sustancia. A la inversa, si se disminuye la energía cinética interna de la sustancia por la pérdida de energía, el movimiento de las moléculas disminuye y al mismo tiempo disminuye la temperatura.

b).- **ENERGÍA POTENCIAL INTERNA (P)**.- La energía potencial interna es la energía de separación molecular o de configuración. Es la energía que tienen las moléculas en virtud de su posición de unas con respecto a otras. A mayor grado de separación molecular le corresponde la mayor energía potencial interna.

Es muy importante entender que en este caso la energía transferida al material no afecta su velocidad molecular (energía cinética interna): sólo es afectado el grado de separación molecular (energía potencial interna).

En conclusión la energía interna, la cual es almacenada en las moléculas o átomos de una sustancia es una forma de energía térmica.

16.- ENTROPÍA (S).- La entropía (S) de una determinada masa de material en una condición cualquiera dada, es una expresión de la energía total transferida al material por grado de temperatura absoluta para llevar al material a su condición real, desde un punto de referencia cero seleccionado arbitrariamente, esto se lleva a cabo mediante un proceso. Ahora bien, si el proceso ocurre en forma reversible, entonces la entropía total de los cuerpos que interactúan permanecen constante. Si el proceso es irreversible entonces la entropía total de los cuerpos que interactúan, aumenta siendo el grado de irreversibilidad y directamente proporcional al aumento de entropía.

Es conveniente expresar a la energía térmica transferida durante un proceso como el producto de dos factores, el concepto de entropía hace que esto sea posible. La energía térmica transferida durante un proceso puede ser expresada como el producto del cambio en entropía y la temperatura absoluta promedio. Matemáticamente la relación es expresada por la ecuación:

$$S = \frac{Q}{T_m} \text{-----(20)}$$

Donde: S = Cambio de entropía en BTU por libra grado Fahrenheit

Q = Energía térmica transferida en BTU por libra

T<sub>m</sub> = Temperatura absoluta promedio en grados Rankine

La relación definida por la ecuación anterior (20) es para un proceso reversible ideal.

Se puede decir que la entropía es la medida de eficiencia o rendimiento con que ocurre la transferencia de energía. Cabe señalar que con frecuencia se describe a la entropía como una medición de la energía no aprovechable. Ya que no toda la energía del sistema es aprovechada para efectuar trabajo.

### C. PSICROMETRÍA

1.- DEFINICIÓN DE PSICROMETRÍA.- La psicometría estudia las propiedades de las mezclas de aire y vapor de agua. La psicometría es importante por que como vimos anteriormente, el aire atmosférico no esta completamente seco, sino que es una mezcla de aire y vapor de agua. Todos los procesos de acondicionamiento del aire deben tener en cuenta la presencia del vapor de agua en el aire.

Psicometría es la ciencia que trata las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre la comodidad.

2.- CARTA PSICROMETRICA.- Hasta ahora se han visto todas las propiedades importantes de mezclas de aire y vapor de agua, como se relaciona entre sí y como pueden calcularse. Para simplificar los cálculos y para ilustrar los procesos se han trazado cartas psicométricas de inestimable valor que representan las propiedades del aire y vapor de agua a una determinada presión barométrica (o total).

En el esquema de la carta psicometría (Fig. 9) se muestra la construcción general de la carta y las relaciones entre algunas de las propiedades fundamentales del aire, obsérvese que las líneas verticales sobre la carta son líneas de temperatura BS constante, mientras que las

líneas horizontales son líneas de temperatura de PR constante y relaciones de humedad. Las líneas diagonales colocadas muy próximas entre sí son líneas de temperatura de BH constante y las líneas también inclinadas pero con mayor separación son líneas de volumen específico constante.

Las líneas curvas que se extienden del extremo inferior izquierdo hasta el extremo superior derecho de la carta son líneas de HR ( $\Phi$ ) constante. La línea curva que se extiende y limita a la carta sobre el lado izquierdo, es línea de HR 100% y se le conoce como curva de saturación. El aire que en cualquier condición se pueda designar con un punto sobre la curva de saturación, es el aire saturado, las demás líneas curvas sobre la carta, son de desviación de entalpía.

La desviación de entalpía es la diferencia que se tiene entre la entalpía específica real del aire, a una condición dada cualquiera y la entalpía específica del aire saturado a la misma temperatura de BH.

Sobre la curva de saturación se indican valores que son la intersección de las líneas de temperatura de BS y BH.

También se marcan en la base de la carta los valores de las temperaturas de BS, así como también se indican ahí mismo los valores correspondientes a las líneas de volúmenes específicos.

Sobre la curva de saturación se leen los valores de las líneas de temperatura de PR y sobre la misma línea en la escala de la derecha de la carta se leen las relaciones de humedad.

Siguiendo la línea de alguna temperatura de BH dada, podrá leerse en la escala colocada arriba de la curva de saturación el valor de la entalpía específica del aire saturado. Las desviaciones de entalpía se obtienen haciendo interpolaciones entre las líneas de desviación

de entalpia. La entalpia real o verdadera del aire a cualquier condición se obtiene sumando (algebraicamente) la desviación de entalpia a la entalpia de saturación.

En el margen superior derecho de la carta, se encuentra la escala de factor de calor sensible. Dicha escala nos sirve para obtener en forma directa el factor de calor sensible en el serpentín.

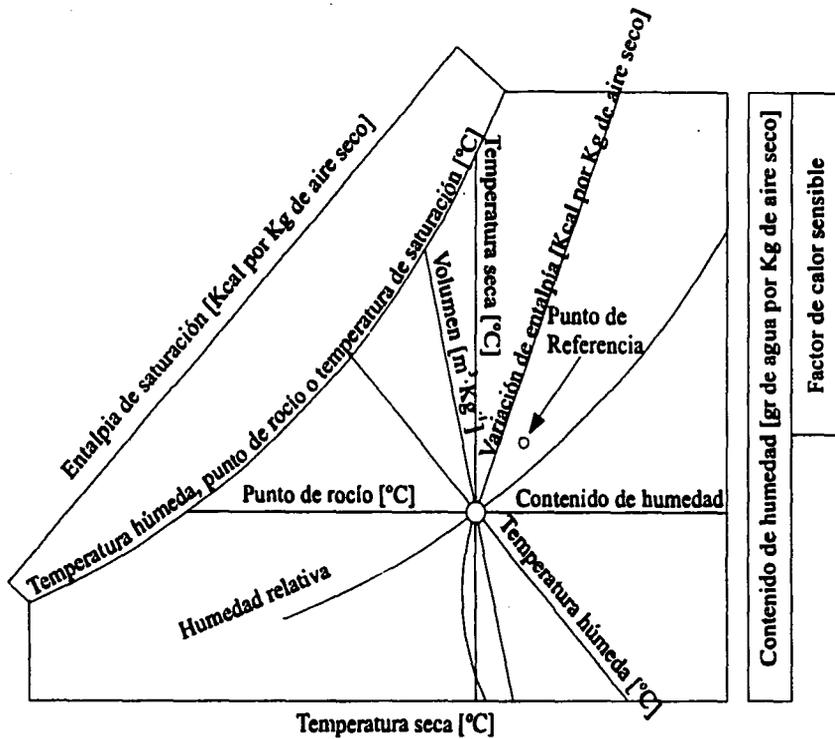
Situado a los 26.7 grados centígrados (BS) y a 50% de humedad relativa, tenemos el punto de referencia que es el que nos auxiliara para poder utilizar la escala de factor de calor sensible.

**3.- PROCESOS PSICROMÉTRICOS.-** Los procesos psicrométricos realizados por el aire pueden representarse gráficamente en una carta psicrométrica para una visión rápida. La carta se utiliza también para determinar en los procesos la variación de las propiedades significativas tales como; la temperatura, la relación de humedad y la entalpia.

Los procesos psicrométricos son:

- a) mezcla de aire
- b) calentamiento sensible
- c) enfriamiento sensible
- d) enfriamiento y deshumidificación
- e) enfriamiento y humidificación
- f) calentamiento y deshumidificación
- g) calentamiento y humidificación

FIG. 9 ESQUEMA GENERAL Y EMPEO DEL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO



**Volumen Específico:** Los  $m^3$  de aire húmedo que corresponden a 1 kilo de aire seco.

**Factor De Calor Sensible:** Relación entre los calores sensible y total.

**Punto De Referencia:** Situado a los 26.7 °C y 50% de humedad relativa, y que emplea junto con la escala de factores de calor sensible para dibujar las líneas del proceso de aire acondicionado.

**Kilos De Aire Seco:** Constituyen la base de todos los cálculos psicrométricos, y permanecen constantes durante todos los procesos. Las temperaturas secas, húmeda y de rocío y la humedad relativa están relacionadas en forma tal que cuando se conocen dos de ellas se pueden determinar las restantes. Cuando el aire está saturado, las temperaturas secas, húmeda y de rocío, son iguales.

**Temperatura Seca:** La temperatura que registra un termómetro ordinario.

**Temperatura Húmeda:** La temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está cubierto por una mecha húmeda y expuesto a una corriente rápida de aire.

**Temperatura De Rocío:** La temperatura a la cual empieza la condensación de humedad cuando el aire se enfría.

**Humedad Relativa:** Relación entre la presión de vapor de agua contenido en el aire, y la presión del vapor saturado a la misma temperatura.

**Humedad Específica, O Contenido De Humedad:** El peso de vapor de agua expresado en gramos por kilo de aire seco.

**Entalpia:** Cantidad de calor contenido en el aire contado a partir de los 0 °C.

**Variación De Entalpia:** Cualquiera que sea la temperatura considerada, la entalpia arriba mencionada se supone en la saturación. Para el aire no saturado, se tendrá que corregir utilizando la línea de variación de entalpia, en casos en los que es necesaria una gran precisión. En casos normales de acondicionamiento de aire se puede prescindir de dicha corrección. Al igual que la entalpia viene dada en  $kcal\text{-kg}^{-1}$  de aire seco.

### a) MEZCLA DE AIRE

Uno de los procesos psicrométricos más frecuentes, es la mezcla de dos o más corrientes de aire que tienen diferentes condiciones iniciales. En estos casos, la condición de la mezcla resultante se obtiene con facilidad a través de un balance masa-energía. Por ejemplo, con respecto a la fig. 10, dos cantidades de aire, una a la condición A y otra a la condición B son unidas para formar una mezcla a alguna condición C. Es evidente que la masa de la mezcla ( $m_c$ ) es igual a la suma de las masas de dos cantidades de aire,

$$m_c = m_a + m_b \quad \text{-----}(21)$$

Además, debido a que la mezcla de las dos corrientes de aire ocurre adiabáticamente (sin ganancia ni pérdida de calor) y sin ganancia ni pérdida de humedad, se obtiene que la entalpia de la mezcla es la suma de las entalpias de los componentes o sea,

$$H_{s,c} = H_{s,a} + H_{s,b} \quad \text{(aire seco)} \quad \text{-----}(22)$$

$$H_{l,c} = H_{l,a} + H_{l,b} \quad \text{(vapor de agua)} \quad \text{-----}(23)$$

$$H_{tc} = H_{ta} + H_{tb} \quad \text{(aire húmedo)} \quad \text{-----}(24)$$

$$m_c w_c = m_a w_a + m_b w_b \quad \text{-----}(25)$$

Sabemos por la ecuación (12) que el calor sensible (entalpia del aire seco) es:

$$H_s = m (0.24) t$$

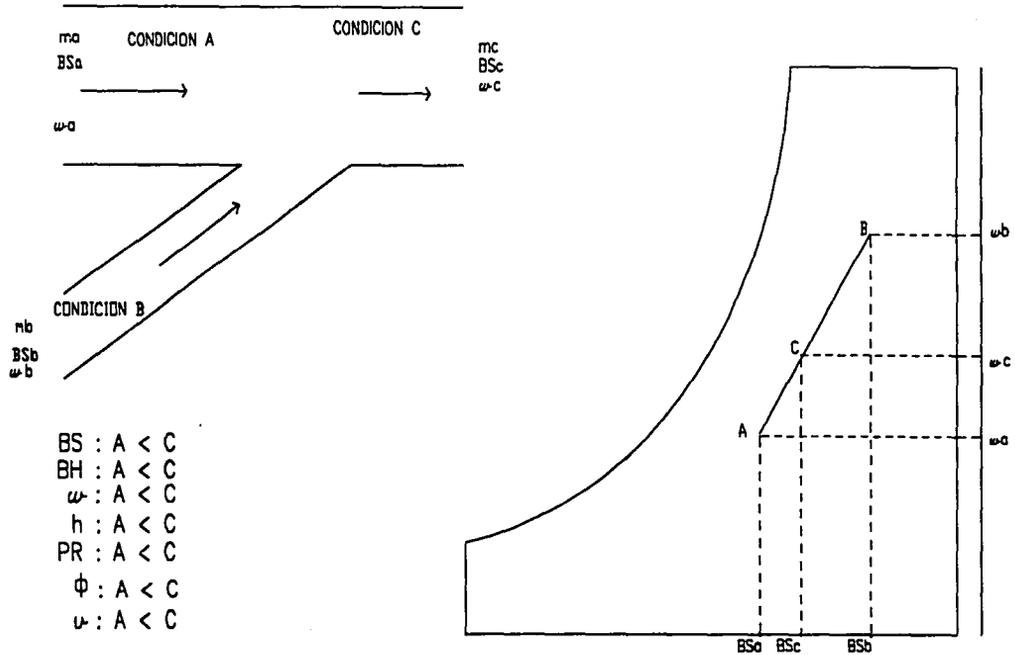
Por lo tanto

$$H_{s,c} = m_c (0.24) t_c$$

$$H_{s,a} = m_a (0.24) t_a$$

$$H_{s,b} = m_b (0.24) t_b$$

FIG. 10 MEZCLA DE AIRE (DOS CORRIENTES DE AIRE)



NOTA : Comparación de condiciones unicamente para la grafica mostrada

Entonces:

$$(mc)(0.24)(tc) = ma (0.24) (ta) + mb (0.24) (tb) \text{-----}(26)$$

Dividiendo ambos lados de la Ec. (26) por 0.24 y despejando  $t_c$  (temperatura de bulbo seco de la mezcla), se obtiene:

$$t_c = \frac{(ma)(ta) + (mb)(tb)}{mc} \text{-----}(27)$$

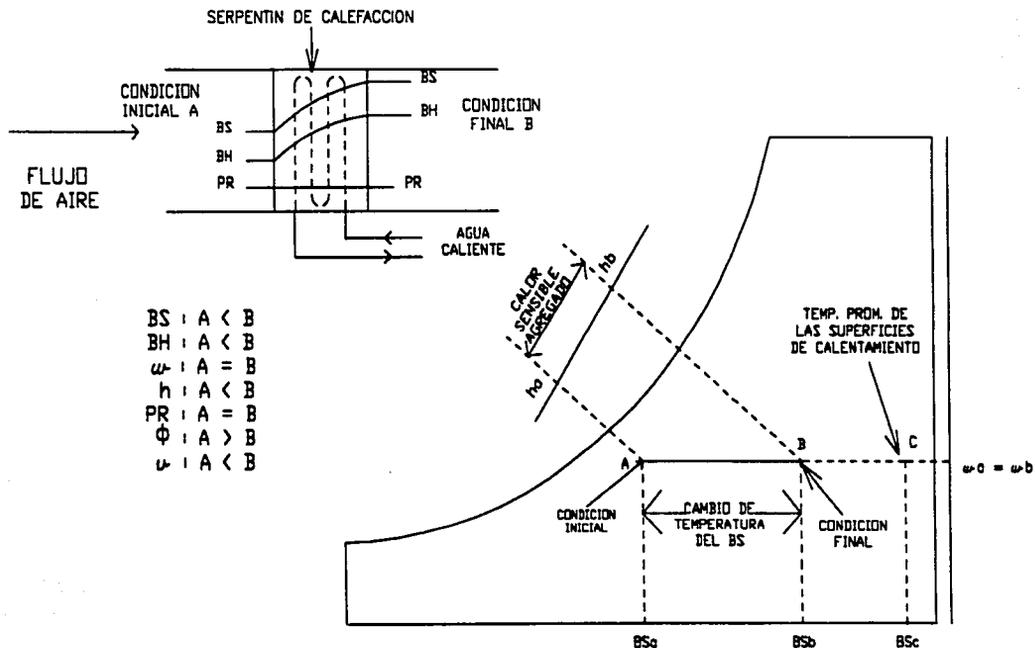
Así mismo, despejando la relación de humedad de la mezcla de la Ec. (25), se obtiene

$$w_c = \frac{(ma)(w_a) + (mb)(w_b)}{mc} \text{-----}(28)$$

#### b) CALENTAMIENTO SENSIBLE

Se produce calentamiento sensible siempre que se pasa aire sobre una superficie caliente (seca), tal como un serpentín de vapor o agua caliente, cuya temperatura sea superior a la temperatura de BS del aire, que está pasando sobre la superficie caliente, de manera que se eleva la temperatura de BS de aire y tiende a ser igual a la temperatura de la superficie caliente (fig. 11). Debido a que no se agrega ni se quita humedad al aire durante el proceso de calentamiento, no cambia de valor la humedad específica, la temperatura de PR y el contenido de calor latente del aire. Por esta razón el proceso de calentamiento (o enfriamiento) sensible sigue de

FIG. 11 PROCESO DE CALENTAMIENTO SENSIBLE



b.1) **FACTOR DE DESVIACION EN SERPENTINES (FDD).**- En la sección anterior se vio como la temperatura BS del aire que pasa sobre un serpentín de calentamiento tiende a aproximarse a la temperatura que se tiene en el serpentín (punto C en la fig. 11) si todo el aire que pasa a través del serpentín esta en contacto intimo con la superficie de calentamiento y permanece en contacto con la misma durante un tiempo suficiente, la temperatura de BS del aire a la salida pudiera elevarse hasta la temperatura de la superficie de calentamiento. Sin embargo, prácticamente una determinada parte de la cantidad total del aire que pasa a través de cualquier serpentín de calentamiento (o enfriamiento) nunca esta en contacto con la superficie del serpentín y por lo tanto no se ve afectada en su paso a través del serpentín. O sea, que sale del serpentín con la misma condición a la que entro al mismo. La parte de aire que pasa a través del serpentín sin hacer contacto con las superficies del serpentín es conocida como "aire desviado" y cuando se le expresa como un porcentaje de la cantidad total del aire, se le llama "factor de desviación del serpentín", el cual es primordial para el diseño del serpentín.

Por lo anterior, puede suponerse que el aire que sale de un serpentín es en verdad una mezcla de dos corrientes de aire o componentes. Una componente es la parte del aire que esta en contacto directo con la superficie del serpentín, y que se supone sale del serpentín con una temperatura de BS igual a la temperatura promedio que se tiene en la superficie del serpentín. La otra componente es el aire desviado que no esta en contacto con la superficie del serpentín, y que se supone sale del serpentín a la misma temperatura de BS a la que entro al mismo.

Entonces con respecto a la fig. 11 el punto estado B, que representa a la condición del aire en la salida del serpentín de calentamiento, puede también pensarse sea la condición de

la mezcla resultante como dos cantidades de aire, teniendo condiciones iniciales representadas por los puntos estado A y C, han sido mezcladas. Debido a que el punto de estado B dividirá siempre a la línea recta (AC) dibujada entre los dos puntos iniciales (A y C) en dos partes que son proporcionales exactamente a las cantidades de las dos componentes de las corrientes de aire, se deduce que la línea BC representa una componente de la cantidad de aire --el aire desviado-- que la línea AB representa a la otra componente de la cantidad de aire --la que realmente esta en contacto con la superficie del serpentín-- .Entonces, la línea AC representa la cantidad total de mezcla de aire que sale del serpentín, lo cual es la suma de las dos cantidades componentes.

Como se menciona antes, el FDD de cualquier serpentín es la relación de la cantidad de aire desviado con respecto a la cantidad total de aire. Por lo tanto, para este caso la relación longitud BC entre la longitud AC es igual al factor de desviación del serpentín de calentamiento. En términos de escala de temperatura de BS, la longitud de la línea BC entre la longitud AC es igual al factor de desviación del serpentín de calentamiento. En términos de escala de temperatura de BS, la longitud de la línea BC es igual a  $t_c - t_b$  y la longitud de la línea AC es igual a  $t_c - t_a$  se deduce:

$$FDD = \frac{t_c - t_b}{t_c - t_a} \text{-----}(29)$$

Donde:  $t_a$  = Temperatura de BS del aire que llega al serpentín

$t_b$  = Temperatura de BS del aire que sale del serpentín

$t_c$  = Temperatura promedio efectivo en la superficie del serpentín

**NOTA.- Es importante entender que el factor de desviación de cualquier serpentín de calentamiento o enfriamiento debe obtenerse siempre dividiendo " la diferencia entre la temperatura de BS del aire que sale y la temperatura en la superficie del serpentín por la diferencia entre la temperatura en la BS del aire de entrada y la temperatura en la superficie del serpentín.**

Para este caso el cambio de calor total es igual al cambio de calor latente, para efectos de cálculo se tiene que de las ecuaciones (13) y (18).

$$Q_s = m (0.24) (t_b - t_a) \quad \text{-----}(13-a)$$

$$Q_t = m (0.24) (h_b - h_a) \quad \text{-----}(18-a)$$

### c) ENFRIAMIENTO SENSIBLE

Se logra enfriamiento sensible del aire haciéndolo pasar a través de una superficie de enfriamiento seca cuya temperatura sea menor a la temperatura de PR del aire. Como se muestra en la fig. 12 el proceso de enfriamiento sensible es similar al proceso de calentamiento sensible en el sentido que no se agrega ni se elimina humedad y, por lo tanto permanecen constantes en todo el proceso, la humedad específica, la temperatura de PR y el calor latente contenido en el aire. Además, igual que para el caso de calentamiento sensible, el cambio en el calor total del aire es igual al cambio de calor latente del mismo.

Para el cálculo del calor sensible transferido, y de acuerdo a la fig. 12 la ecuación (13) nos queda.

$$Q_s = m (0.24) (t_a - t_b) \quad \text{-----}(13-b)$$

También con respecto a la fig. 12 la ecuación (29) nos queda de la siguiente manera.



$$FDD = \frac{t_b - t_c}{t_a - t_c} \text{-----(29-a)}$$

Por último para el calor total la ecuación (18) es válida también.

$$Q_t = m (h_b - h_a) \text{-----(18-a)}$$

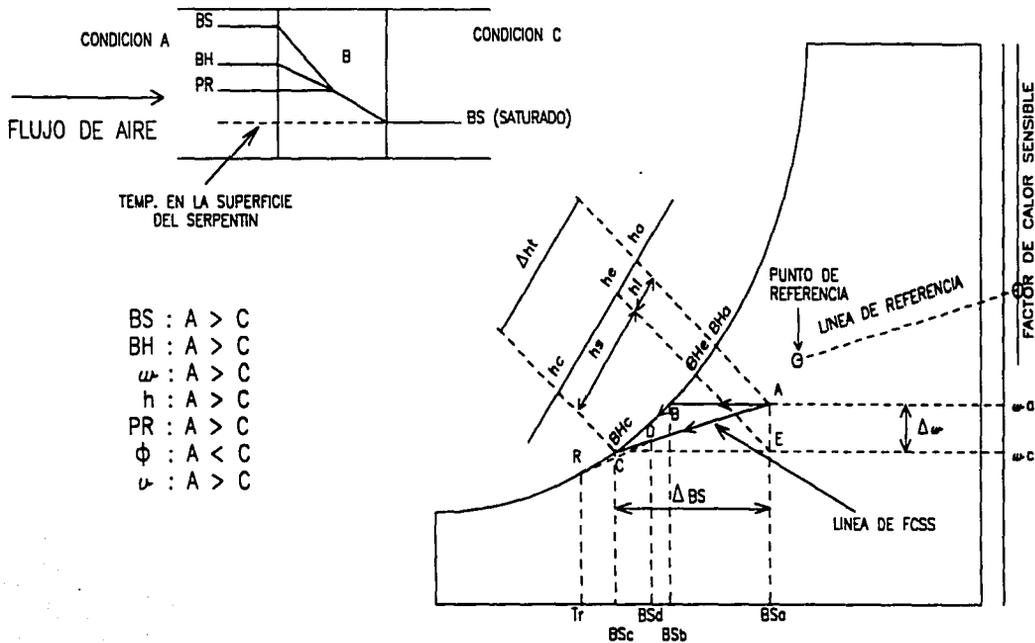
#### d) ENFRIAMIENTO Y DESHUMIDIFICACIÓN

Se tiene enfriamiento y deshumidificación simultáneamente del aire, cuando este es pasado a través de una superficie de enfriamiento, cuya temperatura sea menor a la temperatura del PR del aire de entrada. Esto es cierto aún cuando la temperatura de BS del aire que salga de la superficie de enfriamiento, sea menor a la temperatura de PR inicial del aire. Aún cuando lo anterior pueda suceder, esta última afirmación no contradice la afirmación hecha, de que la temperatura del aire debe ser reducida abajo de la temperatura de PR antes de que ocurra condensación de la humedad del aire.

El proceso de enfriamiento y deshumidificación mostrado en la fig. 13 es por completo hipotético, en el sentido de que este puede seguir la trayectoria ABC, solo para el caso de que todo el aire pase realmente a hacer contacto con la superficie de enfriamiento y que el enfriamiento se efectúe simultáneamente desde la condición inicial A hasta la condición C. Tal suposición no considera la existencia del aire desviado ( $FDD = 0$ ).

En un proceso real de enfriamiento y deshumidificación, siempre hay una cierta cantidad de aire desviado, de modo que el aire a la salida del serpentín siempre es una mezcla de aire tratado y de aire no tratado. En tales casos, puede suponerse que la parte del aire tratado, sigue la trayectoria ABC y sale saturado del serpentín a la temperatura de la superficie del

FIG. 13 PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y DESHUMIDIFICACIÓN



serpentin, mientras que la parte no tratada sale del serpentin a la misma condición de entrada.

Debido a la condición de que para cualquier mezcla de dos flujos de aire, es tal, que esta puede ser representada por un punto que estará en algún lugar de la línea que une los puntos estado, que representan las condiciones iniciales de las corrientes de aire, se deduce que la condición de aire a la salida de cualquier serpentin de enfriamiento y deshumidificación siempre será un punto, tal como el punto D, en la fig. 13 que está a lo largo de una línea recta (AC). La condición exacta del punto D sobre la línea AC, dependerá del porcentaje del aire desviado (FDD).

El punto C en la fig. 13 representa la condición del serpentin deshumidificador. A este punto algunas veces se le llama "punto de rocío de aparato (PRA)".

La línea AC en la fig. 13 se le conoce como la línea del "factor de calor sensible de serpentines" (FCSS) y como tal, es el factor geométrico de todas las posibles condiciones de aire de salida, que proporcionará la relación deseada de calor sensible a calor total eliminado. Sin embargo, no debe interpretarse que la línea FCSS representa la trayectoria real del proceso deshumidificador.

Para efectos de cálculo obtenemos:

El calor total de la ecuación (18)

$$Q_t = m (h_d - h_a) \quad \text{-----}(18-c)$$

El calor sensible de la ecuación (13)

$$Q_s = m (0.24) (t_a - t_d) \quad \text{-----}(13-c)$$

El factor de desviación de la ecuación (29)

$$FDD = \frac{td - tc}{ta - tc} \text{-----} (29-b)$$

Y el calor latente sería:

$$Ql = Qt - Qs \text{-----} (30)$$

d.1) FACTOR DE CALOR SENSIBLE DE SERPENTINES (FCSS).- En cualquier proceso de enfriamiento y deshumidificación se tiene eliminación de los calores sensibles y latentes en el serpentín de enfriamiento, siendo la suma de estos dos calores el calor total transferido. Se le llama factor de calor sensible entre calor total transferido o sea :

$$FCSS = \frac{Qs}{Qt} \text{-----} (31)$$

Obsérvese en la fig. 13 que la línea recta del FCSS, la componente vertical de esta línea es un índice del calor latente (humedad) eliminando durante el proceso, mientras que la componente horizontal es un índice de calor sensible eliminado. Debido a que son lineales las escalas de temperatura de BS y relación de humedad, es evidente que la pendiente de esta línea cambiará en proporción a los cambios del FCSS, cambiando hacia la vertical al disminuir el FCSS, y tendiendo hacia la horizontal a medida que se aumenta el FCSS. Para un proceso de enfriamiento el cual es completamente sensible, la línea FCSS es completamente horizontal y coincide con las líneas de temperatura de PR constantes.

Para obtener en forma directa de la carta el FCSS, se traza una línea recta a partir de un punto de referencia marcado en la carta paralela a la línea de FCSS, hasta interceptarse con la escala del factor sensible.

### e) ENFRIAMIENTO Y HUMIDIFICACION

Se tiene enfriamiento y humidificación simultáneamente del aire, cuando se pasa aire no saturado a través de un atomizador de agua fría, donde, debido a la humedad causada por el agua, el aire se satura a la temperatura de BH. Observando en la fig. 14 se puede apreciar claramente que al seguir la línea de saturación a temperatura de BS baja. La disminución de la temperatura de BS es debida a la extracción de calor latente del aire para poder equilibrar el sistema. También se ve claramente que es un proceso a entalpia constante (proceso a BH cte.), y que es un proceso de saturación adiabática

En este proceso el FDD también es aplicado, pero para el proceso de humidificación existe otro concepto, llamado "eficiencia de humidificación" que se define como:

$$E = \frac{t_a - t_b}{t_a - t_c} \times 100 \quad \text{-----}(32)$$

Donde: E = Eficiencia de humidificación

$t_a$  = Temperatura de BS del aire a la entrada del atomizador

$t_b$  = Temperatura de BS del aire a la salida del atomizador

$t_c$  = Temperatura de saturación ideal en un proceso adiabático cte.

También podemos decir que :

$$E = I \text{ FDD} \quad \text{-----}(33)$$

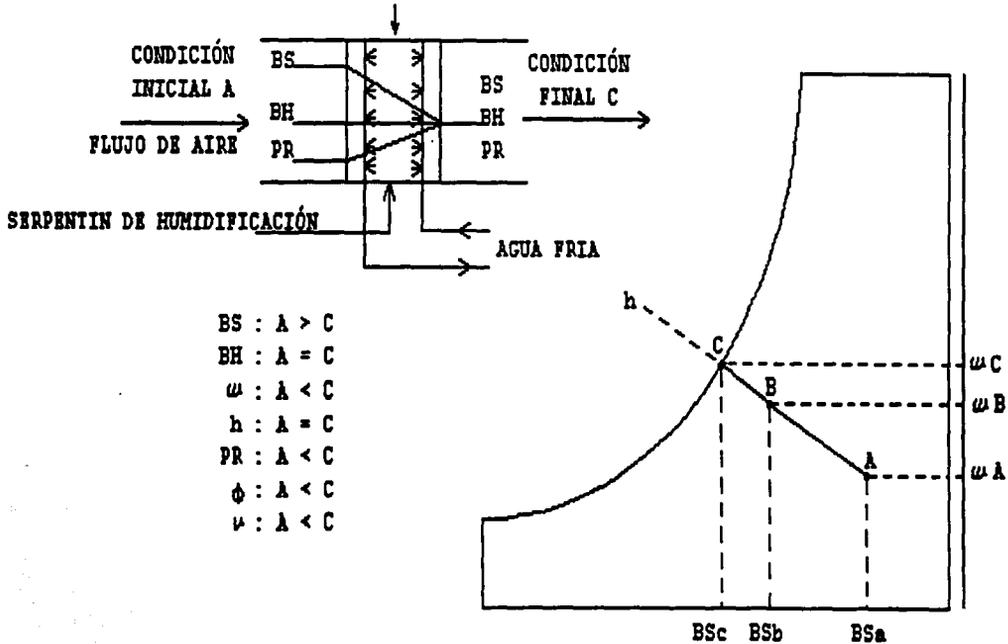
Para efectos de cálculo tenemos

$$Q_l = Q_t - Q_s \quad \text{-----}(30-a)$$

$$Q_t = m (h_b - h_a) \quad \text{-----}(18-d)$$

$$Q_s = m (0.24) (t_a - t_b) \quad \text{-----}(13-d)$$

FIG 14. PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN



$$FDD = \frac{t_b - t_c}{t_a - t_c} \text{-----}(29-c)$$

$$FCSS = \frac{Q_s}{Q_t} \text{-----}(31-a)$$

## f) CALENTAMIENTO Y DESHUMIDIFICACION

Se tiene calentamiento y deshumidificación, simultáneamente cuando se hace pasar aire por un absorbente químico ya sea sólido o líquido. En ambos casos el absorbente tendrá una presión de vapor de agua menor que la del aire.

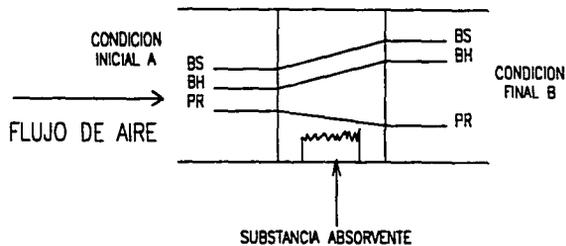
La humedad se condensa fuera del aire, en consecuencia el calor latente se libera y aumenta el calor sensible del aire (fig. 15).

Si estas son las únicas energías que intervienen, el proceso es inverso al adiabático de saturación (proceso a entalpia contante), pero existe un calor absorbido o generado por el material activo que se llama calor de absorción.

Para absorbentes sólidos se usan, sílice, la alúmina, etc., y para los absorbentes líquidos se usan, sales inorgánicas o compuestos orgánicos. En ambos casos el calor desprendido interviene en el proceso, incrementando el calor sensible.

Otra forma de llevar acabo este proceso sería: primero llevar acabo un proceso de enfriamiento y deshumidificación, después un proceso de calentamiento sensible. Observando la fig. 16 nos damos cuenta que nuestras necesidades son a partir del punto A y llegar al punto D, por lo que si no tomamos en cuenta la trayectoria del aire, para alcanzar dicho punto, nuestro proceso sería de A a D (que es la misma trayectoria de A a B en la fig. 15).

FIG. 15 PROCESO DE CALENTAMIENTO Y DESHUMIDIFICACIÓN



BS : A < B  
 BH : A < B  
 $\psi$  : A > B  
 h : A < B  
 PR : A > B  
 $\phi$  : A > B  
 $\epsilon$  : A < B

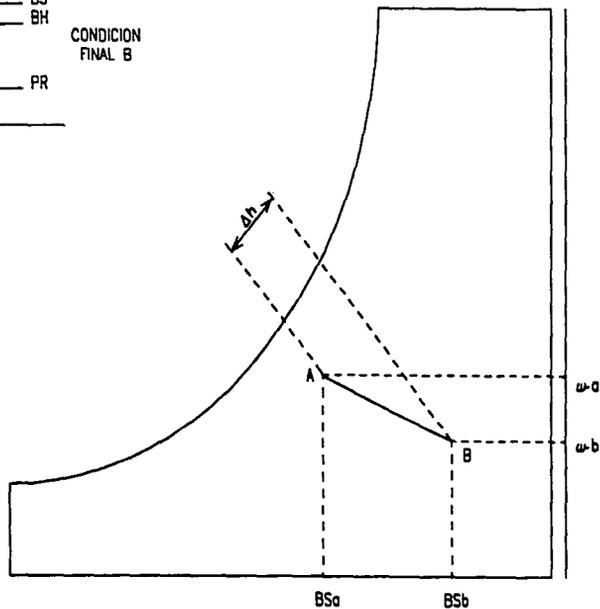
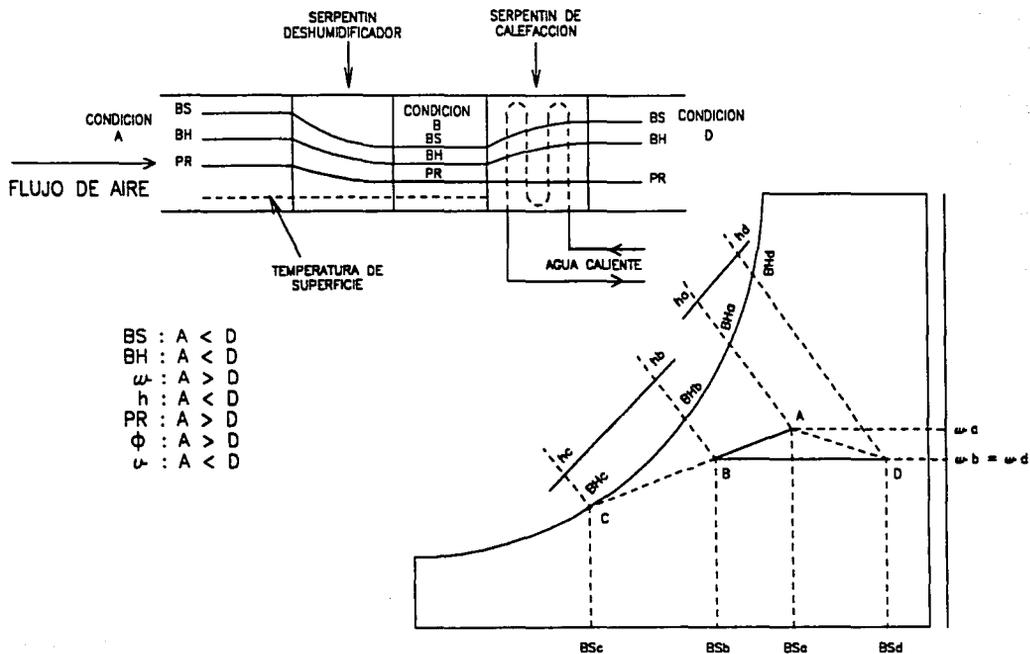


FIG. 16 PROCESO DE CALENTAMIENTO Y DESHUMIDIFICACIÓN



NOTA.- Antes de seleccionar una de las dos formas de llevar a cabo el proceso de calentamiento y deshumidificación, tendríamos que ver el costo de la instalación o del material. Si utilizamos el segundo método podría ser que nuestras necesidades sean muy marcadas y la instalación tendría que ser muy eficiente para enfriar y deshumidificar y después calentar hasta el punto requerido, por lo que dicha instalación saldría muy costosa y el mantenimiento sería mayor.

Para efectos de cálculo tenemos de la fig. 15

$$Q_t = m (h_b - h_a) \text{-----}(18-e)$$

$$Q_s = m (0.24) (t_b - t_a) \text{-----}(13-e)$$

$$Q_l = Q_t - Q_s \text{-----}(30-b)$$

$$FCSS = \frac{Q_s}{Q_t} \text{-----}(31-b)$$

### g) CALENTAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN

Se tiene calentamiento y humidificación simultáneamente, cuando se pasa aire no saturado a través de un atomizador de agua, donde el agua atomizada ha sido calentada externamente hasta una temperatura mayor que la del aire de suministro.

Debido al agua y a la temperatura de la misma, el aire aumenta su humedad específica y su entalpia, aumentando por consiguiente la temperatura del aire. Las temperaturas de BS y BH aumentan tendiendo a la saturación (temperatura del agua). ver fig. 17.

Para efectos de cálculo

$$Q_t = m (h_b - h_a) \text{-----}(18-f)$$

$$Q_s = m (0.24) (t_b - t_a)$$

----- (13-f)

$$Q_l = Q_t - Q_s$$

----- (30-c)

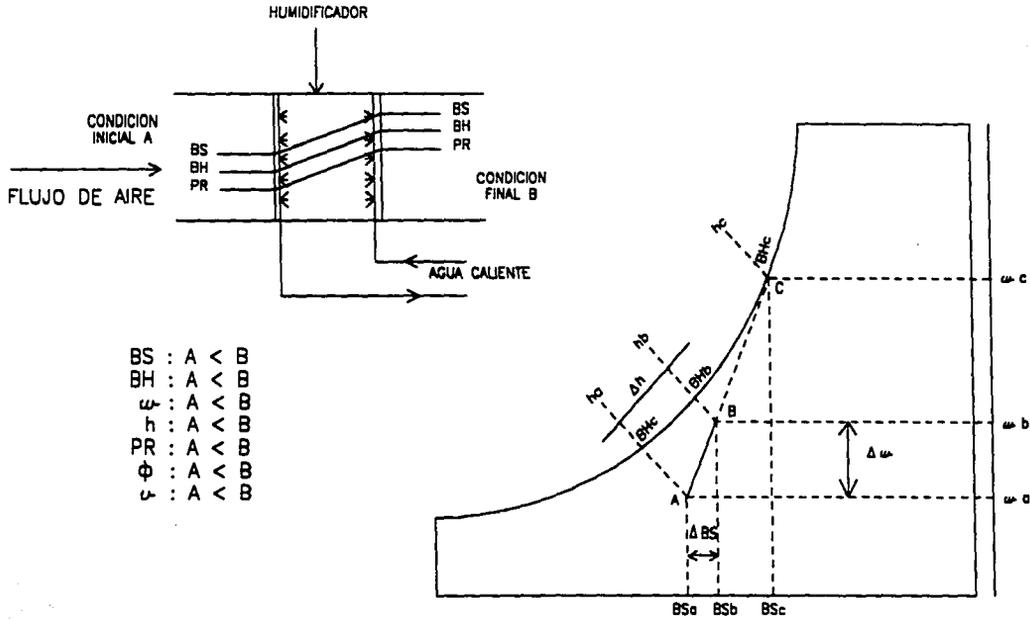
$$FDD = \frac{t_b - t_c}{t_a - t_c}$$

----- (29-c)

$$FCSS = \frac{Q_s}{Q_t}$$

----- (31-c)

FIG. 17 PROCESO DE CALENTAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN



## **CAPITULO IV: CALCULO DE CARGAS**

Para la realización del cálculo de cargas de cualquier proyecto de aire acondicionado es necesario tener en cuenta las características físicas del local a acondicionar.

### **A. CARGA DE CALENTAMIENTO**

Los puntos que se consideran para calcular la carga de calentamiento de un local son:

1.- Calor perdido a través de áreas de paredes expuestas al exterior, incluyendo lo que se pierde a través de techos o cielo raso y áticos sin calefacción, y a través del piso de espacios sin calefacción pero no se incluyen ventanas ni áreas de puertas.

2.- Calor perdido a través de superficies de vidrios y puertas.

3.- Calor necesario para calentar el aire que entra por infiltraciones a través de ventanas exteriores y ranuras de puertas y por otros lados donde se tengan fugas. En proyectos de aire acondicionado con ventanas selladas, este punto puede estar constituido por el aire de ventilación tomado del exterior.

4.- Otras necesidades diversas de calor, como humidificación del aire exterior y factores de seguridad para tomar en cuenta algunos imprevistos.

Punto 1.- Calor perdido a través de áreas expuestas al exterior.- La carga de calor más importante para calcular la calefacción se debe por lo general a la transmisión de calor a través de muros, techos y pisos o sea las pérdidas por aislamiento del edificio. Para pérdidas de esta naturaleza se pueden determinar a partir de la expresión:

$$Q = U A (t_i - t_e) \text{-----}(34-a)$$

Donde:  $Q$  = Pérdida de calor en  $\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}$

$A$  = Area neta en  $\text{pies}^2$

$U$  = Coeficiente de transmisión de calor en  $\text{BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2 \cdot ^\circ\text{F})^{-1}$

$t_i$  = Temperatura de diseño interior en  $^\circ\text{F}$

$t_e$  = Temperatura de diseño exterior en  $^\circ\text{F}$

Recordemos que el área neta de un espacio o cuarto analizado, es el área total expuesta menos el área de ventanas y puertas que existan en el espacio considerado.

La temperatura  $t_i$  se debe corregir según la altura del espacio o del cuarto. Cuando se tiene calefacción de más de 20 pies de altura por método convencional de radiación, la temperatura media de la pared será diferente a la de diseño, el valor adecuado de la temperatura se encuentra aplican

$$t_m = t_i \left( 1.0 + 0.02 \left( \frac{H}{2} - 5 \right) \right) \text{-----}(35)$$

Donde:  $t_m$  = Temperatura promedio en  $^\circ\text{F}$

$H$  = Altura en pies

$t_i$  = Temperatura de diseño en  $^\circ\text{F}$

La temperatura  $t_e$  se obtiene de tablas. En caso de no disponer de ellas, se calcula aumentando 10 ó 15  $^\circ\text{F}$  a la temperatura mínima del lugar donde se encuentra el local a acondicionar. Queda claro que la temperatura mínima no debe usarse como temperatura de diseño exterior.

El coeficiente de transmisión de calor  $U$ , se define como el flujo de calor por hora a través de  $1 \text{ pie}^2$  de barrera, cuando la diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior es  $1^\circ\text{F}$  (calor por conducción). Ver tablas 2

Punto 2.- Para el cálculo de pérdidas por ventanas y puertas también se utiliza la ecuación (34-a).- Donde sabemos que hay un  $U$  para el tipo de material de puertas y ventanas. El área total será el área de ventanas con marcos y el área de puertas.

Punto 3.- La infiltración de aire es otra carga de calor muy importante.- Es el aire frío que penetra en el interior, a través de las ranuras de puertas y ventanas, y aberturas en muros.

Esta pérdida depende del tipo de sello existente entre puertas y ventanas y de la velocidad del viento. Las fugas se aumentan por cualquier efecto de chimenea en el edificio, debido a la altura de la misma y a la diferencia de temperaturas del aire interior y exterior.

a) Para evaluar de un modo aproximado la cantidad de aire que se infiltra por puertas y ventanas, existen varios métodos de los cuales se mencionan los siguientes:

i) Método de las ranuras.- Este método consiste en medir la longitud (perímetro de cada bastidor de ventana o puerta) de todas las ranuras de puertas y ventanas y por medio de tablas experimentales (tabla 3), que dan la cantidad de  $\text{pies}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  ó  $\text{pies}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  por pie lineal de ranura, se calcula la infiltración total.

ii) Método del área.- Con este método se obtiene las áreas de las puertas y ventanas y mediante las tablas experimentales que dan la cantidad de  $\text{pies}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  por  $\text{pie}^2$  de ventana o puerta, se determina la infiltración total. ver tablas 4 y 5

iii) Método del volumen.- El aire infiltrado que entra a un edificio sale en la misma proporción en la que entra. En general puede considerarse que el aire que entra por

infiltración lo hace por donde esta soplando el viento y sale por el lado opuesto (o a través de salidas que se tengan) de tal manera que solamente la mitad del perímetro de hendiduras que se tengan en el cuarto deberán considerarse para el cálculo de pérdidas por infiltración.

Con este método se calcula el volumen del espacio por calentar. Se selecciona un factor de infiltración que multiplicado por el volumen anterior y por la ( $\Delta t$ ) diferencial de temperatura existente, proporciona directamente los  $\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}$  perdidos por infiltración, ver tabla 6.

Este método se aplica solo cuando las ventanas son relativamente pequeñas.

b) Infiltración a través de muros.- La infiltración a través de muros se puede dejar de considerar en la mayoría de los casos, aunque en construcciones pobres puede ser muy grande.

En ocasiones se toma como regla práctica un cambio por hora si existe un muro que colinde con el exterior, si hay dos muros colindando con el exterior 1.5 cambios/hora. Este método no es muy confiable para ser recomendado, pero al menos cambio por hora deberá considerarse para cualquier espacio.

Expresado como una ecuación, el calor perdido es:

Calor sensible:  $Q_s$

$$Q_s = 0.24 \times M \times (t_i - t_e) \quad [\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}] \quad \text{-----}(36-a)$$

Donde:  $0.24 =$  Calor específico del aire en  $\text{BTU}\cdot(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})^{-1}$

$M =$   $\text{lb}\cdot\text{h}^{-1}$  de aire

$t_i =$  Temperatura interior en  $^\circ\text{F}$

$t_e =$  Temperatura exterior en  $^\circ\text{F}$

O bien:

$$Q_s = 0.24 \times (v') \times d \times (t_i - t_e) \quad [\text{BTU} \cdot \text{h}^{-1}] \quad \text{-----}(37)$$

Donde:  $d =$  Densidad del aire en  $\text{lb} \cdot \text{pie}^{-3}$

$v' =$  Volumen del aire en  $\text{pie}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

El calor latente QL

$$QL = M (w_i h_i - w_e h_e) \quad \text{-----}(38)$$

Donde:  $h_i = 1.06 + 0.45 t_i$  en  $\text{BTU} \cdot \text{lb}^{-1}$

$h_e = 1.06 + 0.45 t_e$  en  $\text{BTU} \cdot \text{lb}^{-1}$

$w_e =$  Humedad específica en  $\text{lb}_v \cdot \text{lb}_a^{-1}$  de aire exterior

$w_i =$  Humedad específica en  $\text{lb}_v \cdot \text{lb}_a^{-1}$  de aire interior

O bien:

$$Q_L = 0.68 \times v \times (w_i - w_e) \quad [\text{BTU} \cdot \text{h}^{-1}] \quad \text{-----}(39-a)$$

Donde:  $v =$  volumen en  $\text{pies}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

$w_i =$  Humedad específica interior en  $\text{granos} \cdot \text{lb}_a$

$w_e =$  Humedad específica exterior en  $\text{granos} \cdot \text{lb}_a$

Punto 4.- El cálculo específico de otros diversos puntos de calor con frecuencia no es considerado, pero existen puntos llamados "cargas misceláneas" que en ciertas ocasiones deben tomarse en cuenta, de las cuales se nombran las siguientes:

a) Si en una región existen cambios demasiado bruscos de temperatura o si el edificio se calienta intermitentemente, la carga de calor debe incrementarse, si un edificio esta expuesto abiertamente al efecto del viento, deberá agregarse de 10 a 20 % de carga de calefacción.

b) Las chimeneas abiertas son difíciles de calcular, como costumbre arbitraria, la pérdida se evalúa en  $2500 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$ .

c) La humedad, como ya se vio existen infiltraciones, las cuales pueden necesitar humidificación, por lo que a veces se toma en cuenta.

d) En algunos edificios, como escuelas, iglesias, etcétera, la absorción de calor del propio edificio es intermitente y grande por lo que la carga de calor debe ser a veces una vez y media o dos, la carga calculada.

Punto 5.- En contraste con las pérdidas que constituyen demanda de vapor hay algunas que en si son productoras de calor. Por ejemplo, el calor generado por una gran cantidad de personas puede ser excesivo que reduzca el suministro de calefacción externa o que la suspenda. Sin embargo, la capacidad de calefacción calculada deberá ser instalada ya que el edificio debe ser calentado antes de que las personas lo ocupen. Los motores y alumbrado también contribuyen a la producción de calor en un espacio dado, particularmente en las plantas de manufactura, y puede reducir a veces hasta eliminar la necesidad de calefacción. A menos de que el trabajo hecho por el motor se tenga fuera del edificio, toda la potencia que se le suministre se disipará dentro del mismo edificio. El calor desarrollado por un motor en movimiento puede encontrarse como sigue:

$$\frac{\text{Potencia en caballos desarrollado por el motor} \times 2545}{\text{Eficiencia del motor}} = \text{BTU}\cdot\text{h} \quad \text{-----}(40)$$

En el caso de calentadores eléctricos o bien de alumbrado, el calor desarrollado por hora de trabajo puede calcularse como sigue:

$$\text{CAPACIDAD EN KILOWATTS} \times 3413 = \text{BTU}\cdot\text{h} \quad \text{-----}(41\text{-a})$$

$$\text{CAPACIDAD EN WATTS} \times 3.413 = \text{BTU}\cdot\text{h} \quad \text{-----}(41\text{-b})$$

No se acostumbra, en diseños de sistemas de calefacción, hacer deducciones en la capacidad por concepto de potencia y alumbrados eléctricos, ya que estos generalmente no están trabajando antes que los ocupantes. Sin embargo, conviene proporcionar los medios para reducir la capacidad de los aparatos de calefacción a fin de prevenir sobre calentamientos después de que dichos locales estén ya en operación.

## B. CARGA DE ENFRIAMIENTO (REFRIGERACIÓN)

Carga de calor.- En caso de refrigeración la carga de calor es la cantidad de calor que debe retirarse del espacio a refrigerar, para reducir o mantener la temperatura deseada. Ya que el calor es absorbido y este se transfiere a otro cuerpo, es evidente que el proceso de refrigeración es opuesto al de calefacción este proceso también recibe el nombre de carga de refrigeración.

Para el estudio de este inciso se dividirá en dos conceptos, a saber:

- 1.- Carga de refrigeración tratándose de aire acondicionado para comodidad.
- 2.- Carga de refrigeración tratándose de refrigeración industrial.

1.- Carga de refrigeración tratándose de aire acondicionado para comodidad. En un espacio a refrigerar la carga de refrigeración se debe principalmente a las siguientes ganancias de calor:

a) Ganancia de calor debido a la transmisión a través de las barreras que pueda haber, tales como paredes, ventanas, puertas, techos, cielos falsos, pisos y divisiones, y que es ocasionada por la diferencia de temperatura entre los dos lados de la barrera.

b) Ganancia de calor debida al efecto solar:

i) El calor transmitido por radiación a través de cristales y absorbido en el interior por superficies y mobiliario.

ii) El calor absorbido por las paredes o techos expuestos a los rayos solares y posteriormente transferido al interior

c) Ganancia de calor debida al aire de infiltración.

d) Ganancia de calor debida a los ocupantes (sensible y latente).

e) Ganancia de calor debida a máquinas, aparatos eléctricos, alumbrado o cualquier otro tipo que genere calor (equipo misceláneo).

f) Ganancia de calor debido al aire de ventilación.

Punto a).- Ganancia de calor debido a la transmisión a través de barreras. La transmisión de calor a través de barreras se calcula en forma similar a la empleada en calefacción y utilizando la expresión:

$$Q = U A (t_e - t_i) \text{-----}(34-b)$$

Donde:  $Q =$  Carga de calor en  $\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}$

$U =$  Coeficiente de transmisión de calor  $\text{BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2\cdot^\circ\text{F})^{-1}$

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

A = Area neta en pies<sup>2</sup>

$t_e$  = Temperatura de diseño exterior en °F

$t_i$  = Temperatura de diseño interior en °F

Por lo general, la temperatura interior de diseño se considera entre 70 y 80 °F (en aire acondicionado) y la temperatura exterior se selecciona de tablas, dependiendo del lugar. La temperatura de bulbo seco exterior de diseño tiene, por lo general, su máximo a las 16:00 horas.

La diferencia de temperatura ( $t_e - t_i$ ) se afecta en ocasiones debido al "efecto solar", pero esta consideración es un método para tomar en cuenta esta carga que muchas veces no se utiliza.

Punto b).- Ganancia de calor debido al efecto solar:

i) Calor ganado a través de los cristales. El calor que se gana en un espacio a través de los cristales depende de lo siguiente:

i.1) Latitud del lugar.

i.2) Orientación de los cristales.

i.3) Claridad de la atmósfera.

i.4) Tipo de cristal usado.

i.5) Dispositivo para sombrear.

Existen tablas experimentales que según la latitud, tiempo del año y orientación de la ventana, proporcionan la energía solar que entra al espacio considerado. Se supone que la energía radiante transmitida por una ventana no afecta la diferencia de temperatura que hay a

los lados de dicha ventana. Una forma de generalizar la forma de encontrar, el calor transmitido al espacio a través de los cristales por el efecto solar, es el siguiente:

i.a) En la tabla 7 se encuentra de acuerdo con la latitud y orientación la ganancia máxima de calor ( $q_1$ ) en  $[BTU \cdot (h \cdot pie^2)^{-1}]$ .

i.b) En los valores tabulados en dicha tabla se considera toda el área de una ventana que tenga aproximadamente el 85 % de cristal; en casos donde la ventana sea del tipo estructural de lámina de hierro y el cristal ocupe más del 85 % de la superficie se acostumbra multiplicar la ganancia de calor por el factor 1.17 .

i.c) Cuando no es estándar, y la ventana no tiene algún dispositivo para sombrear, la ganancia de calor se multiplica por el factor  $f_1$  dado en la tabla 8 columna 1 .

i.d) Cuando la ventana tiene algún dispositivo para tapar el sol, como persianas interiores o exteriores, la ganancia de calor se multiplica por el factor  $f_2$  que se obtiene en la tabla 8 columnas 2 a 6 .

i.e) La tabla 7 está basada en un ambiente exterior cuya temperatura de rocío es de 66.8 °F (BS=95 °F, BH=75 °F), añádase 7 % a la ganancia por cada 10 °F abajo de 66.8 °F y disminúyase 7 % por cada 10 °F arriba de 66.8 °F. Esta corrección solo se hace cuando se requiere mucha precisión.

i.f) Por cada 1000 pies arriba del nivel del mar debe incrementarse la ganancia de calor un 0.7 %.

i.g) En lugares donde la atmósfera esta muy contaminada de humos, polvos o vapores puede reducirse el valor de la ganancia de calor hasta en un 10 ó 15 %.

i.h) Debido a que la tabla 7 se estimó en el mes de julio y como la tierra está más cerca del sol en enero que en julio, en las latitudes norte y sur cerca del ecuador, la ganancia se suele incrementar 7 %.

i.i) Cuando por alguna circunstancia como el espesor de los muros o bien construcciones adyacentes proporcionan sombra a los cristales, se suele hacer alguna disminución a la ganancia de calor.

De los factores que afectan la ganancia de calor tabulado en la tabla 7 y los de mayor importancia son los descritos en los incisos i.c e i.d o sea.

$$q = q' \times f_1 \times A \text{ (cuando no existe dispositivo sombreador)} \text{ -----(42)}$$

$$q = q' \times f_2 \times A \text{ (cuando si existe dispositivo sombreador)} \text{ -----(43)}$$

$$q = q' [(F \times f_2) + (1-F \times f_1)] \text{ -----(44)}$$

Donde:  $q$  = Ganancia total en la ventana en [BTU·h<sup>-1</sup>]

$q'$  = Ganancia máxima de calor en una ventana debida al efecto solar tabla

7 en [BTU·(h·pie<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>]

$f_1$  = Factor de corrección cuando no existe dispositivo sombreador tabla 8

$f_2$  = Factor de corrección cuando si existe dispositivo sombreador tabla 8

$F$  = Fracción de ventana que se considera sombreada cuando existe un dispositivo parcial de sombreado

$A$  = Area del cristal en pies<sup>2</sup>

ii) Calor ganado a través de muros y techos.- Calcular el calor ganado a través de muros y techos es más complejo, ya que cuando el sol calienta la superficie se inicia un flujo

de calor hacia el interior del espacio hasta llegar a un máximo; después, el flujo disminuye poco a poco durante la noche y vuelve a aumentar cuando el sol calienta de nuevo la pared.

Este cálculo se simplifica usando el concepto de "temperatura aire-sol", desarrollado por "MACKEY Y WRIGHT". La temperatura aire sol es una temperatura del aire tal, que en la ausencia de efectos de radiación da al espacio interior la misma cantidad de calor que la combinación de radiación incidente del sol, energía radiante del espacio y convección del aire exterior.

Para resolver este problema de encontrar el calor ganado debido al sol, se han preparado tablas que indican la temperatura equivalente que se debe usar en paredes o en techos, ver tablas 9 y 10 .

Las tablas están basadas en 15 °F (95 - 80) diferenciales de temperatura de diseño; en caso de que la diferencia sea otra de 15 °F debe corregirse agregando o disminuyendo a la temperatura equivalente la diferencia entre 15 y la diferencia del lugar.

Así mismo, si la diferencia de temperatura exterior durante el día es distinta a 20 °F debe añadirse 1 °F a la temperatura equivalente por cada 2 °F abajo de 20 y disminuirse 1 °F por cada 2 °F arriba de 20 .

El calor ganado valdrá:

$$q_1 = U t_e \text{-----(45)}$$

Donde:  $q_1$  = Calor ganado por transmisión más calor ganado debido a los rayos solares en [BTU·(h·pie<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>]

$U$  = Coeficiente de transmisión de calor en [BTU·(h·pie<sup>2</sup>·°F)<sup>-1</sup>].

$t_e$  = Temperatura equivalente obtenida en las tablas 9 y 10

Punto c).- Ganancia de calor debida a la infiltración de aire para determinar el volumen de aire y las ganancias de calor latente y sensible, se siguen los mismos pasos que para el caso de calefacción o sea, se deben considerar las pérdidas por infiltración debidas a:

- i) Las ranuras en puertas y ventanas que se pueden calcular por el método de las ranuras expuesto en el caso de calefacción ver tablas 3.

Quando los espacios por acondicionar están en edificios de gran altura, se suele despreciar la ganancia de calor debida a las ranuras.

- ii) La abertura más o menos constante de puertas.- Por esto se supone según la tabla 11 que de acuerdo con el tipo de aplicación y la clase de puerta, hay una cantidad de aire que penetra por cada persona que lo ocupa.

El calor por infiltración de aire, una vez conocido el total del aire infiltrado se calcula de la manera siguiente:

Calor latente ganado. ( $Q_L$ )

$$Q_L = M (w_e - w_i) \times 1,050 \quad [\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}] \quad \text{-----}(46)$$

Donde :  $M =$  Gasto de aire en  $\text{lb}\cdot\text{h}^{-1}$

$w_i =$  Humedad específica interior en  $\text{lb}_v\cdot\text{lb}_a^{-1}$

$w_e =$  Humedad específica exterior en  $\text{lb}_v\cdot\text{lb}_a^{-1}$

O Bien :

$$Q_L = 0.68 V (w_e - w_i) \quad [\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}] \quad \text{-----}(39-b)$$

Calor sensible ganado. ( $Q_s$ )

$$Q_s = 0.018 V' (t_e - t_i) \quad [\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}] \quad \text{-----}(47)$$

Donde :  $t_i$  = Temperatura interior de diseño en °F.

$t_e$  = Temperatura exterior de diseño en °F.

$V'$  = Volumen en pies·h<sup>-1</sup>.

O Bien :

$$Q_s = 0.24 M (t_e - t_i) \quad \text{-----}(36-b)$$

Para el caso de un sistema de aire acondicionado en el cuál el aire adaptado es entregado a un espacio adecuado, que no tiene ventiladores de extracción, las pérdidas por infiltración se reducen mucho y pueden aún cesar cuando el aire suministrado fluye hacia afuera. En otras palabras, cuando el sistema de ventiladores produce un exceso de presión dentro del espacio la infiltración se reduce o se elimina. El aire de infiltración que llega a un espacio introduce con el no solamente la temperatura alta del aire exterior con la cuál se tiene asociada la carga sensible al enfriarlo hasta la temperatura interior, sino también la humedad correspondiente del aire exterior lo cuál introduce una carga latente en el espacio.

Independientemente del aire de infiltración, los sistemas de acondicionamiento de aire deben circular una cierta cantidad de aire nuevo necesario para la ventilación, debe de recircular una cantidad suficientemente grande de aire, lo cuál pasa a través del equipo acondicionador y al entregarlo al espacio tiene que absorber la carga sensible de todas las fuentes; al mismo tiempo el aire suministrado aumenta su contenido de humedad al absorber la carga térmica latente.

Punto d) .- Ganancia de calor debida a los ocupantes .- La ganancia de calor producida por los ocupantes del espacio a enfriar está en tablas, y depende de la propia

actividad que las personas desarrollen dentro del espacio y de la temperatura ambiente, ver tabla 12 .

La ganancia puede considerarse dividida en dos partes:

i) Ganancia de entalpia sensible.

ii) Ganancia de entalpia latente.

También existen curvas y tablas que proporcionan el calor generado por las personas a partir de la temperatura de comodidad, o bien, a partir de los  $\text{pies}\cdot\text{lb}\cdot\text{h}^{-1}$ , que desarrolla un individuo. Así mismo, hay curvas que según la temperatura y actividad proporcionan la cantidad de evaporación de un individuo por hora. En seguida se describen las siguientes:

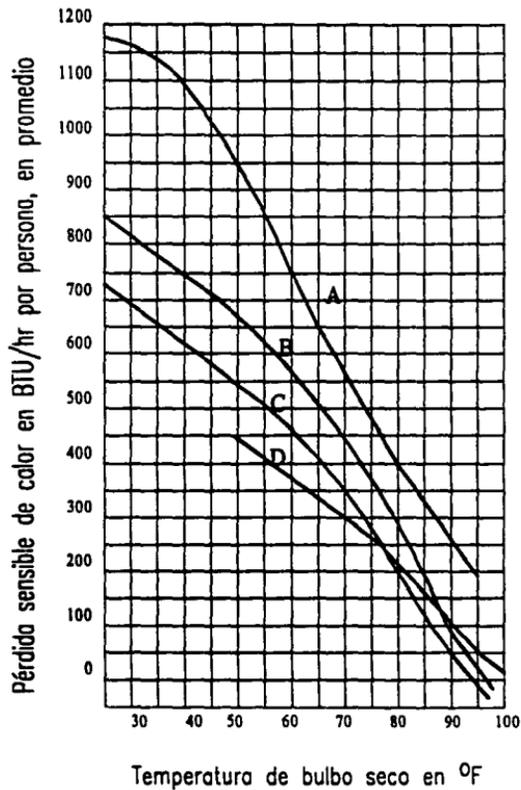
Curvas y tablas :

i) Entalpia sensible pérdida por el cuerpo humano a varias temperatura en aire quieto y con diferentes actividades fig. 18.

ii) Entalpia pérdida por evaporación y humedad del cuerpo humano a diferentes temperaturas, en el aire quieto y con varias actividades fig. 19.

iii) Pérdidas de entalpia total del cuerpo humano a varias temperaturas, en aire quieto y con diferentes actividades fig. 20.

FIG. 18 PERDIDA DE CALOR SENSIBLE DE UN SER HUMANO A VARIAS TEMPERARTURAS DE BULBO SECO



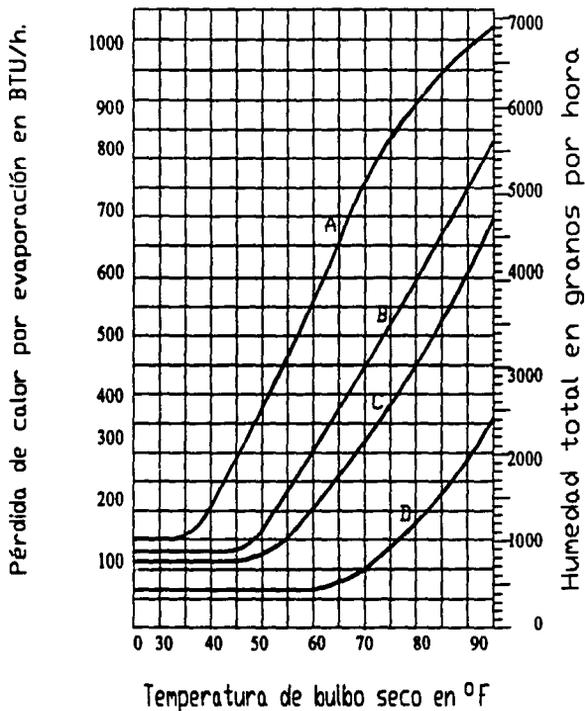
A) Hombre trabajando (66150 lb·pie·h<sup>-1</sup>)

B) Hombre trabajando (33075 lb·pie·h<sup>-1</sup>)

C) Hombre trabajando (16538 lb·pie·h<sup>-1</sup>)

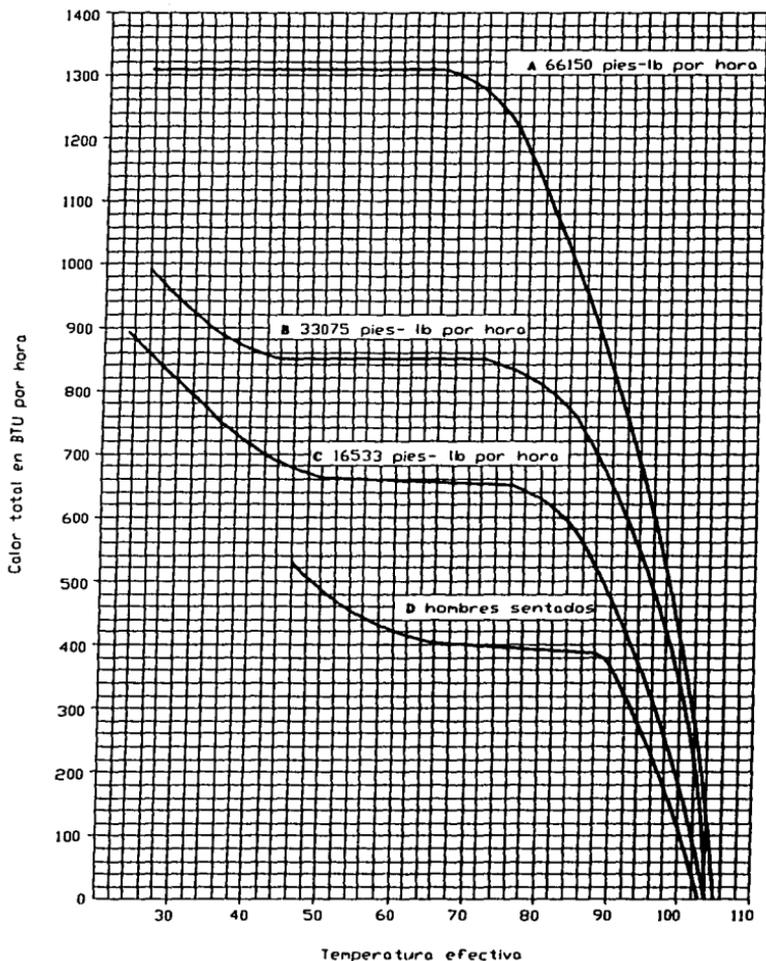
D) Hombre sentado y descansando

FIG. 19 PERDIDA DE CALOR LATENTE DEL SER HUMANO POR EVAPORACIÓN Y HUMEDAD EVAPORADA A VARIAS TEMPERATURAS DE BULBO SECO EN AIRE QUIETO



- A) Hombre trabajando ( $66150 \text{ lb}\cdot\text{pie}\cdot\text{h}^{-1}$ )
- B) Hombre trabajando ( $33075 \text{ lb}\cdot\text{pie}\cdot\text{h}^{-1}$ )
- C) Hombre trabajando ( $16538 \text{ lb}\cdot\text{pie}\cdot\text{h}^{-1}$ )
- D) Hombre sentado y descansando

**FIG.20 PERDIDA DE CALOR TOTAL DEL CUERPO HUMANO A VARIAS TEMPERATURAS EFECTIVAS EN AIRE QUIETO**



Punto e) Ganancia de calor debido al equipo misceláneo. Para obtener la ganancia de calor debido al equipo que se tenga en el espacio por acondicionar, se recurre a tablas experimentales (ver tablas 13, 14 y 15).

Siempre se debe observar esta parte de la carga térmica en los cálculos del sistema, y tiene que considerarse con mucho cuidado si es en forma sensible o si solo una parte es sensible y el resto latente. Tiene que asegurarse también si esta parte de la carga térmica se tiene dentro del espacio. A veces se acostumbra incrementar esta ganancia un 10 % por alguna contingencia imprevista que pueda ocurrir.

Punto f) Ganancia de calor debida al aire para ventilación.- El aire que se requiere para ventilación se debe suministrar en cantidad suficiente para cumplir con ciertos códigos, reglamentos o recomendaciones. Es evidente que para mantener un nivel bajo de olor se requiere cierta cantidad mínima de aire (ver tabla 16).

Por lo general, se debe considerar un mínimo de  $7.5 \text{ pies}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  por persona cuando no se considera humo de cigarro, si se considera, debe tomar de 25 a  $40 \text{ pies}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  por persona que fuma.

El aire para ventilación se debe considerar independientemente de la propia carga de calor del espacio, ya que esta pasa antes por el acondicionador, en contraste con el aire debido a la infiltración que entra directamente al espacio por refrigerar.

La cantidad de aire debe ser adecuada para manejar la carga de refrigeración "enfriando" el aire desde la temperatura de entrada a la temperatura del espacio. Mientras la temperatura de entrada sea menor, menos cantidad de aire requerirá, pero es lógico que esta temperatura no puede ser menor de ciertos límites.

La temperatura del aire de entrada varia en general de 5 °F a 20 °F por debajo de la temperatura deseada.

La temperatura de entrada debe ser, por general 2 °F por debajo de la temperatura del cuarto por cada pie entre el piso y el techo.

Los esquemas de la figura 21 muestra como se puede manejar el aire requerido en un espacio por refrigerar.

Una vez obtenida la carga de refrigeración de un espacio, la cantidad de aire se calcula tomando en cuenta la carga de entalpía sensible.

$$Q_s = M C_p (t_i - t_d) \text{-----(48)}$$

Donde:  $Q_s$  = Ganancia de entalpía sensible en BTU·h<sup>-1</sup>.

$M$  = Aire suministrado en lb·h<sup>-1</sup>.

$t_i$  = Temperatura del espacio en °F (BS)

$t_d$  = Temperatura de entrada al espacio en °F (BS)

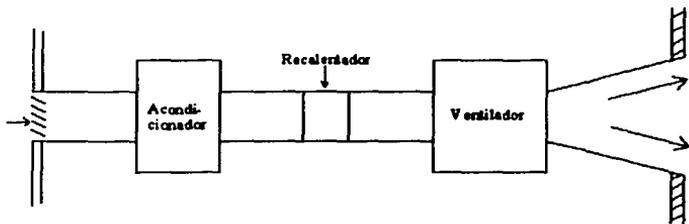
$c_p$  = Calor específico del aire en BTU·(lb·°F)<sup>-1</sup>.

O bien:

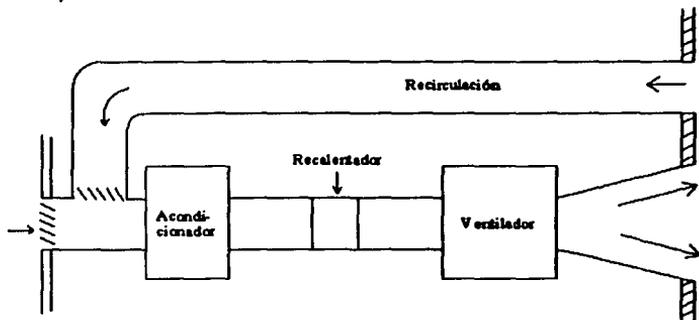
$$Q_s = 1.09 (t_i - t_d) V \text{-----(49)}$$

Donde:  $V$  = Aire suministrado en pies<sup>3</sup>·min<sup>-1</sup>.

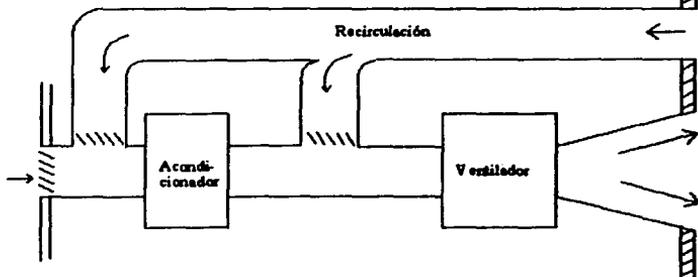
**FIG. 21 INSTALACIONES PARA MANEJAR EL AIRE REQUERIDO PARA UN ESPACIO POR ACONDICIONAR**



1) Todo el aire suministrado del exterior.



2) Recirculación y aire fresco.



3) Recirculación, aire fresco y retorno (by pass).

El mismo aire (M) que absorbe la carga de entalpía sensible con una cierta humedad específica (W) al incrementar dicha humedad a w2, absorbe también entalpía latente.

La entalpía latente puede considerarse, entre 1050 y 1060 BTU·lb<sup>-1</sup>. luego:

$$Q_L = M (w_i - w_d) \times 1050 \quad \text{-----}(50)$$

$$Q_L = M (w_i' - w_d') \times \frac{1050}{7000} \quad \text{-----}(51)$$

Donde:  $Q_L$  = ganancia de entalpía latente BTU·h<sup>-1</sup>.

$w_i$  = lb<sub>v</sub>·lb<sub>s</sub><sup>-1</sup> humedad específica del aire requerido dentro del volumen por acondicionar

$w_d$  = lb<sub>v</sub>·lb<sub>s</sub><sup>-1</sup> humedad específica del aire en los difusores.

$w_i'$  = granos·lb<sub>s</sub><sup>-1</sup> humedad específica del aire requerida dentro del volumen por acondicionar.

$w_d'$  = granos·lb<sub>s</sub><sup>-1</sup> humedad específica del aire en los difusores.

$M$  = lb·h<sup>-1</sup> de aire seco

El factor de calor sensible será:

$$FCSS = \frac{Q_s}{Q_s + Q_L} \quad \text{-----}(52)$$

Relación de entalpía-humedad (REH) por definición:

$$REH = \frac{h_i - h_d}{w_i - w_d}$$

Donde:  $h_i$  = entalpía del aire del espacio en BTU·h<sup>-1</sup>.

$h_d$  = entalpía del aire que entra al espacio en BTU·h<sup>-1</sup>.

Ahora para una libra de aire se tiene:

$$h_i - h_d = Q_t = Q_s + Q_L$$

$$w_i - w_d = \frac{Q_L}{1050}$$

$$REH = \frac{Q_t}{Q_t/1050} = \frac{Q_s + Q_L}{Q_t/1050} \text{-----(53)}$$

2.- Carga de refrigeración tratándose de refrigeración industrial.- El cálculo de la carga de refrigeración para el caso presente es similar al del aire acondicionado para comodidad, excepto algunas partidas que se analizarán a continuación.

Las cargas más comunes son:

- a) Las transmisiones de calor a través de barreras, o sea paredes, techos y pisos.
- b) La ganancia de calor debida al efecto solar.
- c) La ganancia de calor debida a la infiltración de aire.
- d) La ganancia de calor debida a los ocupantes.
- e) La ganancia de calor debida a máquinas, alumbrado o cualquier otro tipo de equipo que genere calor (equipo misceláneo).
- f) La ganancia de calor debida al aire por ventilación.
- g) La ganancia de calor debida a los productos por refrigerar.
- h) La ganancia de calor debida a la respiración de algunos productos.
- i) La ganancia de calor debida al tiempo que no funcionan los acondicionadores, durante el proceso de descongelamiento del evaporador.
- j) La ganancia de calor debido a los materiales de envoltura o envases.

Las tablas 13 a 24 proporcionan diversos valores y datos para calcular cargas de refrigeración industrial.

Los puntos a, d y e, se calculan de la misma manera que en aire acondicionado para comodidad. Explicados anteriormente.

Punto b).- Ganancia de calor debida al efecto solar.- La Sociedad Americana de Ingenieros en Refrigeración (ASRE<sup>2</sup>), recomienda tomar en cuenta la ganancia de calor debida al efecto solar incrementando la diferencia entre la temperatura de diseño exterior y la de diseño interior, al calcular la ganancia por transmisión en barreras debida a la diferencia de temperaturas, o sea:

$$Q = A U (t_e - t_i + k) \text{-----}(54)$$

Donde: k = Incremento en °F, debido al efecto solar y que se encuentra tabulada de acuerdo con la orientación y color de la pared (ver tabla 17)

Punto c).- Ganancia de calor debida a la infiltración de aire.- En los frigoríficos industriales por lo general no tienen ventanas y las puertas están selladas de manera que no existe infiltración por las ranuras. Sin embargo, se acostumbra tomar en cuenta los cambios de aire debido a las aberturas de puertas y filtración de aire. Las tablas 18 y 19 , proporcionan los cambios promedio de aire en 24 horas. Que pueden esperarse en un almacén de acuerdo con el volumen del cuarto y con la temperatura.

Punto f).- Ganancia de calor debida al aire para ventilación.- Tratándose de refrigerar ciertos productos, en muchas ocasiones se requiere una ventilación especial, así como controlar rigurosamente la humedad del aire para preservar el producto a refrigerar.

---

<sup>2</sup> Por sus siglas en ingles.

Punto g).- Ganancia de calor debida a los productos por refrigerar.

i) Entalpia sensible arriba del punto de congelación.- Cuando un producto entra a un espacio refrigerado, con una temperatura mayor que la del propio espacio, el producto cede calor hasta que se enfría a la temperatura del ambiente. Cuando esa temperatura está arriba del punto de congelación, el calor cedido ( $Q$ ) se llama "entalpia sensible arriba del punto de congelación" y se calcula de la siguiente manera:

$$Q_1 = W \times C_1 \times (t_2 - t_1) \quad \text{-----}(55)$$

Donde:  $Q_1$  = Calor cedido en BTU/h

$C_1$  = Capacidad calorífica del producto en  $\text{BTU} \cdot (\text{lb } ^\circ\text{F})^{-1}$  (ver tablas 20 a 23) arriba del punto de congelación.

$W$  = Peso del producto manejado en  $\text{lb} \cdot \text{h}^{-1}$ .

$t_1$  = Temperatura del espacio en  $^\circ\text{F}$ .

$t_2$  = Temperatura de entrada en  $^\circ\text{F}$ .

ii) Entalpia latente de congelación.- Si el producto se congela, este cederá el calor latente mientras cambie de estado a la temperatura de congelación.

$$Q_2 = W h_c \quad \text{-----}(56)$$

Donde:  $Q_2$  = calor latente de congelación cedido al espacio en  $\text{BTU} \cdot \text{h}^{-1}$ .

$W$  = Peso del producto en  $\text{lb/h}$ .

$h_c$  = Entalpia latente de congelación del producto en  $\text{BTU} \cdot \text{h}^{-1}$  (ver tablas 20 a 23)

iii) Calor sensible por debajo del punto de congelación.- Cuando se requiere refrigerar el producto debajo del punto de congelación, la carga de calor se calcula de la siguiente manera:

$$Q_3 = W \times C_2 \times (t_c - t_3) \quad \text{-----}(57)$$

Donde:  $Q_3$  = Calor cedido en  $\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}$ .

$C_2$  = Capacidad calorífica del producto por debajo del punto de congelación  $\text{BTU}\cdot(\text{h}\cdot^\circ\text{F})^{-1}$  (ver tablas 20 a 23).

$t_c$  = Temperatura de congelación en  $^\circ\text{F}$ .

$t_3$  = Temperatura final en  $^\circ\text{F}$ .

Punto h).- Ganancia de calor debida al calor por respiración de algunos productos.- Los vegetales y frutas se encuentran aún después de ser cortados y continúan sufriendo cambios metabólicos en el lugar de almacenamiento.

El cambio más importante se debe a la respiración, proceso durante el cual el oxígeno del aire se combina con los carbohidratos resultando bióxido de carbono y calor.

El calor que se obtiene se llama "calor de respiración" y debe considerarse para la carga total de refrigeración.

La tabla 21 proporciona el calor de respiración por libra y por hora de los productos más comerciales.

$$Q = W \times R \quad \text{-----}(58)$$

Donde:  $Q$  =  $\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}$

$R$  = Calor por respiración en  $\text{BTU}\cdot(\text{lb}\cdot\text{h})^{-1}$

W= Peso del producto en lb.

*Nota.- Observando la tabla 24 podemos apreciar que entre más baja sea la temperatura del espacio más bajo es el calor de respiración, por esta razón es que se puede programar la cosecha al aplicarse aire acondicionado en un invernadero.*

Punto i) Ganancia de calor debida a la congelación del evaporador, a veces es más baja que la del punto de congelación de la humedad del aire, por lo que en los serpentines se forma una capa de hielo, que baja la transmisión de calor y por lo tanto, la eficiencia. Es pues indispensable eliminar esa capa de hielo, lo cual se lleva a cabo de varias maneras.

- i) Descongelamiento cuando se interrumpe el ciclo.- Este sistema consiste en dejar recircular el líquido antes de la expansión, durante el tiempo necesario para que se realice el descongelamiento total. Este sistema consume bastante tiempo, y por lo tanto, se requiere recuperar la carga perdida durante ese lapso.
- ii) Descongelamiento con agua.- En este sistema, se interrumpe el ciclo y se hace pasar agua por el exterior del serpentín hasta que se descongela.
- iii) Descongelamiento automático.- En este caso se calientan los tubos del evaporador, por medios ajenos al sistema, como calentadores eléctricos, de agua caliente o gases calientes que salen del compresor.

Como en todos los sistemas descritos se interrumpe el ciclo, por lo tanto, se requiere recuperar el calor que se dejó de absorber durante ese tiempo.

Supongamos que el tiempo que se interrumpe un sistema es de dos horas diarias, entonces:

$$\frac{\text{Carga modificada}}{\text{Horas}} = \frac{\text{Carga calculada en 24 horas}}{22} \text{-----(59)}$$

Punto j).- Ganancia de calor debida a las envolturas o envases.- Cuando el producto está contenido en botellas, cajas, envolturas, etc., el calor cedido por éstos debe considerarse en el cálculo de la carga total.

$$Q = W \times C_e (t_2 - t_1) \text{-----(60)}$$

Donde:  $Q =$  Calor en  $\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}$ .

$W =$  Peso de las envolturas en  $\text{lb}\cdot\text{h}^{-1}$ .

$C_e =$  Capacidad calorífica del material en  $\text{BTU}\cdot(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})^{-1}$ .

$t_2 =$  Temperatura de entrada en  $^\circ\text{F}$ .

$t_1 =$  Temperatura de salida en  $^\circ\text{F}$ .

Punto k.- Ganancia de calor debida al aire para ventilación o perdidas por renovación de aire ( $Q_{ren}$ ).- Como su nombre lo indica es el valor cedido por el aire de ventilación.

$$Q_{ren} = R \times V \times w \times c_p \times (t_i - t_e) \text{-----(61)}$$

Donde:  $Q_{ren} =$  Calor en  $\text{BTU}\cdot\text{h}^{-1}$ .

$R =$  Número de renovaciones por hora ( $\text{h}^{-1}$ ) del volumen de aire del invernadero. Es una función de la estanqueidad del invernadero y de la velocidad del viento exterior. Ver tabla 27.

$V =$  Volumen del invernadero en  $\text{pie}^3$ .

$w$  = Peso específico del aire en  $\text{lb}\cdot\text{pie}^3$ .

$c_p$  = Calor específico del aire en  $\text{BTU}\cdot(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})^{-1}$ .

$t_i$  = Temperatura interior en  $^\circ\text{F}$ .

$t_e$  = Temperatura exterior en  $^\circ\text{F}$ .

**Nota:** *las tablas mencionadas es este CAPITULO se encuentran en el ANEXO A.*

## CAPITULO V: LUZ

### A. RADIACION SOLAR

La energía que en forma de radiación electromagnética se origina de las fusiones termonucleares que se llevan a cabo en el centro del sol, es desprendida y viaja a través del espacio a  $300,000 \text{ km}\cdot\text{seg}^{-1}$ , en forma de radiación, es de diferentes longitudes de onda (fig. 22).

La energía luminosa o energía de la luz que puede verse a simple vista, constituye alrededor de un 40 a 60 % de la energía total de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra.

La porción infrarroja de la radiación solar (cuya longitud de onda es mayor que la porción roja del espectro visible) constituye alrededor de un 50 % de ésta y es la que percibimos en forma de calor.

El sobrante de la radiación solar está constituido principalmente por las radiaciones ultravioleta, cuya longitud de onda es más corta que la de la porción violeta del espectro visible.

Tres cosas pueden pasarle a la radiación solar cuando choca con algún material (la superficie de nuestro planeta por ejemplo), puede ser reflejada, transmitida o absorbida.

La forma en que la radiación solar es reflejada, depende de la textura de la superficie que la refleja. Por ejemplo una pared de ladrillo o bien los gases y polvo atmosféricos, debido a la irregularidad en que están dispuestas las moléculas que los forman, reflejan la radiación en forma desordenada o dispersa hacia todas las direcciones, originando la llamada

"luz difusa". En cambio una superficie uniforme o pulida como un espejo o la superficie de un lago, reflejan la radiación solar de manera uniforme (reflexión especular). El ángulo de incidencia de los rayos solares en este caso es igual al ángulo de reflexión de los mismos (fig. 23). El ángulo que los rayos del sol tienen en relación con una línea perpendicular a una superficie, se llama ángulo de incidencia y determina el porcentaje de luz directa interceptada por dicha superficie. Mientras más cercano a los  $0^\circ$  sea el ángulo de incidencia de los rayos solares con la perpendicular de una superficie, mayor será la energía que ésta reciba. A un ángulo de  $90^\circ$ , el porcentaje de radiación solar interceptada por una superficie es igual a cero.

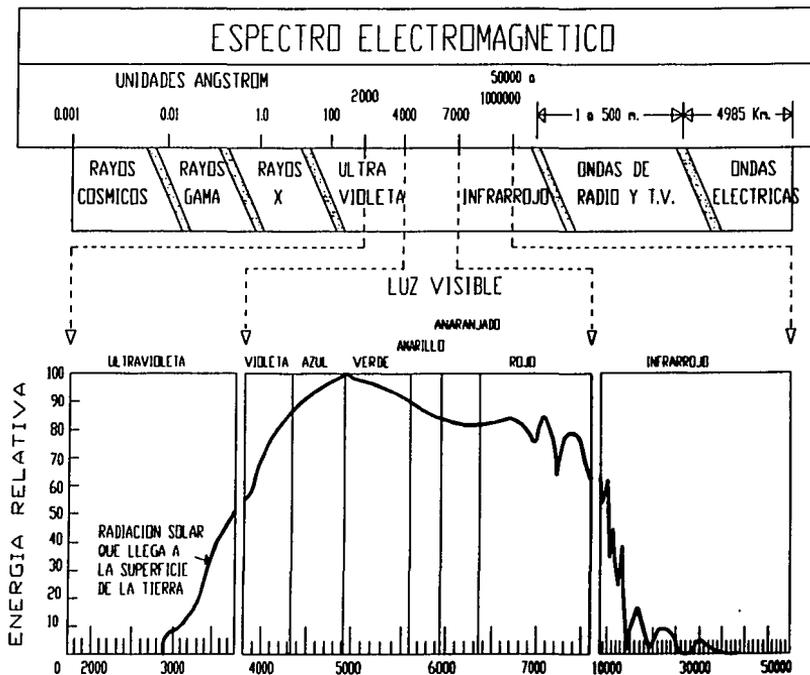
Esta es la razón que determina las diferencias de temperatura a lo largo de la superficie de la tierra. Al nivel del ecuador, el ángulo de incidencia es cero ó cercano a cero por lo que la energía recibida es alta, mientras que en los polos es mucho mayor el ángulo, lo que determina que estas zonas reciban menor cantidad de energía solar. Lo que sucede también es que a medida que el ángulo de incidencia de los rayos es mayor, la reflexión de ellos también aumenta. Las zonas polares, por lo tanto, reflejan mayor cantidad de energía solar lo que determina obviamente que sean más frías.

La radiación es transmitida o absorbida cuando penetra a través de un material. Si éste permite el paso de la mayor parte del espectro visible se dice que es transparente (por ejemplo, el vidrio), si dispersa o desvía parte de la radiación entonces se dice que es translúcido.

A medida que un material o un cuerpo absorbe radiación solar, la convierte en energía térmica o calor, esto sucede debido a que el movimiento vibratorio de las moléculas que

FIG.22 LONGITUD DE ONDA EN UNIDADES ANGSTROM (Å)

Diagrama que representa el aspecto electromagnético total, dividido en sus respectivas subunidades. La línea curva continua representa la cantidad relativa de energía solar que llega a la superficie terrestre. Una unidad angstrom es la diezmillonesima parte de un milímetro.



constituyen dicho material aumenta y con esto también su contenido de calor. Mientras más rápido sea el movimiento, mayor será la temperatura del material.

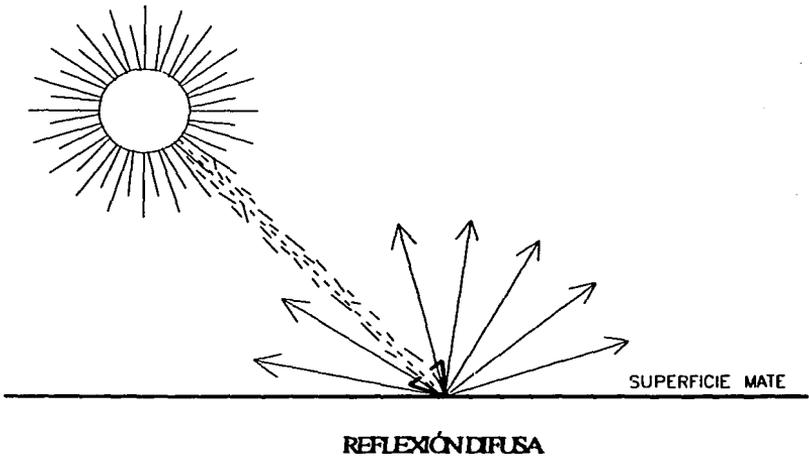
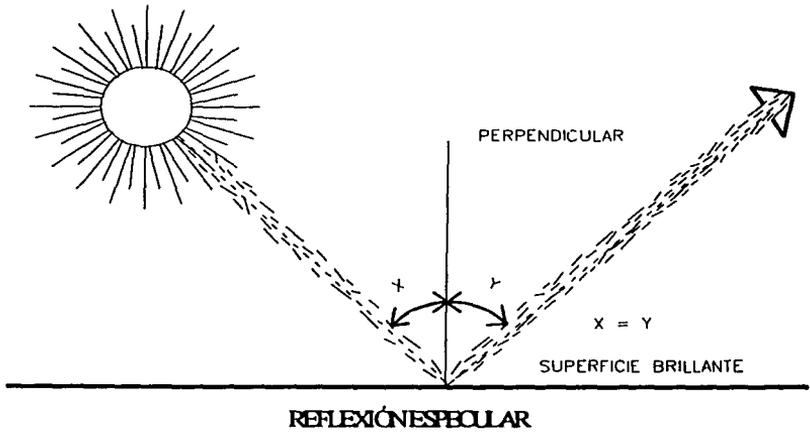
La radiación solar es la fuente primaria de todos los procesos físicos y biológicos de la tierra. Las hojas de los árboles, las algas unicelulares, el maíz, la caña de azúcar, etc., son captadores de la radiación solar. La agricultura en sí misma constituye una técnica para la explotación de la energía solar, que se hace posible gracias al agua y los nutrientes del suelo.

Durante el día, la radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra, en parte es reflejada por las nubes y gases en la parte alta de la atmósfera, y en parte es absorbida. Esta última es la radiación neta y constituye la energía aprovechable para el mantenimiento de la temperatura de la superficie terrestre. En la noche la radiación neta es negativa; esto significa que se pierde hacia el espacio exterior a través de radiación de honda larga y no se aprovecha. El balance de la radiación neta varía ampliamente en todo el mundo, dependiendo de la longitud y altitud de cada zona, marcando los límites para poder realizar agricultura básica.

La eficiencia de los cultivos para aprovechar la radiación neta ya ha sido medida y se ha demostrado que un cultivo ordinario convierte a materia orgánica menos de 1% de energía solar aprovechable.

Es evidente que comparada con los otros factores ambientales esenciales como la temperatura o la humedad que afectan el crecimiento y la vida de los vegetales sobre la superficie de nuestro planeta, la luz debe considerarse como el más importante. La luz proporciona la energía esencial para convertir el bióxido de carbono y el agua durante el proceso fotosintético y mediante la clorofila de las plantas, en carbohidratos (azúcares) y oxígeno.

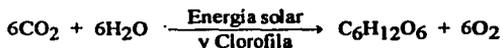
**FIG.23 TIPOS DE REFLEXIÓN**



Estos carbohidratos además de constituir por si mismos un alimento básico, son el sustrato esencial para la síntesis de proteínas, grasas y vitaminas necesarias para la vida de las plantas todos los demás organismos vivos.

Para que se realice la fotosíntesis, se requiere una intensidad relativamente alta de luz, es decir, una longitud de onda que oscile entre 4000 y 7500 angstroms; las plantas verdes crecen normalmente solo cuando están expuestas a la combinación de la mayoría de las longitudes de onda luminosas. El oxígeno que se libera durante la fotosíntesis, es la fuente de donde se deriva el oxígeno atmosférico que plantas y animales consumen durante la respiración. La mayor parte de los combustibles y energéticos que utilizamos, como el petróleo y otros provienen de la fotosíntesis del periodo geológico pasado.

En la fotosíntesis, proceso esencial para la vida, que puede almacenar al año más de un millón de billones de kilo calorías en forma de alimento, puede concretarse químicamente mediante la siguiente reacción:



Sin este proceso fotosintético simplificado por la reacción, el mundo que conocemos no podría existir, sería un mundo monótono, sin formas elevadas de vida. Con seguridad sería físicamente diferente, con una atmósfera deficiente en oxígeno gaseoso y con procesos acelerados de erosión en toda la superficie terrestre que no estaría protegida por la vegetación.

Además de la utilización de la radiación solar en el proceso fotosintético, la luz juega un papel muy importante en la morfogénesis, la cual regula el crecimiento, desarrollo y diferenciación de las plantas. Estos fenómenos llamados genéricamente fotomorfogénéticos son regulados por la luz a través del sistema de pigmentos fitocromos.

Este sistema de pigmentos fitocromos se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, desde algas hasta plantas con flores. Su localización y concentración en células específicas se hace evidente entre otros fenómenos, por la fotoinducción de antocianinas que depende de la excitación del fitocromo a través de transferencias de energía, es decir, tiene propiedades fotorreversibles.

Los cambios en la producción del rojo e infrarrojo (R/IF) dentro del rango encontrado en la naturaleza, resultan en una constante alteración en la proporción de Pfr (forma activa del fitocromo). Conforme disminuye esta proporción, el estado fotoestacionario (Pfr/Pt) provoca cambios en el desarrollo de la planta.

Diferencias relativamente pequeñas en el fotoequilibrio del fitocromo bajo irradiación continua, resultan en grandes efectos morfológicos. Los efectos de la disminución del Pfr sobre el desarrollo son variados, incluyendo extensión del tallo, extensión del peciolo, disminución en la extensión de la hoja, cambios en el contenido de pigmentos, etc.

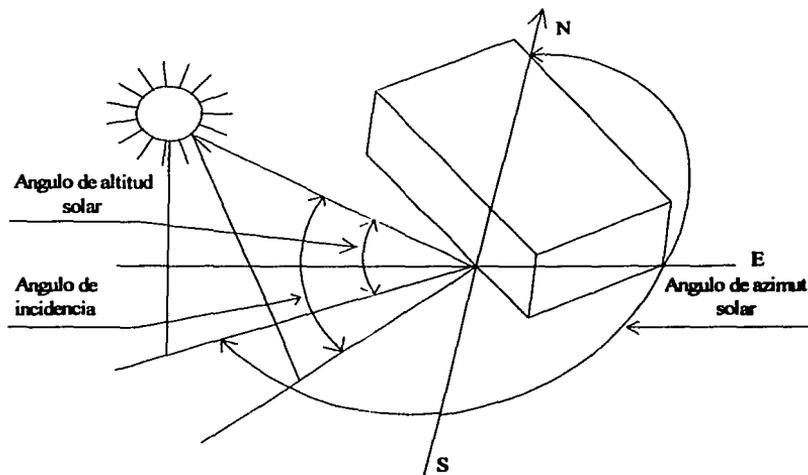
Las plantas responden a la luz de diferente manera: la luz además de disparar y regular la fotosíntesis y la síntesis de clorofila, es esencial para la formación de otros pigmentos vegetales, como son carotenos, las xantofilas y las antocianinas. La luz regula la apertura y cierre de los estomas, órganos que realizan la transpiración y el intercambio gaseoso en las hojas; ajusta los relojes biológicos internos y modifica ciertos caracteres genéticos como el tamaño y forma de las plantas; tamaño, movimiento, forma y color de las hojas; longitud de

los entrenudos del tallo; producción de flores, tamaño y forma de las mismas; movimiento de los pétalos; producción de frutos, tamaño, forma y color de los mismos. Es bien sabido también, que la luz afecta íntimamente algunas características internas de las células como son la viscosidad del protoplasma y el tamaño y forma de los organelos en la porción protoplasmática de las células vegetales.

### **B. ENERGIA SOLAR A TRAVES DE LOS CRISTALES**

Un cristal ordinario absorbe alrededor del 6% de la energía solar y refleja o transmite el resto (fig. 24).

**FIG.24 ANGULOS SOLARES**

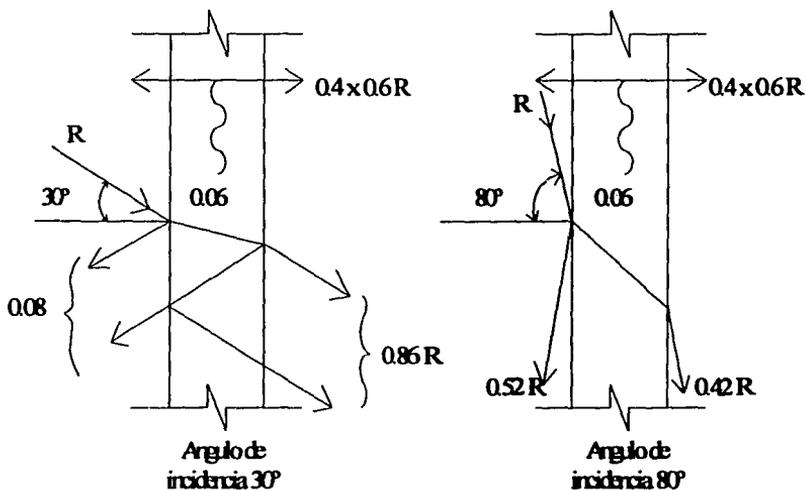


La relación de la energía transmitida con la energía reflejada depende del ángulo de incidencia.

Como se vio en el capítulo anterior, se cuenta con tablas experimentales que según la latitud, tiempo del año y orientación de la ventana, nos proporcionan la energía solar que entra al espacio considerado. Se supone que la energía radiante transmitida por una ventana no afecta la diferencia de temperatura que hay a los lados de dicha ventana (ver tabla 7 en el ANEXO A).

Cuando los rayos solares chocan contra una ventana de cristal ordinario se comportan como se aprecia en la figura 25.

FIG. 25 COMPORTAMIENTO DE LOS RAYOS SOLARES AL CHOCAR  
CONTRA EL CRISTAL DE UNA VENTANA

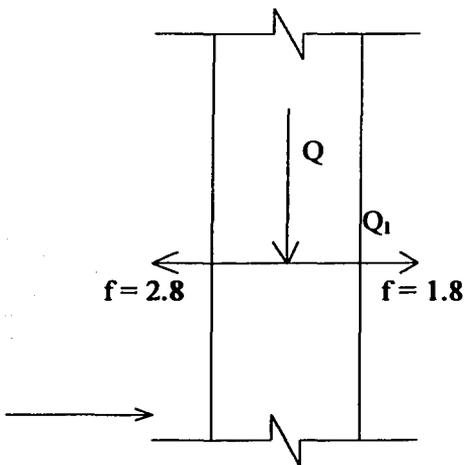


El calor que absorbe el cristal, es el 6 % de calor total incidente; de este 6 % se transmite al espacio 40 %, o sea, 2.4 %.

El 40 % transmitido al espacio depende del coeficiente de la película exterior ( $2.8 \text{ BTU} \cdot (\text{h} \cdot \text{pie}^2 \cdot ^\circ\text{F})^{-1}$ ) (ver fig. 26).

Cuando el ángulo de incidencia es de  $30^\circ$ , el calor ganado en el espacio vale  $0.4 \times 0.06R + 0.86R = 0.88R$ , y cuando el ángulo de incidencia es de  $80^\circ$ , el calor ganado en el espacio vale  $0.4 \times 0.06R + 0.42R = 0.44R$ , Donde  $R$  es el calor recibido en el cristal.

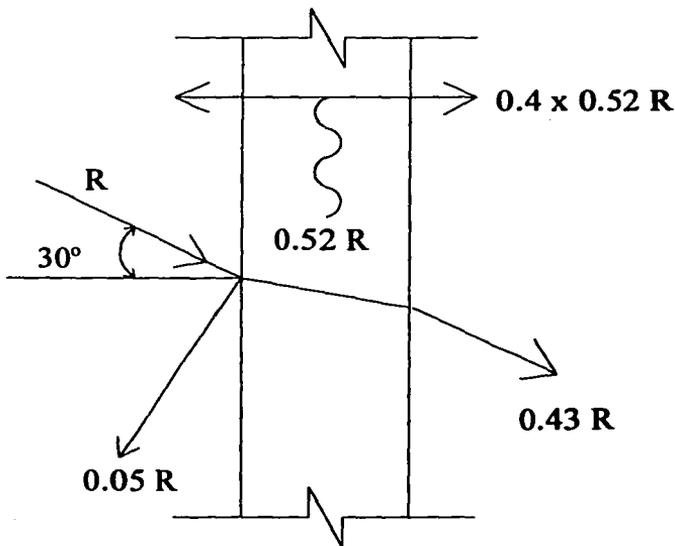
FIG.26 DISTRUBUCIÓN DEL CALOR ABSORVIDO POR EL CRISTAL



Cuando los cristales no son ordinarios, éstos absorberán más calor si son de mayor espesor y viceversa. Además existen otros cristales tratados especialmente para absorber una mayor cantidad de calor (ver tablas 25 y 27 en el ANEXO A).

La distribución de calor en un cristal que absorbe el 52% se representa gráficamente en la figura 27. Como puede verse, este cristal especial absorbe más calor, permite menos paso de calor que uno ordinario.

FIG. 27 DISTRIBUCIÓN DEL CALOR RECIBIDO POR UN CRISTAL



### **C. TEMPERATURA Y BIÓXIDO DE CARBONO**

La temperatura es un factor ambiental que afecta a la fotosíntesis. Las plantas para crecer no necesitan energía calorífica, pero requieren estar dentro de ciertos límites de temperatura; por ejemplo los pepinos y la lechuga entre 5° y 15° C.

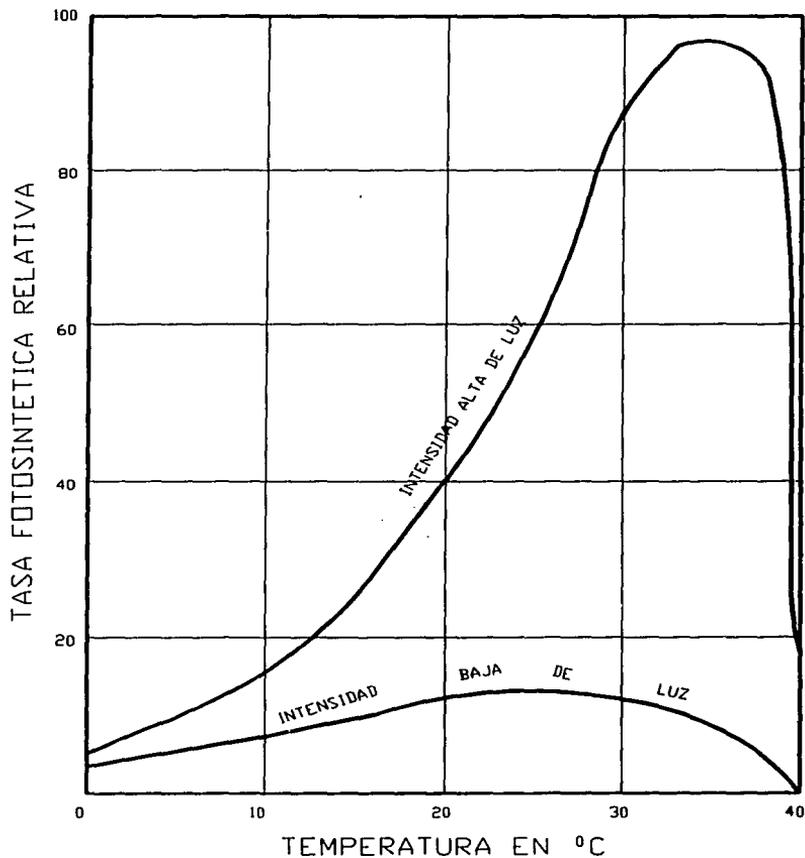
El rango de temperatura dentro del cual la fotosíntesis se puede efectuar varía dependiendo del tipo de planta. En las plantas alpinas se ha observado que la fotosíntesis se efectúa a temperaturas menores de 0° C. El límite superior para desarrollo de la mayoría de las plantas fluctúa entre los 35° y 40° C.

Los tres mecanismos que pueden regular la temperatura en las plantas son: la radiación, la transpiración y la convección. La temperatura puede modificar el equilibrio de absorción e hidratación de los coloides en el protoplasma de las células y el cambio de viscosidad resultante puede modificar significativamente la eficiencia del aparato fotosintético. Estas son principalmente las razones por las cuales la temperatura debe regularse durante el cultivo de la planta, si se esperan óptimos resultados en la producción.

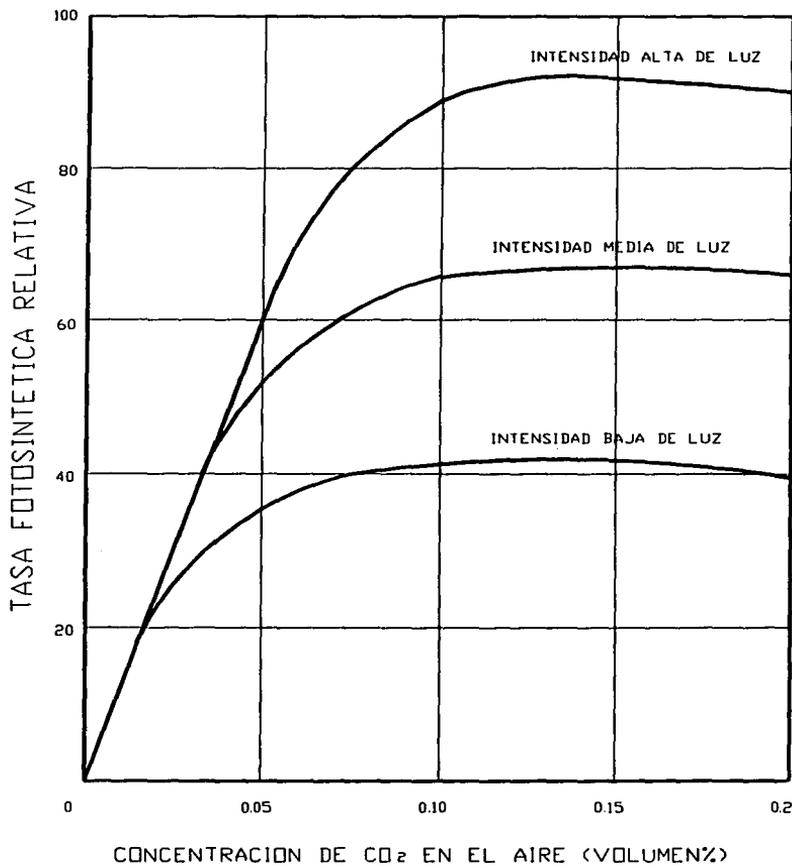
En términos generales, la fotosíntesis se incrementa en proporción al incremento de temperatura y de bióxido de carbono del aire, hasta un punto donde algún otro factor o factores se vuelven limitantes (figuras 28 y 29).

La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es muy baja 300 PPM (0.03 %); sin embargo se incrementa actualmente en forma muy importante debido a la quema de los combustibles y a la industrialización, especialmente cerca y dentro de las grandes ciudades. Un invernadero cerrado y lleno de plantas puede tener concentración en la noche de 500 PPM debido a la respiración de las plantas, pero durante el día la concentración de CO<sub>2</sub> puede bajar a

FIG.28 RELACIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS CON EL AUMENTO DE TEMPERATURA, A ALTA Y BAJA INTENSIDAD DE LUZ



**FIG. 29 RELACIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS CON LA CONCENTRACIÓN DE BIÓXIDO DE CARBONO A DIFERENTES INTENSIDADES DE LUZ**



alrededor de 150 PPM. Las aplicaciones prácticas de estos conocimientos han conducido a los agricultores a intentar enriquecer el aire, especialmente en invernaderos y cámaras de crecimiento, con una mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  para incrementar la fotosíntesis y de esta manera la productividad de las plantas.

También se han intentado en cultivos en el campo, llevando el gas en pipas y liberándolo sobre el cultivo.

Cabe mencionar que las plantas pueden sufrir trastornos y deformaciones si la concentración de  $\text{CO}_2$  es muy baja y el riego es en exceso.

El enriquecimiento de la atmósfera de un invernadero con bióxido de carbono, ha incrementado la productividad de ciertas hortalizas más del 100 %. La mayoría de las plantas responde favorablemente al incremento del bióxido de carbono de la atmósfera, el cual al ser absorbido en mayores cantidades permite una mayor síntesis de carbohidratos y, por lo tanto, más cantidad de materia orgánica vegetal aprovechable, por lo que aumenta el rendimiento, reduce el periodo de crecimiento, aumenta la calidad de las plantas y alarga el periodo post-cosecha.

Los invernaderos utilizan como fuente de  $\text{CO}_2$  al hielo seco,  $\text{CO}_2$  líquido comprimido, gas natural o aceites combustibles con bajo contenido de sulfuro. El propano, gas natural y keroseno son los combustibles más utilizados.

Los tres factores ambientales que se han considerado: luz, temperatura y bióxido de carbono, son probablemente los más importantes para el crecimiento de las plantas; sin embargo, algunos otros factores, tanto externos como internos pueden tener influencia importante. Entre éstos están: el suministro de agua, y el de nutrientes, así como el contenido de clorofila de las hojas.

## **D. TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS INVERNADEROS**

Un invernadero es un intercambiador excepcional de calor, en el cual todas las formas de transferencia térmica tienen lugar: 1) por conducción, 2) por convección y 3) por medio de radiaciones visibles y radiaciones infrarrojas cercanas y lejanas.

1) La conducción es el proceso mediante el cual, la energía calórica es transferida a través de las moléculas de un material o cuerpo, o entre dos que están en contacto físico, por interacción molecular directa. La dirección del flujo de calor es siempre del cuerpo caliente al frío. La velocidad del flujo de calor o conductibilidad térmica de un cuerpo, depende de la capacidad de sus moléculas de recibir y enviar el calor.

2) La convección es la transferencia de calor, desde la superficie de un cuerpo o un fluido, hacia las moléculas de otro fluido adyacente o viceversa. En la convección el calor fluye también del cuerpo caliente al frío. A mayor diferencia de calor entre los dos cuerpos, mayor será la transferencia de calor.

3) La radiación de energía térmica, es un proceso continuo que todos los cuerpos o materiales efectúan, es decir, constantemente están radiando calor en todas direcciones. Esto se debe al movimiento de vibración continua de las moléculas de su superficie (medido como temperatura). La cantidad de energía térmica que un material radia, depende de la temperatura de la superficie radiante. Además, el flujo de la radiación térmica de una superficie depende, no solo de la temperatura de la misma, sino también de su capacidad emisiva. En general, la mayoría de los materiales son buenos emisores de la radiación térmica, esto es que la radian fácilmente. Sin embargo no todos los materiales la absorben, algunos la reflejan y/o la transmiten.

La capacidad de una superficie de reflejar la radiación térmica depende más de su densidad y su composición que de su calor. El calor es un buen indicador de la capacidad que tiene una superficie de reflejar la radiación térmica. La mayoría de los materiales de construcción sin considerar su color, actúan como un "cuerpo negro" absorbiendo la mayor parte de la radiación térmica que interceptan. Un "cuerpo negro" es un material ideal que es capaz de absorber y emitir perfectamente la radiación.

Solo las superficies pulidas o brillantes, como la lámina de aluminio, reflejan en general grandes cantidades de la radiación térmica que interceptan, aunque son pobres emisoras de la misma. Esto ultimo quiere decir que aunque radian muy poco calor a una temperatura dada, son capaces de reflejar mucho calor que reciben de algunas fuentes como el sol.

Los materiales que transmiten la radiación solar visible no necesariamente transmiten la radiación térmica. El vidrio, que permite el paso a través de su superficie de prácticamente de toda la radiación solar visible absorbe en cambio la mayor parte de la radiación térmica que intercepta. Esta propiedad del vidrio es altamente deseable para utilizarla en el almacenamiento de energía solar.

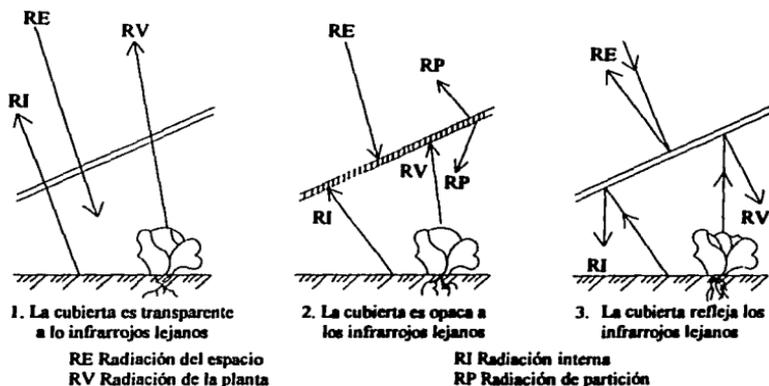
Para que haya intercambio de calor entre un invernadero y el exterior que lo rodea, debe haber una diferencia de temperatura entre ambos. La dirección del intercambio puede variar, de manera que siendo una ganancia durante el día, se convierta en pérdida durante la noche. Puesto que la estructura de un invernadero, las plantas y la atmósfera interna, representan una inercia térmica pequeña, el sistema globalmente hablando parece estar constantemente en un estado de balance térmico.

Cualquier modificación de uno de los elementos del sistema tiene una influencia sobre todos los elementos y modifica el balance. El piso del invernadero, que también tiene cierta

inercia térmica, funciona como rueda del balance; provoca el vacío de algunas horas, entre el periodo diurno que acumula calor y el nocturno, en el cual el calor es devuelto al exterior, es decir, que durante ese periodo permanece estático sin ganar ni perder calor.

El efecto de invernadero es una consecuencia de las propiedades ópticas de ciertas cubiertas transparentes, especialmente las de vidrio, que permiten el paso de una mayor parte de las longitudes de onda de la luz y de los rayos infrarrojos cercanos, es decir, la mayoría de la radiación solar; en cambio, el vidrio no permite el paso de los rayos infrarrojos lejanos, sino que los absorbe como si fuera un objeto negro ideal. Durante el día, la radiación absorbida por el suelo y las plantas dentro del invernadero es transformada en calor y el resto es reflejada. Dependiendo de la temperatura, tanto el suelo, como las plantas y la atmósfera interna radian este calor y el vidrio impide parcialmente su pérdida hacia el exterior, lo que determina el almacenamiento de calor adicional. Este principio es la base de la mayoría del calentamiento obtenido a partir de la energía solar (fig. 30).

FIG. 30 INTERCAMBIOS DE CALOR EN UN INVERNADERO



## **E. BALANCE DE LA ENERGIA DENTRO DEL INVERNADERO**

Este balance puede ser optimizado mediante la utilización apropiada de un techo con propiedades ópticas y térmicas especiales y sistemas efectivos de calentamiento, enfriamiento y ventilación. Estas modificaciones proporcionarían un microclima diferente a los cultivos del exterior, específicamente en lo que se refiere a :

- 1) La cantidad de radiación disponible para la fotosíntesis.
- 2) La temperatura de las hojas.
- 3) La concentración de bióxido de carbono.
- 4) La humedad relativa del aire.

Las propiedades ópticas del vidrio o cubierta transparente son de vital importancia. La mayoría de los materiales utilizados, cuando están limpios, reducen la radiación solar incidente aproximadamente en un 20 ó 30 %. Sin embargo, las modificaciones de la radiación solar no solo son cuantitativas, sino también cualitativas; la fracción difusa de la radiación solar medida dentro del invernadero es mayor que en condiciones naturales. En términos generales el poder de dispersión de la luz que tienen los plásticos es mayor que el del vidrio. La distribución de la energía luminosa bajo la cubierta es más homogénea, lo que permite un uso más eficiente de la misma.

No todos los materiales transparentes tienen necesariamente las propiedades ópticas del vidrio; por ejemplo, el polietileno deja pasar de preferencia luz y radiaciones infrarrojas cercanas y lejanas, y prácticamente no las absorbe. Consecuentemente los invernaderos con polietileno son menos calientes que los de vidrio y tienden a enfriarse más rápidamente durante la noche. Sin embargo, existen medios para minimizar el fenómeno de enfriamiento

nocturno mediante calentamiento adicional. Las cubiertas de polietileno se usan frecuentemente debido a su precio reducido, en comparación a otros materiales.

El material de recubrimiento ideal que podría proporcionar el mejor "efecto invernadero", debe ser transparente para los rayos infrarrojos cercanos y la luz, que son utilizados para la fotosíntesis y otros procesos biológicos, y reflejar perfectamente los infrarrojos lejanos que no son aprovechables por las plantas, sino que pueden tener efecto negativo al alterar el sistema, aumenta el calor y por consecuencia la transpiración de las plantas y el gasto de agua.

La pared del invernadero ofrece una resistencia considerable al flujo de calor entre éste y el medio que lo rodea, esta resistencia puede modificarse con la abertura de puertas y ventanas o el uso de elementos de ventilación mecánica. Este control de cambios de aire, modifica la relación existente bajo condiciones naturales entre los intercambios turbulentos de calor en forma de evaporación, pero también determina el control de la concentración de bióxido de carbono. Dentro del invernadero la temperatura de las paredes es más parecida siempre a la temperatura del ambiente exterior que a la del interior. Esta "barrera fría" en un invernadero calentado artificialmente y con ausencia de turbulencia, crea un sistema preferencial de intercambio por radiación entre la superficie de la cubierta vegetal o el suelo y la pared.

La temperatura que se recomienda para el óptimo crecimiento de los diversos cultivos, generalmente se refiere a la temperatura que debe tener el aire que rodea a las plantas y generalmente es suficiente para alcanzar condiciones adecuadas para el desarrollo; sin embargo no es útil para determinar la temperatura crítica de un cultivo o evaluar con precisión la eficiencia de las cubiertas y resguardos de diverso diseño; lo correcto sería

considerar la temperatura misma de la planta, que depende, entre otros factores, de la temperatura del suelo, las cubiertas, las condiciones externas y el balance de radiación entre los infrarrojos cercanos y lejanos; por eso es muy importante medir la temperatura al mismo nivel en que el cultivo se encuentra y no por arriba de él.

Debido a que el periodo más crítico lo constituye la noche, la temperatura propia de las plantas puede ser semejante al promedio de la del suelo, cuya importancia fue subestimada durante mucho tiempo, es un factor muy importante para el crecimiento de las plantas.

Durante los días nublados con baja cantidad de luz, frecuentemente es necesario reducir ligeramente la temperatura del invernadero, para disminuir el grado de respiración y conservar la reserva de carbohidratos durante estos periodos.

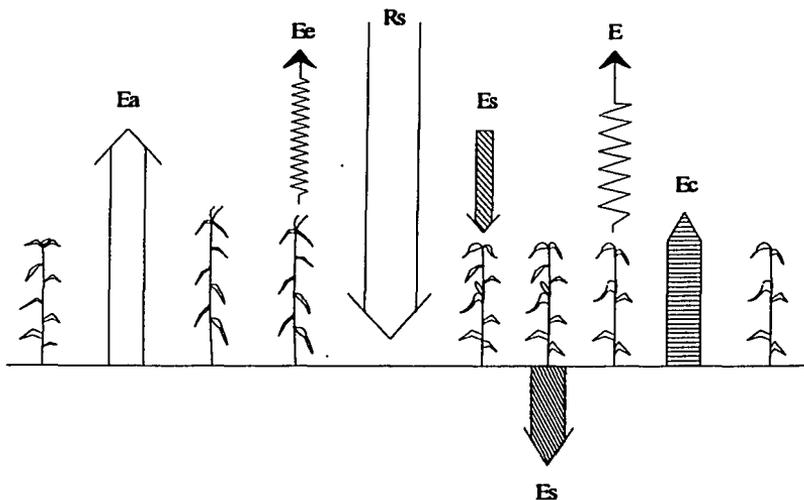
La temperatura de la planta no debe ser necesariamente constante. El régimen de calentamiento óptimo debe mantenerse principalmente durante el periodo fotosintético y las primeras horas de la noche, para permitir la transferencia de sustancias dentro de la planta; pero de la mitad de la noche hasta el amanecer, el invernadero puede enfriarse sin problemas, siempre y cuando no se llegue al mínimo crítico para el cultivo.

### **F. RADIACION INFRARROJA**

El balance en el intercambio de radiación de las longitudes de onda larga (infrarrojo cercano y lejano), varía considerablemente de acuerdo al tipo de material de la cubierta del invernadero y si éste permite el paso de radiación (polietileno) o no (vidrio, PVC). O bien si el vidrio tiene una emisión baja de onda larga al exterior. Las pérdidas del invernadero debidas a la radiación, son considerables comparadas con el balance establecido en

condiciones naturales y puede aumentar con la diferencia de temperatura entre el interior y exterior (figuras 31 y 32).

FIG. 31 BALANCE DE ENERGÍA EN CONDICIONES NATURALES



Este fenómeno puede aumentar enormemente el "efecto de invernadero" durante el día, pero durante la noche puede disminuir demasiado la temperatura, determinando un clima extremo y perjudicial, en el invernadero.

Para impedir que esto suceda, pueden adoptarse las siguientes medidas:

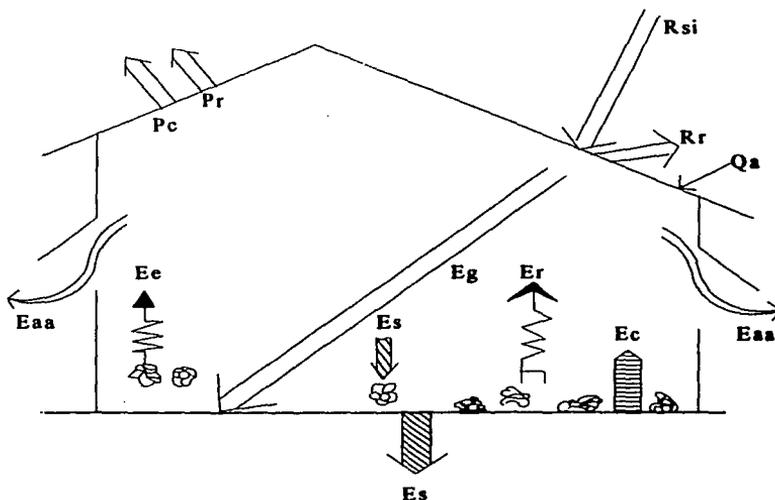
1. Uso de materiales que absorban el infrarrojo lejano.- En este punto puede decirse que las industrias plásticas han mejorado, considerablemente, el funcionamiento de las cubiertas para usos agrícolas (PVC y EVA, entre otros).

2. Uso de pantallas que reflejan el infrarrojo lejano (pantallas antirradiantes).- Estas pantallas aluminizadas se extienden por la noche sobre los cultivos. La ganancia o beneficio en el balance de calentamiento auxiliar puede variar de 10 a 30% de acuerdo a la calidad de la construcción.

3. Uso de vidrio transparente para los rayos visibles y reflejante para los rayos infrarrojos lejanos; este material está aún en periodo de experimentación y control.

4. Uso de una superficie reflejante perpendicular al piso.- En invierno, las plantas crecen bien cuando están sembradas a lo largo de las paredes debido a que ahí los intercambios son más intensos, para evitar los daños a las plantas, se propone reforzar las paredes con una cubierta de aluminio que refleje el infrarrojo.

FIG. 32 BALANCE DE ENERGÍA DENTRO DE UN INVERNADERO



- Rsi** = Energía solar incidente (radiación solar, luz visible, radiación roja, radiación infrarroja).
- Rr** = Porción reflejada de la Rsi.
- Eg** = Ganancia de energía (luz visible, radiación roja, radiación infrarroja).
- Qa** = Energía absorbida en la cubierta.
- Es** = Cantidad de energía ganada por el suelo y/o plantas.
- Er** = Cantidad de energía rerradiada (infrarroja) por el suelo y plantas.
- Ec** = Cantidad de energía removida del suelo y plantas al aire por convección.
- Ee** = Energía utilizada en la evaporación del agua.
- Pc** = Pérdidas por convección y conducción a través de la cubierta.
- Pr** = Pérdidas por radiación a través de la cubierta.
- Eaa** = Pérdida por convección por renovación de aire y agua.

## CAPITULO VI: PROYECTO Y PLANOS DEL INVERNADERO

### A. CALCULO DE AREAS

Lado sur      pared =  $5 \times 1 = 5 \text{ m}^2 = 53.80 \text{ pie}^2$   
cristal :      rectángulo =  $5 \times 1.5 = 7.5 \text{ m}^2$   
                  triángulo =  $\frac{5 \times 1.5}{2} = 3.75 \text{ m}^2$   
                  Area total del cristal =  $11.25 \text{ m}^2 = 121.05 \text{ pie}^2$

Lado norte      pared =  $4 \times 1 = 4 \text{ m}^2 = 43.04 \text{ pie}^2$   
cristal:          rectángulo =  $5 \times 1.5 = 7.5 \text{ m}^2$   
                  puerta (abajo) =  $1 \times 1 = 1.0 \text{ m}^2$   
                  triángulo =  $\frac{5 \times 1.5}{2} = 3.75 \text{ m}^2$   
                  Area total cristal =  $12.25 \text{ m}^2 = 131.81 \text{ pie}^2$   
                  Area total puerta =  $1 \times 1.8 \text{ m}^2 = 19.37 \text{ pie}^2$

Lados este, y oeste pared =  $10 \times 1 = 10 \text{ m}^2 = 107.60 \text{ pie}^2 \text{ c/u}$   
                  cristal =  $10 \times 1.5 = 15 \text{ m}^2 = 161.40 \text{ pie}^2 \text{ c/u}$   
                  techos =  $2.92 \times 10 = 29.20 \text{ m}^2 = 314.19 \text{ pie}^2 \text{ c/u}$   
                  ventanas =  $6(1 \times 0.80) = 4.8 \text{ m}^2 = 51.65 \text{ pie}^2 \text{ c/u}$

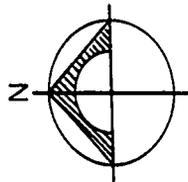
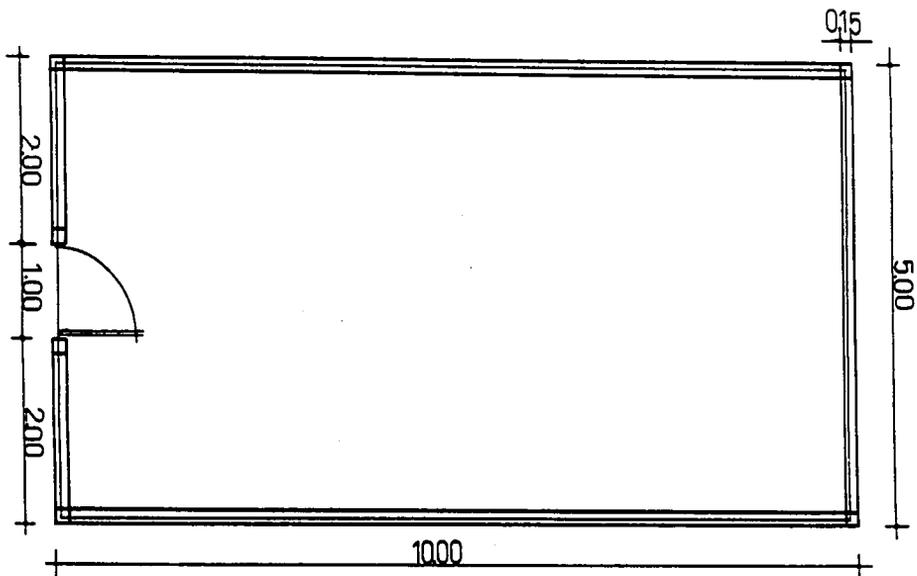


FIG. 33 VISTA DE PLANTA DEL  
INVERNADERO

ACOTACION:m      ESCALA: 1:50

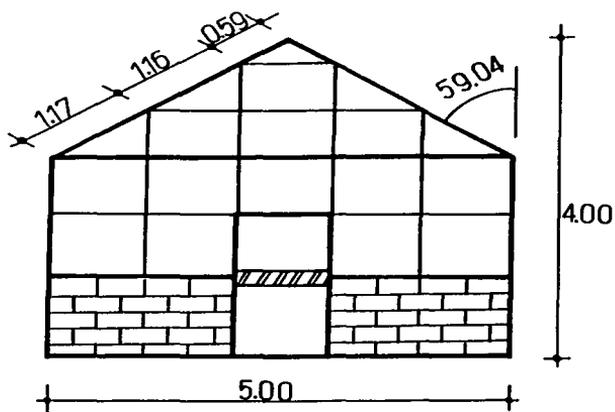


FIG. 34 VISTA NORTE

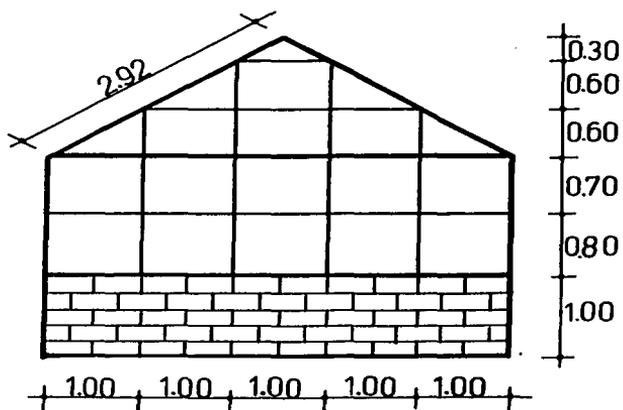


FIG. 35 VISTA SUR  
 ACOTACION:m      ESCALA:150

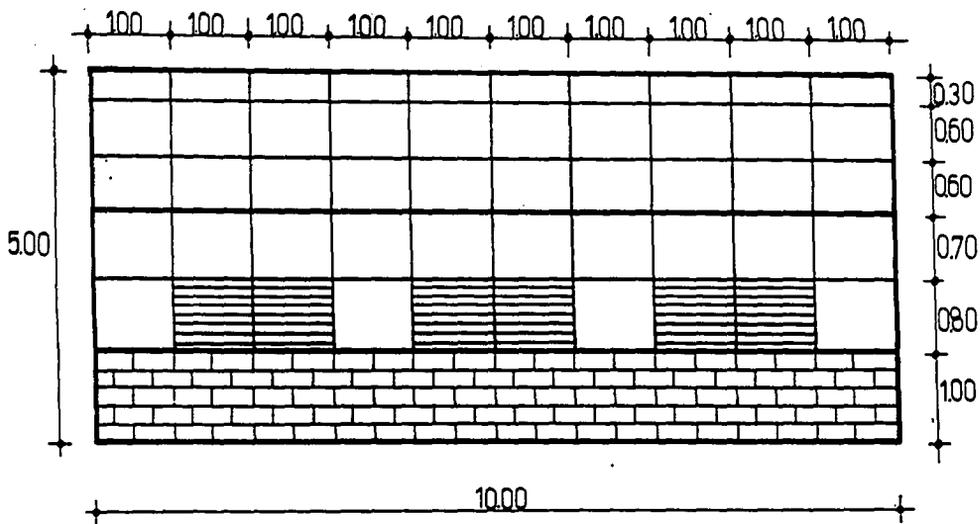


FIG. 36 VISTA ESTE U OESTE Y DISTRIBUCION  
DE VENTILAS (19.2% APROX. 200%)

ACOTACION:m ESCALA: 1:50

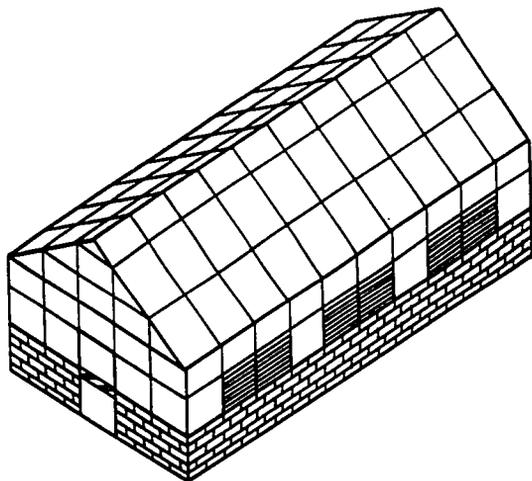


FIG 37 VISTA EN ISOMETRICO DEL INVERNADERO

## B. CONDICIONES DE DISEÑO

Latitud 19°. 37 norte

Longitud 99°.11 oeste

Altitud 2260 M.S.N.M. = 7414.70 P.S.N.M.

TBS = 30 °C = 86 °F (verano); 4 °C = 39 °F (invierno)

TBH = 17 °C = 63 °F

Presión Barométrica 585 mm. de Hg = 11.32 lb·(pulg<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>

Humedad Relativa (F) = 58 % (externa)

ti = 23 °C = 73 °F

Humedad relativa interna 75 %

Upared = 0.24 [BTU·(h·pie<sup>2</sup>·°F)<sup>-1</sup>]

Uvidrio = 1.06 en verano y 1.13 en invierno [BTU·(h·pie<sup>2</sup>·°F)<sup>-1</sup>]

## C. CARGAS DE CALENTAMIENTO

te = 39 °F

$\Delta t = (t_i - t_e) = 34 \text{ °F}$

1.- Calor perdido a través de paredes expuestas

$$Q_1 = U A (t_i - t_e)$$

Pared norte  $Q_{1N} = 0.24 \text{ [BTU·(h·pie}^2\text{·°F)}^{-1}] (43.04 \text{ pie}^2) (73 \text{ °F} - 39 \text{ °F})$

$$Q_{IN} = 351.2 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared sur } Q_{IS} = 0.24 (53.80) (34) = 439.01 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared este, y oeste } Q_{IE,O} = 0.24 (107.60) (34) = 878.02 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$Q_{IT} = Q_{IN} + Q_{IS} + 2Q_{IE,O} = 351.2 + 439.01 + 2 (872.02)$$

$$Q_{IT} = 2546.26 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

2.- Calor perdido a través de puertas y ventanas .- Como el resto de la estructura es con vidrio, se considera todo como si fuera ventana.

$$Q_2 = U A (t_i - t_e)$$

$$\text{Lado norte } Q_{2N} = 1.13 [\text{BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2\cdot^\circ\text{F})^{-1}] (131.81 \text{ pie}^2) (73^\circ\text{F} - 39^\circ\text{F})$$

$$Q_{2N} = 5064.14 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Lado sur } Q_{2S} = 1.13 (121.05) (34)$$

$$Q_{2S} = 4650.74 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Lados este, oeste } Q_{2E,O} = 1.13 (161.40 + 314.19) (34)$$

$$Q_{2E,O} = 18272.17 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$Q_{2T} = Q_{2N} + Q_{2S} + 2 Q_{2E,O} = 5064.14 + 4650.74 + 2 (18272.17)$$

$$Q_{2T} = 46259.22$$

3.- Infiltración por puertas y ventanas.- Se utilizara el método del volumen. Para esto se divide en dos partes geométricas el invernadero, que son:

a) rectángulo de  $2.5 \times 5 \times 10 = 125 \text{ m}^3 = 4413.75 \text{ pie}^3$

b) triángulo de  $\frac{1.5 \times 5 \times 10}{2} = 37.5 \text{ m}^3 = 1324.13 \text{ pie}^3$

$$\text{volumen} = 4413.75 + 1324.13 = 5737.88 \text{ pie}^3$$

De tabla 6 factor de infiltración con ventanas o puertas exteriores en tres lados :

$$f_i = 0.036$$

$$\Delta t = 34 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q_3 = V \Delta t f_i$$

$$Q_3 = 5737.88 \text{ pie}^3 (34 \text{ }^\circ\text{F}) (0.036)$$

$$Q_3 = 7023.17 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$Q = Q_{IT} + Q_{XT} + Q_3 = 2546.26 + 46259.22 + 7023.17$$

$$Q = \underline{55828.65}$$

para referencia al comprar equipo

Con 20 % mas (66994.38)

#### D. CARGA DE ENFRIAMIENTO

$$t_e = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

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

1.- Ganancia de calor a través de paredes

$$Q_1 = U A (t_e - t_i)$$

$$\text{Pared norte } Q_{IN} = 0.24 [\text{BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2\cdot^\circ\text{F})^{-1}] (43.04 \text{ pie}^2) (86 \text{ }^\circ\text{F} - 73 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$Q_{IN} = 134.28 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared sur } Q_{IS} = 0.24 (53.80) (13)$$

$$Q_{IS} = 167.86 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

Paredes este, oeste  $Q_{E,O} = 0.24 (107.60) (13)$

$$Q_{IS} = 335.71 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$Q_{IT} = Q_N + Q_S + 2 Q_{EO} = 134.28 + 167.86 + 335.71$$

$$Q_{IT} = \underline{973.56} \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

2.- Ganancia de calor debida al efecto solar .-

a) a través de los cristales.- tomando los valores de la tabla 7 para latitud  $20^\circ$  norte a las 4 P.M. hay que corregirlos para una T.R. =  $47^\circ\text{F}$  y una altitud de 7414.70 P.S.N.M. aumentando un 26 % a dichos valores

$$q = q' f_l A$$

$$f = 0.94$$

$$\text{Pared norte } q'_N = 33 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1} \text{ mas } 26 \% \quad q'_N = 41.58 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1}$$

$$q_N = 41.58 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1} \cdot (0.94) (131.81 \text{ pie}^2) = 5151.82 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared sur } q'_S = 74 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1} \text{ mas } 26 \% \quad q'_S = 93.24 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1}$$

$$q_S = 93.24 (0.24) (121.05) = 10609.50 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared este } q'_E = 12 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1} \text{ mas } 26 \% \quad q'_E = 15.12 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1}$$

$$q_E = 15.12 (0.94) (161.40) = 2293.95 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared oeste } q'_O = 165 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1} \text{ mas } 26 \% \quad q'_O = 207.90 \text{ BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2)^{-1}$$

$$q_O = 207.90 (0.94) (161.40) = 31541.76 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Techo este } q_{TE} = 15.12 (0.94) (314.19) = 4465.52 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Techo oeste } q_{TO} = 207.90 (0.94) (314.19) = 61400.89 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$Q_{2a} = q_N + q_S + q_E + q_O + q_{TE} + q_{TO}$$

$$Q_{2a} = 5151.82 + 10609.50 + 2293.95 + 31541.76 + 4465.52 + 61400.89$$

$$Q_{2a} = 116463.44 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

b) A través de paredes  $q = U \cdot t_e \cdot A$   $t_e$  de tabla 9

corrigiendo para  $\Delta t$  del lugar

$$\Delta t = 86^\circ\text{F} - 73^\circ\text{F} = 13^\circ\text{F} \quad 15 - 13 = 2$$

por lo tanto se suma 2 a la  $t_e$  obtenida

$$\text{Pared norte } t_{eN} = 10 + 2 = 12^\circ\text{F}$$

$$q_N = 0.24 [\text{BTU}\cdot(\text{h}\cdot\text{pie}^2\cdot^\circ\text{F})^{-1}] \cdot (12^\circ\text{F}) 43.04 \text{ pie}^2 = 123.96 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared sur } t_{eS} = 26 + 2 = 28^\circ\text{F}$$

$$q_S = 0.24 (28)(53.80) = 361.54 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared este } t_{eE} = 12 + 2 = 14^\circ\text{F}$$

$$q_E = 0.24 (14)(107.60) = 361.54 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$\text{Pared oeste } t_{eO} = 26 + 2 = 28^\circ\text{F}$$

$$q_O = 0.24 (28)(107.60) = 723.07 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$Q_{2b} = q_N + q_S + q_E + q_O = 123.96 + 361.54 + 361.54 + 723.07$$

$$Q_{2b} = 1570.11 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$Q_{2T} = Q_{2a} + Q_{2b} = 115463.44 + 1570.11$$

$$Q_{2T} = 117033.55 \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

3.- Ganancia de calor debida a infiltraciones .- se considera que la puerta no va a estar abriendo y cerrando constantemente.

$$Q_3 = V \cdot \Delta t \cdot fi$$

$$Q_3 = 5737.88 \text{ pie}^3 (13 \text{ }^\circ\text{F}) (0.036)$$

$$Q_3 = \underline{2685.33} \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

4.- Ganancia de calor debida a los ocupantes .- En los hombres y otros animales se sangre caliente mucha de la energía liberada por la respiración aparece en forma de calor, necesario para mantener la temperatura normal del cuerpo. Una pequeña parte de la energía liberada por este proceso, en las plantas lo es también en forma de calor pero se disipa tan rápidamente en la atmósfera, en el suelo o en el agua, que las plantas muy raras veces tienen un calor apreciable mayor que el medio que las rodea.

la respiración de las plantas aumenta en una atmósfera seca, y en nuestro caso tendremos un ambiente húmedo lo que es un punto a nuestro favor al calcular este tipo de cargas, pues podemos considerar que no hay cargas de calor producido por las plantas.

Considerando que tenemos un invernadero pequeño, suponemos que solamente tres personas que realicen trabajo moderado ocuparan el local, por lo tanto:

De la fig. 20 para personas con trabajo moderado curva B y una temperatura efectiva de 73 °F cada persona cede 850 BTU·h<sup>-1</sup>.

$$Q_4 = \underline{3 \times 850 = 2550} \text{ BTU}\cdot\text{h}^{-1}$$

5.- Ganancia de calor debida a equipo misceláneo .- Tomando en cuenta que es un local pequeño y para aprovechar al máximo el espacio a acondicionar, el equipo de aire acondicionado se instalara en la parte de afuera. Por otro lado considerando que se instalaran 6 lamparas (2 F c w ) por si es necesario forzar el cultivo en alguna ocasión.

Cada luminaria consume 80 watts

$$80 \times 6 = 480 \text{ watts} = 0.48 \text{ Kw.}$$

De la tabla 13 ganancia de calor debida a equipo misceláneo tenemos que el calor disipado por luz eléctrica y aparatos eléctricos es de 3413 BTU·h<sup>-1</sup> por Kw instalado, por lo tanto.

$$Q_3 = (0.64)(3413) = 1638.24 \text{ BTU·h}^{-1}$$

Ganancia de calor debida al aire para ventilación.- También las podemos conocer como pérdidas por renovación del aire (Qren), por lo que utilizamos la ecuación (61)

$$Q_{ren} = R V w c_p (t_i - t_e)$$

sustituyendo valores y tomando R = 1.5 ren/h de la tabla 27

$$Q_{ren} = 1.5 \text{ ren·h}^{-1} \cdot (5737.88 \text{ pies}^3) \cdot (0.07496 \text{ lb·(pie}^3)^{-1}) \cdot (0.24 \text{ BTU·(lb·}^\circ\text{F)}^{-1}) \cdot (73 \text{ }^\circ\text{F} - 86 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$Q_{ren} = -2012 \text{ BTU·h}^{-1} \text{ (El signo menos indica que el aire para ventilación cede calor al local)}$$

Sumando todas las ganancias obtenemos:

$$Q_T = Q_{1T} + Q_{2T} + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_{ren}$$

$$Q_T = 973.56 + 117033.55 + 2685.33 + 2550 + 1638.24 + 2012.92$$

$$Q_T = 126893.60 \text{ BTU·h}^{-1}$$

### E. CALCULO DEL NUMERO DE LUMINARIOS

Dimensiones:	Largo (longitud)	10 metros
	Ancho	5 metros
	Altura	3.62 metros

1.- Nivel de iluminación recomendada 500 lux

2.- Selección de tipo de luminario. Halophane 6160

3.- Determinar el coeficiente de utilización (C.U.). Para esto primero calcularemos el índice de cuarto (Ic)

$$Ic = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{hm \times (\text{Largo} + \text{Ancho})} = \frac{10 \times 5}{(2.5 - 0.5) \times (10 + 5)} = \frac{50 \text{ m}^2}{30 \text{ m}^2} = 1.67$$

donde: hm es la altura media y se obtiene por medio de la siguiente formula:

$$hm = \text{altura de montaje} - \text{plano de trabajo}^3$$

$$hm = 2.5 - 0.5 = 2.0 \text{ m}$$

por lo tanto de tablas e interpolando obtenemos el C.U.

Ic	C.U.
1.5	0.55
<u>1.67</u>	<u>0.57</u>
2.0	0.60

4.- Determinar el factor de depreciación C. M. (LL . D) de tablas: C.M. = 0.83

<sup>3</sup> Calcularemos el plano de trabajo en 0.50 m en lugar del 0.76 m con objeto de iluminar más las plantas.

5.- Determinar el numero de luminarios

$$\text{N}^\circ \text{ Lum} = \frac{\text{Nivel de iluminacion x Largo x Ancho}}{\text{Flujo luminoso por luminario x C.U. x C.M.}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ Lum} = \frac{500 (10 \times 5)}{6200 \times 0.57 \times 0.83} = \frac{25\ 000}{2933.22} = 8.52$$

Buscando simetría y ahorro de energía se instalarán 8 luminarios Halophane N° 6160 con las siguientes características: dos lámparas de 40 watts blanco frío, 6200 lúmenes, cada lámpara 3150 y una eficiencia del 79 %. Ver la distribución en la figura 38.

### **F. DISTRIBUCIÓN DE CAMAS EN EL INVERNADERO**

En la figura 39 se muestra la distribución de camas y el número de plantas que se proponen, con las siguientes observaciones:

- a) Camas a nivel del suelo.
- b) 20 cm de separación entre la primera línea de plantas y la orilla de la cama.
- c) Distancia recomendada entre plantas de 30 x 30 cm.
- d) 12 plantas por m<sup>2</sup> para un total de 298.

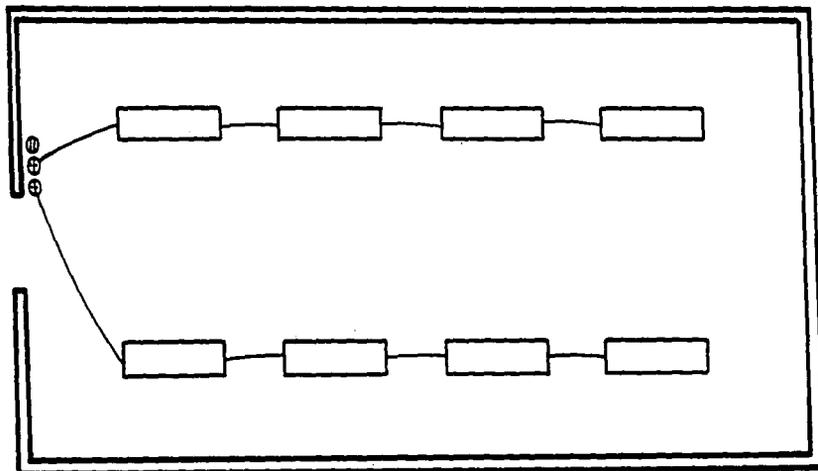


FIG. 38 INSTALACION ELECTRICA

▭ LUMINARIO

⊗ APAGADOR

⊙ CONTACTO

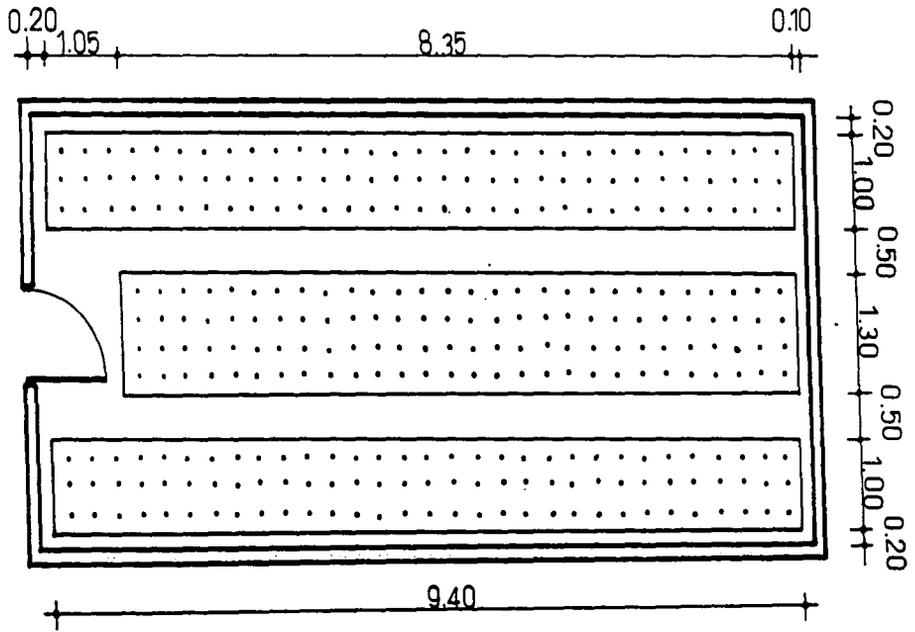


FIG.39 DISTRIBUCION DE CAMAS Y PLANTAS (\*)



Las características de la unidad tipo paquete mencionada son: corriente trifásica a 220 Volts, con una capacidad de 60,000 BTU-hr<sup>1</sup>.

Los precios están en dólares por lo que seria al tipo de cambio que predomine en el momento del pedido, además se le debe de agregar el I.V.A. correspondiente.

Cabe mencionar que debido al tipo de estructura utilizada para el invernadero y el tamaño del mismo, no recomendamos el uso de ductos y rejillas de distribución, por el peso de los mismos, por las sombras que se generarían y lo más importante las pérdidas que se generan.

## CONCLUSIONES

El hombre buscando su comodidad ha tratado de protegerse de las inclemencias del clima y en su afán de búsqueda ha tratado de controlarlo y una forma de lograrlo es acondicionando espacios para crear un clima perfecto donde pueda realizar actividades o simplemente sentirse cómodo.

Otra de las formas que encontró para controlar el clima es por medio de un invernadero en el cual se puede aislar una superficie determinada para que las plantas puedan crecer sin resentir los cambios bruscos e imprevistos del clima.

Al unir las dos tecnologías Aire Acondicionado e Invernaderos se consigue que además de tener una superficie aislada se tenga la temperatura idónea para la producción y cultivo de plantas, poder controlar la producción de frutos que en nuestro caso de estudio serian las flores del rosal, consiguiéndose una mejor calidad y una mayor duración de la flor después del corte, además de poder programar la fecha para el cultivo.

Si escogimos a las rosas fue porque en el ser humano causa una especial fascinación, la cual a través de la historia de la humanidad, ha llevado a que la flor de la rosa sea la predilecta para muchas ocasiones especiales.

Se tomo la decisión de ponerle cubierta de vidrio por ser la más duradera, la que transmite mayor luminosidad y la de menor mantenimiento en comparación con los demás

tipos de cubierta. Además de hacer el invernadero a dos aguas sin ventilación cenital pero si lateral.

Otras decisiones fueron las dimensiones y la superficie total cubierta que ocuparía el invernadero, así como escoger el lugar geográfico donde se instalara y nos pareció justo que tomáramos como base el lugar donde está instalada nuestra escuela.

El lugar geográfico es de suma importancia a la hora de hacer los cálculos de las cargas de refrigeración, pues debemos de tener presentes la latitud y la longitud, la altitud, las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, así como de la humedad relativa que prevalece en ese lugar.

El factor que tomamos en cuenta para la orientación del invernadero es obtener la mayor luminosidad natural posible pero esto también influye en los cálculos de las cargas de refrigeración.

Consideramos que la producción de plantas de ornato tiene un gran futuro debido a que hay suficiente mercado de consumo para las rosas de calidad a nivel interno y para exportación en beneficio del país y de los productores de rosas.

Esperamos que este proyecto sea de utilidad y sirva de guía para cuando se construya un invernadero se haga pensando en que se puede instalar aire acondicionado.

## ANEXO A. TABLAS

TABLA I

HORTICOLA	Temperatura						
	Temperatura mín. letal	Temperatura mín. biológica	Temperatura óptima		Temperatura max. biológica	Temperatura mínima óptima	
			noche	día			
Tomate	0-2	8-10	13-16	22-26	26-30	9-10	20-30
Pepino	0-4	10-13	18-20	24-28	28-32	14-36	20-30
Melon	0-2	12-14	19-21	24-30	30-34	14-16	20-30
Pimiento	0-4	10-12	16-18	22-28	28-32	12-15	20-30
Berengena	0-2	9-10	15-18	22-26	30-32	12-15	20-30
Lechuga	(-2)-0	4-6	10-15	15-20	25-30	4-6	20
Fresa	(-2)-0	6	10-13	18-22	-	-	-
FLORICOLA							
Clavel	(-4)-0	4-6	10-12	18-21	26-32	-	-
Rosa	(-6)-0	8-10	14-16	20-25	30-32	-	-
Gerbera	0-2	8-10	13-15	20-24	-	-	20-22
Gladiolo	0-2	5	10-12	16-20	-	6-8	-

**TABLA 2**  
**FACTORES DE TRANSMISION DE CALOR**  
**(VALORES U)\***

Construcción	Valor U	
	Verano	Invierno
<b>PAREDES</b>		
Estructura con laterales de madera, forro exterior y terminado interior		
Sin aislamiento	0.22	0.23
Con aislamiento R-7 ( 2" - 2 ½" )	0.09	0.09
Con aislamiento R-11 ( 3" - 3 ½" )	0.07	0.07
Estructura con ladrillo de 4" o enchapado en piedra, forro exterior y terminado interior		
Sin aislamiento	0.24	0.24
Con aislamiento R-7	0.09	0.09
Con aislamiento R-11	0.07	0.07
Marco con estucado de 1" , forro exterior y terminado interior		
Sin aislamiento	0.29	0.29
Con aislamiento R-7	0.10	0.10
Con aislamiento R-11	0.07	0.07
Mampostería:		
8" de bloques de concreto, sin terminado	0.49	0.51
12" de bloques de concreto, sin terminado	0.45	0.47
Mampostería (con bloques de 8"):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (1/2") sin aislamiento	0.29	0.30
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el en vez (1/2") sin aislamiento	0.29	0.30
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared de asbesto-cemento (1/2")	0.13	0.13
Mampostería (bloques de 8" de material volcánico o de losas huecas de barro):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (1/2" ) sin aislamiento	0.25	0.25
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el en vez (1/2" ) sin aislamiento	0.17	0.17
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared asbesto-cemento (1/2")	0.12	0.12
Mampostería (ladrillo de 4" de fachada con bloques de material volcánico de 8" o con losas de 8" huecas de barro):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (1/2" ) sin aislamiento	0.22	0.22
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el en vez (1/2" ) sin aislamiento	0.15	0.16
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared asbesto-cemento (1/2")	0.12	0.12
Mampostería (losas huecas de barro de 12" o bloques de material volcánico de 12"):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (1/2" ) sin aislamiento	0.24	0.24
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el en vez (1/2" ) sin aislamiento	0.16	0.17
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared asbesto-cemento (1/2")	0.12	0.12
Mampostería (Ladrillo de 4" de fachada, ladrillo común de 4" ):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (1/2" ) sin aislamiento	0.28	0.28
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el en vez (1/2" ) sin aislamiento	0.18	0.19
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared asbesto-cemento (1/2")	0.13	0.13
Mampostería (8" de concreto u 8" de piedra):		
Terminado interior:		
placas forradas de asbesto-cemento (1/2" ) sin aislamiento	0.33	0.34
placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal en el en vez (1/2" ) sin aislamiento	0.21	0.21
láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y placas de pared asbesto-cemento (1/2")	0.14	0.14
Metal con terminado interior de vinilo. R-7 (3" de fibra de vidrio)	0.14	0.14

\* Btu por hora pie<sup>2</sup> diferencia de temperatura en °F

$$\frac{\text{BTU} / \text{h}}{(\text{pie}^2) \times (\Delta T \text{ } ^\circ \text{F})}$$

**TABLA 2 (Continuación)**

Construcción	Valor U	
	Verano	invierno
<b>PARTICIONES</b>		
Estructura (1/2" placas de asbesto-cemento en un lado solamente):		
Sin aislamiento	0.55	0.55
Estructura (1/2" placas de asbesto-cemento en ambos lados):		
Sin aislamiento	0.31	0.31
Con aislamiento R-11	0.08	0.08
Mampostería (bloques de material volcánico de 4"): Sin aislamiento, sin terminado	0.40	0.40
Sin aislamiento un lado con placas forradas de asbesto-cemento (1/2 ")	0.26	0.26
Sin aislamiento, ambos lados con placas forradas de asbesto-cemento (1/2 ")	0.19	0.19
Un lado con placas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y con placas de pared de asbesto-cemento (1/2")	0.13	0.13
<b>CIELOFALSO - PISO</b>		
Estructura (losas de asfalto para piso, 5/8" de triplex, 25/32" X subpiso de madera, cielo falso terminado)	0.23	0.23
calor fluyendo hacia arriba	0.20	0.19
calor fluyendo hacia abajo		
Concreto (losas de asfalto para piso, cubierta de concreto de 4", espacio de aire, cielo falso terminado):		
calor fluyendo hacia arriba	0.34	0.33
calor fluyendo hacia abajo	0.26	0.25
<b>TECHO (techo plano, sin cielofalsos terminados)</b>		
Cubierta de acero:		
sin aislamiento	0.64	0.86
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.23	0.25
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.15	0.16
Cubierta de madera 1":		
sin aislamiento	0.40	0.48
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.19	0.21
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
Cubierta de madera, 2.5":		
sin aislamiento	0.25	0.28
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.10	0.11
Cubierta de madera de 4":		
sin aislamiento	0.17	0.18
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.12
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.09
<b>TECHO-CIELOFALSO (techo plano, cielo falso terminado)</b>		
Cubierta de acero:		
sin aislamiento	0.33	0.40
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.17	0.19
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
Cubierta de madera de 1":		
sin aislamiento	0.26	0.29
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.11
Cubierta de madera de 2.5":		
sin aislamiento	0.18	0.20
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.13
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.10
Cubierta de madera de 4":		
sin aislamiento	0.14	0.15
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.10	0.10
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.08	0.08
Cubierta de concreto liviana de 4":		
sin aislamiento	0.14	0.15

TABLA 2 (Continuación)

Construcción	Valor U	
	Verano	Invierno
<b>TECHO-CIELOFALSO (continuación)</b>		
Cubierta de concreto liviano de 6": sin aislamiento	0.10	0.11
Cubierta de concreto liviano de 8": sin aislamiento	0.08	0.09
Cubierta de concreto pesado de 2": sin aislamiento	0.32	0.38
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.17	0.19
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.12
Cubierta de concreto pesado de 4": sin aislamiento	0.30	0.36
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.16	0.18
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.12
Cubierta de concreto pesado de 6": sin aislamiento	0.28	0.33
con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.16	0.17
con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.12
<b>TECHO-CIELOFALSO (techo inclinado con estructura de madera, cielor falso terminado contra las vigas)</b>		
sin aislamiento	0.28	0.29
con aislamiento R-19 (5½" - 6½")	0.05	0.05
<b>TECHO-ATICO-CIELOFALSO (ático con ventilación natural)</b>		
sin aislamiento	0.15	0.29
con aislamiento R-19 ( 5½" - 6½")	0.04	0.05
<b>PISOS</b>		
Losa de concreto contra el suelo: sin aislamiento	0	50*
con aislamiento de placas de poliestireno de 1", con 2 pies de profundidad o con 2 pies de ancho	0	30*
Piso sobre espacio no acondicionado, sin cielor falso		
Estructura de madera: sin aislamiento	0.33	0.27
con aislamiento R-7 (2" - 2½")	0.09	0.08
Cubierta de concreto: sin aislamiento	0.59	0.43
con aislamiento R-7	0.10	0.09
<b>PUERTAS</b>		
Madera sólida:		
de 1" de espesor	0.61	0.64
de 1½" de espesor	0.47	0.49
de 2" de espesor	0.42	0.43
Acero:		
de 1½" de espesor, con interior de fibra mineral	0.58	0.59
de 1½" de espesor, con interior de poliestireno	0.46	0.47
de 1" de espesor, con interior de espuma de uretano	0.39	0.40

\*BTU·h<sup>-1</sup> por pie lineal de borde expuesto.

TABLA 3 Volumen de aire infiltrado por pie de ranura para diferentes tipos de ventanas y puertas

TIPO DE VENTANA O PUERTA	OBSERVACIONES	PIES <sup>3</sup> /MIN. POR PIE DE RANURA					
		Velocidad del viento (mph)					
		5	10	15	20	25	30
Ventanas de doble hoja o guillotina (madera)	Ventana normal: sin protección especial	0.12	0.35	0.65	0.98	1.33	1.73
	incluyendo fugas a través del marco de madera	0.07	0.22	0.40	0.60	0.82	1.05
	idem; con protección especial	0.45	1.15	1.85	2.60	3.30	4.20
	Ventana de construcción barata, sin protección especial; incluyendo fugas a través del marco	0.10	0.32	0.57	0.85	1.18	1.53
Ventana de metal con doble hoja	Sin cerrojo; sin protección especial	0.33	0.78	1.23	1.73	2.30	2.80
	Sin cerrojo; con protección especial	0.10	0.32	0.53	0.77	1.00	1.27
Ventana metálica de guillotina	Ranura de 1/16" (con fugas a través del marco)	0.87	1.80	2.90	4.10	5.10	6.20
	Ranura de 1/32" (sin fugas a través del marco)	0.25	0.60	1.03	1.43	1.86	2.30
	Ranura de 3/64" (sin fugas a través del marco)	0.33	0.87	1.47	1.93	2.50	3.00
	Ranura de 1/64" (en residencias sin fugas)	0.10	0.30	0.55	0.78	1.00	1.23
	Ranura de 1/32" (en residencias sin fugas)	0.23	0.53	0.87	1.27	1.67	2.10
	Ranura de 1/64" (sin fugas a través del marco)	0.05	0.17	0.30	0.43	0.58	0.80
Estructura tubular	Ranura de 1/32" (sin fugas a través del marco)	0.13	0.40	0.63	0.90	1.20	1.53
	Ventana con pivote vertical (con fugas)	0.50	1.46	2.40	3.10	3.70	4.00
Puertas de vidrio	Ranura de 1/8" (buena instalación)	3.20	6.40	9.60	13.00	16.00	19.00
	Ranura de 3/16" (mediana instalación)	4.80	15.00	14.00	20.00	24.00	29.00
	Ranura de 1/4" (pobre instalación)	6.40	13.00	19.00	26.00	32.00	38.00
Puerta normal de metal o madera	Buena construcción; sin protección especial	0.90	1.20	1.80	2.60	3.30	4.20
	Mala construcción; sin protección especial	0.90	2.30	3.70	5.20	6.60	8.40
Puertas de fabrica	1/8" de ranura	3.20	6.40	9.60	13.00	16.00	19.00

TABALA 4 Volumen de aire infiltrado por pie<sup>2</sup> de superficie de ventana (Invierno)

TIPO DE VENTANA	OBSERVACIONES	PIE <sup>3</sup> /MIN. POR PIE <sup>2</sup> DE SUPERFICIE DE VENTANA <sup>(4,5)</sup>									
		Velocidad del viento 15 millas/h <sup>(6)</sup>									
		VENTANAS PEQUEÑAS (aproximadamente 30 x 72 plg.)					VENTANAS GRANDES (aproximadamente 54 x 96 plg.)				
Ventanas de doble hoja ó guillotina (madera)	Ventana normal, sin protección especial	0.85					0.53				
	Incluyendo fugas a través del marco de madera	0.52					0.33				
	Idem.; con protección especial										
	Ventana de const. barata, sin protec. especial	2.40					1.52				
Ventana de metal de doble hoja	Incluyendo fugas a través del marco de madera	0.74					1.47				
	Idem.; con protección especial										
Ventana de metal de doble hoja	Sin cerrojo, sin protección especial *	1.60					1.01				
	Sin cerrojo, con protección especial	0.69					0.44				
		PORCENTAJE VENTILADO <sup>(7)</sup>									
		0%	25%	33%	40%	45%	50%	60%	66%	75%	100%
	Ranuras de 1/16" (con fugas a través del marco)	0.65	1.44		1.98				2.9		5.2
	Ranuras de 3/64" (con fugas a través del marco)		0.78				1.10	1.48			
	Ranuras de 1/32" (con fugas a través del marco)			0.56			0.98				1.26
	Ranuras de 1/32" (con fugas a través del marco)					0.45					
Estructura tubular	Ventana con pivote vertical ( con fugas a través del marco)	0.54	1.19		1.64				2.4		4.3

• Recomendada para uso normal

4. Datos basados en la ASHAE, factores de guía para el método de las ranuras. Estos factores están convertidos al método de áreas mediante análisis de un gran número de tipos de ventanas. El área de la ventana es el área total de ventana dentro del marco.

5. El número de paredes expuestas se debe considerar simularmente al método de las ranuras.

6. Para convertir a 10 millas/h los valores de la tabla se multiplican por 0.60.

7. Porcentaje ventilado =  $\frac{\text{área de la parte móvil de la ventana}}{\text{área total de la ventana}} \times 100$

**TABLA 5 Volumen de aire por pie<sup>3</sup> de superficie de puertas (para invierno)**

Tipo de puerta	Infiltración pie <sup>3</sup> /min. por pie <sup>2</sup> Poco uso	Infiltración pie <sup>3</sup> /min. por pie <sup>2</sup> Uso normal
Puerta de cristal; construcción normal 1/16" de ranura	9.0	20.0
Puerta normal de madera (3' X 7')	2.0	13.0
Puerta de garaje	4.0	9.0
Puertas de fábricas pequeñas	1.5	3.0

**NOTAS:**

- 1.- Para puertas en lados opuestos y en uso simultáneo, incremente un 25 % de infiltración.
- 2.- Para puertas en lados adyacentes y en uso simultáneo no incremente la infiltración.
- 3.- Para edificios de varios pisos con el cubo de la escalera o elevador abierto incremente la infiltración de la siguiente manera:  
 Altura de 50 pies añada el 20 % de infiltración  
 Altura de 100 pies añada el 35 % de infiltración  
 Altura de 200 pies añada el 65 % de infiltración
- 4.- Con puertas giratorias use el 35 % de los valores de la tabla.

**TABLA 6 Factores de infiltración para ventanas y puertas**

<b>A) Ventanas y puertas exteriores sin sello especial</b>	
a) Cuartos con ventanas o puertas exteriores de un solo lado	0.017
b) Cuartos con ventanas o puertas exteriores en dos lados	0.027
c) Cuartos con ventanas o puertas exteriores en tres lados	0.036
d) Vestibulos de entrada	0.036
e) Cuartos con varias ventanas en tres lados	0.054
<b>B) Ventanas y puertas exteriores con sello especial</b>	
a) Cuartos con ventanas o puertas exteriores en un solo lado	0.011
b) Cuartos con ventanas o puertas exteriores en dos lados	0.017
c) Cuartos con ventanas o puertas exteriores en tres lados	0.027
d) Vestibulos de entrada	0.027
e) Cuartos con varias ventanas en tres lados	0.036

0° TABLA 7 Ganancia de calor solar a través de cristales 0°

0° Latitud norte		BTU por pie cuadrado												0° Latitud sur			
tiempo solar →		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	← tiempo solar		
tiempo local →														← tiempo local			
Epoca del año														Fachada del edificio	Epoca del año		
JUN 21	Norte	0	43	65	74	78	80	82	80	78	74	65	43	0	Sur	DIC 22	
	Noreste	0	119	156	154	133	95	53	20	14	13	11	6	0	Sur	Sur	
	este	0	116	147	135	93	43	14	14	14	13	11	6	0	Este	Sur	
	suroeste	0	37	42	27	15	14	14	14	14	13	11	6	0	Noreste	Sur	
	sur	0	6	11	13	14	14	14	14	14	15	27	42	37	0	Norte	Sur
	suroeste	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	Noreste	Sur	
	Oeste	0	6	11	13	14	14	14	14	43	93	135	147	116	0	Oeste	Sur
JUL 23	Noreste	0	6	11	13	14	20	53	95	133	154	156	119	0	Oeste	Sur	
	Oeste	0	28	87	147	191	217	226	217	191	147	87	28	0	Tragaluz plano	Sur	
	Tragaluz plano	0	37	54	61	65	66	62	66	65	61	54	37	0	Sur	Sur	
	Norte	0	118	153	150	124	86	43	16	14	14	13	11	6	Sur	ENE 21	
	Noreste	0	121	152	139	96	43	14	14	14	13	11	6	0	Este	Sur	
	este	0	46	52	36	18	14	14	14	14	13	11	6	0	Noreste	Sur	
	suroeste	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	Norte	Sur	
MAY 21	sur	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	Noreste	Sur	
	suroeste	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	Oeste	Sur	
	Oeste	0	6	11	13	14	14	14	14	43	96	139	152	121	0	Oeste	Sur
	Noreste	0	6	11	13	14	16	43	86	124	150	153	118	0	Sur	Sur	
	Tragaluz plano	0	29	91	151	195	223	232	223	195	151	91	29	0	Tragaluz plano	Sur	
	Norte	0	17	28	31	33	34	34	34	33	31	28	17	0	Sur	Sur	
	Noreste	0	110	141	133	102	61	24	14	14	13	12	6	0	Sur	FEB. 20	
AGO 24	este	0	129	162	148	103	46	14	14	14	13	12	6	0	Este	Sur	
	suroeste	0	67	72	12	13	14	14	14	14	13	12	6	0	Norte	Sur	
	sur	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Noreste	Sur	
	suroeste	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Norte	Sur	
	Oeste	0	6	12	13	14	14	14	46	103	148	162	129	0	Oeste	Sur	
	Noreste	0	6	12	13	14	14	14	24	61	102	133	141	110	0	Sur	Sur
	Tragaluz plano	0	31	97	150	206	234	242	234	206	150	97	31	0	Tragaluz plano	Sur	
SEPT 22	Norte	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Sur	Sur	
	Noreste	0	95	118	101	68	31	14	14	14	13	12	6	0	Sur	Sur	
	este	0	134	167	151	107	47	14	14	14	13	12	6	0	Este	MAR. 22	
	suroeste	0	95	118	101	68	31	14	14	14	13	12	6	0	Noreste	Sur	
	sur	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Norte	Sur	
	suroeste	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Noreste	Sur	
	Oeste	0	6	12	13	14	14	14	47	107	151	167	134	0	Oeste	Sur	
MAR 22	Noreste	0	6	12	13	14	14	14	31	68	101	118	98	0	Noreste	Sur	
	Oeste	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Oeste	Sur	
	Noreste	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Sur	Sur	
	Tragaluz plano	0	32	100	163	210	240	240	240	210	163	100	32	0	Tragaluz plano	Sur	
	Norte	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Sur	Sur	
	Noreste	0	67	79	65	25	15	14	14	14	14	13	12	6	0	Este	Sur
	este	0	129	162	148	103	46	14	14	14	14	13	12	6	0	Noreste	Sur
OCT 23	suroeste	0	110	141	133	102	61	24	14	14	13	12	6	0	Norte	Sur	
	sur	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Noreste	Sur	
	suroeste	0	6	12	13	14	14	14	14	14	13	12	6	0	Norte	Sur	
	Oeste	0	6	12	13	14	14	14	46	103	148	162	129	0	Noreste	Sur	
	Noreste	0	6	12	13	14	14	14	15	35	65	79	67	0	Oeste	Sur	
	Tragaluz plano	0	31	97	150	206	234	242	234	206	150	97	31	0	Tragaluz plano	Sur	
	Norte	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	Sur	Sur	
NOV 21	Noreste	0	46	52	36	18	14	14	14	14	13	11	6	0	Sur	Sur	
	este	0	121	152	139	96	43	14	14	14	13	11	6	0	Este	MAY 21	
	suroeste	0	118	153	150	124	86	43	16	14	13	11	6	0	Noreste	Sur	
	sur	0	37	54	61	65	66	62	66	65	61	54	37	0	Noreste	Sur	
	suroeste	0	6	11	13	14	16	43	86	124	150	153	118	0	Noreste	Sur	
	Oeste	0	6	11	13	14	14	14	43	96	139	152	121	0	Oeste	Sur	
	Noreste	0	6	11	13	14	14	14	14	18	36	52	46	0	Sur	Sur	
DIC 22	Tragaluz plano	0	29	91	151	195	223	232	223	195	151	91	29	0	Tragaluz plano	Sur	
	Norte	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	Sur	Sur	
	Noreste	0	37	42	27	15	14	14	14	14	13	11	6	0	Sur	Sur	
	este	0	116	147	135	93	43	14	14	14	13	11	6	0	Este	Sur	
	suroeste	0	119	156	154	133	95	53	20	14	13	11	6	0	Noreste	Sur	
	sur	0	43	65	174	78	80	82	80	78	74	65	43	0	Norte	Sur	
	suroeste	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	Noreste	Sur	
Oeste	0	6	11	13	14	14	14	43	93	135	147	116	0	Oeste	Sur		
JUN 21	Noreste	0	6	11	13	14	14	14	14	15	27	42	37	0	Oeste	Sur	
	Tragaluz plano	0	28	87	147	191	217	226	217	191	147	87	28	0	Tragaluz plano	Sur	
	Correcciones	Marzo minus 10 o mayo minus x 1/0.85 o 1.17	defecto de luz para 15% máx.		Altitud + 0.7% por 1,000 pies		Punto de rocío superior a 66.8°F -7% por 10°F		Punto de rocío inferior a 66.8°F +7% por 10°F		Latitud sur Dic. o Enero + 7%						

10°

TABLA 7 Ganancia de calor solar a través de cristales (continuación)

10°

10° Latitud norte		BTU por pie cuadrado											10° Latitud sur				
tiempo solar →		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	← tiempo solar		
tiempo local →		AM												PM	← tiempo local		
Epoca del año	Fachada del edificio												Fachada del edificio	Epoca del año			
JUN. 21	Norte	19	44	50	45	44	43	41	43	44	45	48	44	2	DIC. 22	Sur	2
	Noreste	55	131	153	140	106	65	28	14	14	13	11	8	2		Suroeste	8
	este	54	134	155	139	98	41	14	14	14	13	11	8	2		Este	2
	suroeste	18	49	55	43	25	14	14	14	14	13	11	8	2		Noreste	2
	sur	2	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	2		Norte	2
	suroeste	2	8	8	13	14	14	14	14	25	43	55	47	18		Noroeste	18
	Oeste	2	8	8	13	14	14	14	41	98	139	153	134	54		Oeste	54
	Noroeste	2	8	8	13	14	14	14	28	65	106	140	153	131		Suroeste	55
Tragaluz plano	4	44	107	166	205	233	247	233	205	166	107	44	4	Tragaluz plano	4		
JUL. 23	Norte	42	127	148	133	109	56	22	14	14	13	22	34	ENE. 21	Sur	5	
	Noreste	50	135	158	142	98	43	14	14	14	13	11	7		1	Suroeste	7
	este	26	57	65	56	32	14	14	14	14	13	11	7		1	Este	1
	suroeste	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7		1	Noroeste	1
	sur	1	7	11	13	14	14	14	14	32	56	66	57		26	Norte	26
	suroeste	1	7	11	13	14	14	14	43	98	142	158	135		50	Oeste	50
	Oeste	1	7	11	13	14	14	22	56	109	133	148	127		42	Suroeste	42
	Noroeste	1	7	11	13	14	14	22	56	109	133	148	127		42	Tragaluz plano	3
Tragaluz plano	3	42	107	166	210	236	247	236	210	166	107	42	3	Tragaluz plano	3		
AGO. 24	Norte	1	15	16	15	15	14	14	14	15	15	16	15	FEB. 20	Sur	1	
	Noreste	17	113	139	111	80	34	14	14	14	13	11	7		1	Suroeste	7
	este	25	138	163	149	104	46	14	14	14	13	11	7		1	Este	1
	suroeste	18	79	94	85	60	24	14	14	14	13	11	7		1	Noroeste	1
	sur	1	7	11	13	14	14	14	14	14	13	11	7		1	Norte	1
	suroeste	1	7	11	13	14	14	14	27	60	85	94	79		18	Noroeste	18
	Oeste	1	7	11	13	14	14	14	46	80	149	163	138		25	Oeste	25
	Noroeste	1	7	11	13	14	14	14	7	14	13	11	7		17	Suroeste	17
Tragaluz plano	2	38	105	167	213	242	250	242	213	167	105	38	2	Tragaluz plano	2		
SEPT. 22	Norte	1	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	MAR. 22	Sur	1	
	Noreste	1	89	122	80	45	17	14	14	14	13	11	6		1	Suroeste	1
	este	1	130	164	151	106	47	14	14	14	13	11	6		1	Este	1
	suroeste	1	97	127	122	94	56	21	14	14	13	11	6		1	Noroeste	1
	sur	1	6	13	19	24	27	28	27	24	19	13	6		1	Norte	1
	suroeste	1	6	11	13	14	14	21	56	94	122	127	97		1	Noroeste	1
	Oeste	1	6	11	13	14	14	14	47	106	151	164	130		1	Oeste	1
	Noroeste	1	6	11	13	14	14	14	17	45	80	122	89		1	Suroeste	1
Tragaluz plano	1	31	97	160	207	235	247	235	207	160	97	31	1	Tragaluz plano	1		
OCT. 23	Norte	0	5	10	13	14	14	14	14	14	13	10	5	ABR. 20	Sur	0	
	Noreste	0	58	86	44	28	14	14	14	14	13	10	5		0	Suroeste	0
	este	0	118	155	145	100	40	14	14	14	13	10	5		0	Este	0
	suroeste	0	103	147	122	123	81	46	18	14	13	10	5		0	Noroeste	0
	sur	0	18	40	55	65	71	72	71	65	55	40	18		0	Norte	0
	suroeste	0	5	10	13	14	18	46	81	123	147	147	103		0	Noroeste	0
	Oeste	0	5	10	13	14	18	46	80	100	145	155	118		0	Oeste	0
	Noroeste	0	5	10	13	14	14	14	14	28	44	64	58		0	Suroeste	0
Tragaluz plano	0	22	85	139	193	220	238	220	193	139	85	22	0	Tragaluz plano	0		
NOV. 21	Norte	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	MAY. 21	Sur	0	
	Noreste	0	27	37	17	13	14	14	14	13	12	9	4		0	Suroeste	0
	este	0	99	132	132	93	39	14	14	13	12	9	4		0	Este	0
	suroeste	0	99	133	161	146	109	70	31	17	12	9	4		0	Noroeste	0
	sur	0	35	65	91	96	104	106	104	96	91	65	35		0	Norte	0
	suroeste	0	4	9	12	17	31	70	109	146	161	133	99		0	Noroeste	0
	Oeste	0	4	9	12	13	14	14	39	93	132	143	99		0	Oeste	0
	Noroeste	0	4	9	12	13	14	14	14	13	17	27	27		0	Suroeste	0
Tragaluz plano	0	17	62	131	175	202	218	202	175	131	62	17	0	Tragaluz plano	0		
DIC. 22	Norte	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	JUN. 21	Sur	0	
	Noreste	0	15	28	17	13	14	14	14	13	12	9	4		0	Suroeste	0
	este	0	86	117	130	91	42	14	14	13	12	9	4		0	Este	0
	suroeste	0	99	134	163	149	121	79	36	23	12	9	4		0	Noroeste	0
	sur	0	50	74	94	109	116	128	116	109	94	74	50		0	Norte	0
	suroeste	0	4	9	12	23	36	79	121	49	163	163	99		0	Noroeste	0
	Oeste	0	4	9	12	13	14	14	42	91	130	137	86		0	Oeste	0
	Noroeste	0	4	9	12	13	14	14	14	13	17	28	15		0	Suroeste	0
Tragaluz plano	0	14	66	120	167	193	211	202	193	167	120	66	0	Tragaluz plano	0		

Correcciones

Marco metálico o  
ningún marco  
x 1.0 85 ± 0.17defecto de  
limpieza  
15% máxAltitud  
+ 0.7 % por  
1,000 piesPunto de rocío  
superior a 66 °F  
-7% por 10°FPunto de rocío  
inferior a 66 °F  
+7% por 10°Flatitud sur  
Dist. o Escuro  
+ 7%

20°

TABLA 7 Ganancia de calor solar a través de cristales (continuación)

20°

20° Latitud norte		BTU por pie cuadrado												20° Latitud sur			
tiempo solar →		6 AM	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6 PM	← tiempo solar		
tiempo local →																	
Epoca del año	Fachada del edificio													Fachada del edificio	Epoca del año		
JUN. 21	Norte	28	41	33	25	19	17	15	17	19	25	33	41	28	28	Sur	
	Noreste	81	154	144	122	83	38	15	14	14	14	12	9	3	3	Sureste	
	este	148	168	143	96	41	14	14	14	14	14	12	9	3	3	Este	
	suroeste	28	62	72	66	44	21	14	14	14	14	12	9	3	3	Norte	
	sur	3	9	12	14	14	14	14	14	14	14	14	12	9	3	3	Noreste
	suroeste	3	9	12	14	14	14	14	14	91	96	143	148	81	28	28	Noreste
	Oeste	3	9	12	14	14	14	14	14	15	38	83	122	144	154	148	Oeste
	Noroeste	3	9	12	14	14	14	14	14	15	38	83	122	144	154	148	Sur
Tragaluz plano	11	60	121	176	216	232	238	232	216	176	121	60	11	11	60	Tragaluz plano	
JUL. 23	Norte	20	28	23	17	15	14	14	14	14	15	17	23	28	20	Sur	
	Noreste	71	132	128	111	73	31	14	14	14	13	12	8	3	3	Sureste	
	este	75	148	145	99	46	14	14	14	14	13	12	8	3	3	Este	
	suroeste	31	70	85	79	57	29	14	14	14	13	12	8	3	3	Noreste	
	sur	3	8	12	13	14	14	14	14	14	13	12	8	3	3	Norte	
	suroeste	3	8	12	13	14	14	14	29	57	79	85	70	31	31	Noreste	
	Oeste	3	8	12	13	14	14	14	46	99	145	182	148	75	75	Oeste	
	Noroeste	3	8	12	13	14	14	14	21	73	111	138	132	71	71	Sur	
Tragaluz plano	8	53	118	175	216	240	251	240	216	175	118	53	8	8	53	Tragaluz plano	
AGO. 24	Norte	6	10	11	13	14	14	14	14	14	13	11	10	6	6	Sur	
	Noreste	45	111	118	89	50	18	14	14	14	13	11	7	2	2	Sureste	
	este	53	142	145	149	106	51	14	14	14	13	11	7	2	2	Oeste	
	suroeste	29	89	112	108	98	55	20	14	14	13	11	7	2	2	Norte	
	sur	2	7	11	14	20	24	28	24	20	14	11	7	2	2	Noreste	
	suroeste	2	7	11	13	14	14	20	51	98	108	112	89	29	29	Noreste	
	Oeste	2	7	11	13	14	14	14	55	106	149	182	142	53	53	Oeste	
	Noroeste	2	7	11	13	14	14	14	18	50	89	111	111	45	45	Sur	
Tragaluz plano	5	48	107	167	210	235	247	235	210	167	107	48	5	5	48	Tragaluz plano	
SEPT. 22	Norte	0	6	11	13	14	14	14	14	14	13	11	6	0	0	Sur	
	Noreste	0	83	87	59	22	14	14	14	14	13	11	6	0	0	Sureste	
	este	0	130	142	149	104	45	14	14	14	13	11	6	0	0	Oeste	
	noreste	0	99	136	140	120	84	41	15	14	13	11	6	0	0	Noreste	
	sur	0	8	22	38	52	63	65	63	52	38	22	8	0	0	Norte	
	suroeste	0	6	11	13	14	15	41	84	120	140	136	99	0	0	Noreste	
	Oeste	0	6	11	13	14	14	14	45	104	149	182	130	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	6	11	13	14	14	14	14	22	59	87	83	0	0	Sur	
Tragaluz plano	0	30	93	153	198	225	232	225	198	153	93	30	0	0	30	Tragaluz plano	
MAR. 22	Norte	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	0	Sur	
	Noreste	0	44	52	29	13	14	14	14	13	12	9	4	0	0	Sureste	
	este	0	99	147	141	100	49	14	14	13	12	9	4	0	0	Oeste	
	suroeste	0	91	146	149	119	74	27	13	12	9	4	0	0	0	Noreste	
	sur	0	21	50	76	93	106	111	106	93	76	50	21	0	0	Norte	
	suroeste	0	4	9	12	13	27	74	119	149	146	146	91	0	0	Noreste	
	Oeste	0	4	9	12	13	14	14	19	100	141	187	99	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	4	9	12	13	14	14	14	13	29	52	44	0	0	Sur	
Tragaluz plano	0	18	68	127	171	196	200	196	171	127	68	18	0	0	18	Tragaluz plano	
OCT. 23	Norte	0	4	9	12	13	14	14	14	13	12	9	4	0	0	Sur	
	Noreste	0	44	52	29	13	14	14	14	13	12	9	4	0	0	Sureste	
	este	0	99	147	141	100	49	14	14	13	12	9	4	0	0	Oeste	
	suroeste	0	91	146	149	119	74	27	13	12	9	4	0	0	0	Noreste	
	sur	0	21	50	76	93	106	111	106	93	76	50	21	0	0	Norte	
	suroeste	0	4	9	12	13	27	74	119	149	146	146	91	0	0	Noreste	
	Oeste	0	4	9	12	13	14	14	14	13	29	52	44	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	4	9	12	13	14	14	14	13	29	52	44	0	0	Sur	
Tragaluz plano	0	18	68	127	171	196	200	196	171	127	68	18	0	0	18	Tragaluz plano	
NOV. 21	Norte	0	3	8	11	13	13	13	13	13	11	8	3	0	0	Sur	
	Noreste	0	24	26	14	13	13	13	13	13	11	8	3	0	0	Sureste	
	este	0	71	128	127	91	43	13	13	13	11	8	3	0	0	Oeste	
	suroeste	0	73	144	154	158	135	91	46	16	11	8	3	0	0	Noreste	
	sur	0	28	69	100	123	136	141	136	123	100	69	28	0	0	Norte	
	suroeste	0	3	8	11	16	46	91	135	158	154	144	73	0	0	Noreste	
	Oeste	0	3	8	11	0	13	13	43	91	127	128	71	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	3	8	11	0	13	13	13	13	14	28	24	0	0	Sur	
Tragaluz plano	0	5	48	101	146	172	180	172	146	101	48	5	0	0	5	Tragaluz plano	
DIC. 22	Norte	0	2	7	11	12	13	13	13	12	11	7	2	0	0	Sur	
	Noreste	0	14	18	12	12	13	13	13	12	11	7	2	0	0	Sureste	
	este	0	56	118	121	85	34	13	13	12	11	7	2	0	0	Oeste	
	suroeste	0	59	139	147	159	134	97	60	20	11	7	2	0	0	Noreste	
	sur	0	25	74	111	132	146	149	146	132	111	74	25	0	0	Norte	
	suroeste	0	2	7	11	20	60	97	134	159	147	139	59	0	0	Noreste	
	Oeste	0	2	7	11	12	13	13	34	85	121	118	56	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	2	7	11	12	13	13	13	12	12	11	7	2	0	0	Sur
Tragaluz plano	0	4	36	92	135	161	170	161	135	92	36	4	0	0	4	Tragaluz plano	
Correcciones		Marco metálico o naglin anaco x 1.0 85 ó 1.17	Defecto de limpieza 15 % máx	Altitud + 0.7 % por 1,000 pies	Punto de rocío superior a 66 °F -7% por 10°F	Punto de rocío inferior a 66 °F +7% por 10°F	Latitud sur Día ó Enero + 7 %										

30°

TABLA 7 Ganancia de calor solar a través de cristales (continuación)

30°

30° Latitud norte		BTU por pie cuadrado												30° latitud sur				
tiempo solar →		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	← tiempo solar			
		AM													PM			
tiempo local →																← tiempo local		
Epoca del año	Fachada del edificio																Fachada del edificio	Epoca del año
JUN. 21	Norte	33	29	18	14	14	14	14	14	14	14	14	18	29	33	Sur	DIC. 22	
	Noreste	105	122	130	97	55	19	14	14	14	14	12	10	5	Suroeste			
	este	108	156	161	143	96	44	14	14	14	14	12	10	5	Este			
	suroeste	42	75	92	98	73	44	17	14	14	14	12	10	5	Noroeste			
	sur	5	10	12	14	15	19	21	19	15	14	12	10	5	Norte			
	suroeste	5	10	12	14	14	14	17	44	73	92	98	75	42	Noreste			
	Oeste	5	10	12	14	14	14	14	44	98	143	161	156	108	Oeste			
Noroeste	5	10	12	14	14	14	14	14	19	35	97	130	122	Suroeste				
Tragaluz plano	19	61	131	180	217	240	240	240	217	180	131	61	19	Tragaluz plano				
JUL. 23	Norte	22	20	14	13	14	14	14	14	14	13	14	20	22	Sur	ENE. 21		
	Noreste	93	121	123	89	76	16	14	14	14	13	12	9	4	Suroeste			
	este	100	155	164	145	99	44	14	14	14	13	12	9	4	Este			
	suroeste	42	82	102	109	83	53	22	14	14	13	12	9	4	Noroeste			
	sur	4	9	12	13	14	14	14	20	27	20	14	12	9	Norte			
	suroeste	4	9	12	13	14	14	14	53	83	109	123	82	42	Noreste			
	Oeste	4	9	12	13	14	14	14	44	99	145	164	155	100	Oeste			
Noroeste	4	9	12	13	14	14	14	16	46	99	123	121	93	Noroeste				
Tragaluz plano	15	66	123	176	214	236	236	214	176	123	66	15	Tragaluz plano					
AGO. 24	Norte	6	8	11	13	14	14	14	13	13	11	8	6	Sur	FEB. 20			
	Noreste	55	100	66	27	14	14	14	13	13	11	8	6	Suroeste				
	este	66	147	165	148	102	46	14	14	13	13	11	8	Este				
	suroeste	37	98	127	122	112	82	39	15	13	13	11	8	Noroeste				
	sur	2	8	13	27	47	58	63	58	47	27	13	8	Norte				
	suroeste	2	8	11	13	13	15	39	82	112	122	127	98	37	Noreste			
	Oeste	2	8	11	13	13	14	14	46	102	148	165	147	66	Oeste			
Noroeste	2	8	11	13	13	14	14	27	66	100	147	100	55	Suroeste				
Tragaluz plano	6	47	107	161	200	225	225	200	161	107	47	6	Tragaluz plano					
SEPT. 22	Norte	0	5	10	12	13	14	14	14	13	12	10	5	Sur	MAR. 22			
	Noreste	0	74	90	40	15	14	14	14	13	12	10	5	Suroeste				
	este	0	124	158	144	103	48	14	14	13	12	10	5	Este				
	suroeste	0	98	131	152	141	113	67	25	13	12	10	5	Noroeste				
	sur	0	9	18	60	82	98	102	82	60	18	9	0	Norte				
	suroeste	0	5	10	12	13	25	67	113	141	152	131	98	Noreste				
	Oeste	0	5	10	12	13	14	14	48	103	144	158	124	Oeste				
Noroeste	0	5	10	12	13	14	14	14	15	40	98	74	Suroeste					
Tragaluz plano	0	25	81	135	179	202	212	202	179	135	81	25	Tragaluz plano					
OCT. 23	Norte	0	3	8	11	12	13	14	13	12	11	8	3	Sur	ABR. 20			
	Noreste	0	33	32	18	12	13	14	13	12	11	8	3	Suroeste				
	este	0	79	122	132	94	43	14	13	12	11	8	3	Este				
	suroeste	0	73	142	162	159	136	92	47	15	11	8	3	Noroeste				
	sur	0	18	57	92	121	139	148	139	121	92	57	18	Norte				
	suroeste	0	3	8	11	15	47	92	136	159	162	142	73	Noreste				
	Oeste	0	3	8	11	12	13	14	43	94	132	162	79	Oeste				
Noroeste	0	3	8	11	12	13	14	13	12	11	8	3	Suroeste					
Tragaluz plano	0	6	49	100	143	171	172	171	143	100	49	6	Tragaluz plano					
NOV. 21	Norte	0	1	6	9	11	12	12	12	11	9	6	1	Sur	MAY. 21			
	Noreste	0	8	16	8	11	12	12	12	11	9	6	1	Suroeste				
	este	0	27	109	116	83	35	12	12	11	9	6	1	Este				
	suroeste	0	28	127	161	163	143	104	64	23	9	6	1	Noroeste				
	sur	0	10	64	109	137	154	139	154	137	109	64	10	Norte				
	suroeste	0	1	6	9	23	64	104	143	163	161	127	28	Noreste				
	Oeste	0	1	6	9	11	12	12	35	83	116	109	27	Oeste				
Noroeste	0	1	6	9	11	12	12	12	11	9	6	1	Suroeste					
Tragaluz plano	0	2	27	71	109	136	143	136	109	71	27	2	Tragaluz plano					
DIC. 22	Norte	0	0	4	9	11	12	12	12	11	9	4	0	Sur	JUN. 21			
	Noreste	0	0	18	9	11	12	12	12	11	9	4	0	Suroeste				
	este	0	0	92	182	80	32	12	12	11	9	4	0	Este				
	suroeste	0	0	114	157	162	143	108	72	28	9	4	0	Noroeste				
	sur	0	0	64	113	142	159	163	159	142	113	64	0	Norte				
	suroeste	0	0	4	9	28	72	108	143	162	157	114	0	Noreste				
	Oeste	0	0	4	9	11	12	12	32	80	116	92	0	Oeste				
Noroeste	0	0	4	9	11	12	12	12	11	9	4	0	Suroeste					
Tragaluz plano	0	0	19	60	97	122	131	122	97	60	19	0	Tragaluz plano					

Correcciones

Marco metálico o  
negran aluminio  
x 1.0 85 ó 1.17Defecto de  
luzapeta  
15 % máx.Altitud  
+ 0.7 % por  
1.000 piesPunto de rocío  
superior a 66 8°F  
-7% por 10°FPunto de rocío  
inferior a 66 8°F  
+7% por 10°FLatitud sur  
Dec. o Esteo  
+ 7 %

40°

TABLA 7 Ganancia de calor solar a través de cristales (continuación)

40°

40° Latitud norte		BTU por pie cuadrado												40° Latitud sur		
tiempo solar →		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	← tiempo solar	
tiempo local →		AM												PM	← tiempo local	
Epoca del año	Fachada del edificio													Fachada del edificio	Epoca del año	
JUN. 21	Norte	22	20	12	13	14	14	14	14	14	13	12	20	22	Sur	DIC. 22
	Noreste	118	122	112	79	30	14	14	14	14	13	12	10	6	Sureste	
	este	126	161	162	142	95	44	14	14	14	13	12	10	6	Este	
	suroeste	51	88	109	111	99	71	34	14	14	13	12	10	6	Noroeste	
	sur	6	10	12	19	35	44	54	44	35	19	12	10	6	Norte	
	suroeste	6	10	12	13	14	14	34	71	99	111	109	88	51	Noroeste	
	Oeste	6	10	12	13	14	14	14	44	95	142	161	126	118	Oeste	
JUL. 23	Norte	6	10	12	13	14	14	14	14	30	73	112	133	118	Surroeste	
	Noreste	31	82	134	179	210	232	237	232	210	179	134	82	31	Tragaluz plano	
	Norte	24	14	12	13	14	14	14	14	14	13	12	14	24	Sur	
	Noreste	106	127	105	66	26	14	14	14	14	13	12	10	5	Sureste	
	este	118	161	164	144	98	43	14	14	14	13	12	10	5	Este	
	suroeste	54	96	119	122	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Noroeste	
	sur	5	10	13	26	44	63	62	63	44	26	13	10	5	Norte	
MAY. 21	suroeste	5	10	12	13	14	15	42	82	10	125	119	96	54	Noroeste	
	Oeste	5	10	12	13	14	14	14	43	98	144	164	161	118	Oeste	
	Noroeste	5	10	12	13	14	14	14	26	66	105	127	106	110	Surroeste	
	Tragaluz plano	24	73	126	171	203	225	232	225	203	171	126	73	24	Tragaluz plano	
	Norte	7	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Sur	
	Noreste	68	122	82	46	16	14	14	14	14	13	11	8	3	Sureste	
	este	84	147	162	145	101	45	14	14	14	13	11	8	3	Este	
AGO. 24	suroeste	48	105	138	166	139	107	66	25	14	13	11	8	3	Noroeste	
	sur	3	8	24	51	89	97	182	97	89	51	24	8	3	Norte	
	suroeste	3	8	11	13	14	25	65	107	139	166	138	105	48	Noroeste	
	Oeste	3	8	11	13	14	14	14	45	101	145	162	147	84	Oeste	
	Noroeste	3	8	11	13	14	14	14	14	16	46	82	102	68	Surroeste	
	Tragaluz plano	9	47	100	150	185	205	214	205	185	150	100	47	9	Tragaluz plano	
	SEPT. 22	Norte	0	5	9	12	13	13	14	13	13	12	9	5	0	Sur
Noreste		0	51	28	26	13	13	14	13	13	12	9	5	0	Sureste	
este		0	116	122	139	99	45	14	13	13	12	9	5	0	Este	
suroeste		0	95	144	162	157	133	90	41	14	12	9	5	0	Noroeste	
sur		0	12	44	81	110	122	140	122	110	81	44	12	0	Norte	
suroeste		0	5	9	12	14	41	90	133	157	162	144	95	0	Noroeste	
Oeste		0	5	9	12	13	13	14	45	99	139	166	147	116	Oeste	
MAR. 22	Noroeste	0	5	9	12	13	13	14	13	13	26	51	0	0	Surroeste	
	Tragaluz plano	0	21	67	124	153	176	183	176	153	124	67	21	0	Tragaluz plano	
	Norte	0	2	6	10	11	12	12	12	11	10	6	12	0	Sur	
	Noreste	0	25	33	12	11	12	12	12	11	10	6	12	0	Sureste	
	este	0	83	117	122	88	39	12	12	11	10	6	12	0	Este	
	suroeste	0	81	132	164	163	144	107	63	20	10	6	12	0	Noroeste	
	sur	0	21	59	104	137	154	163	154	137	104	59	21	0	Norte	
FEB. 20	suroeste	0	2	6	10	20	63	107	6	162	161	132	83	0	Noroeste	
	Oeste	0	2	6	10	11	12	12	39	88	122	117	85	0	Oeste	
	Noroeste	0	2	6	10	11	12	12	12	12	33	33	25	0	Surroeste	
	Tragaluz plano	0	8	29	64	101	123	137	123	101	64	29	8	0	Tragaluz plano	
	Norte	0	0	3	7	9	10	11	10	9	7	3	0	0	Sur	
	Noreste	0	0	12	7	9	10	11	10	9	7	3	0	0	Sureste	
	este	0	0	91	108	74	33	11	10	9	7	3	0	0	Este	
NOV. 21	suroeste	0	0	59	144	156	144	116	70	27	7	3	0	0	Noroeste	
	sur	0	0	59	104	139	158	166	158	139	104	59	0	0	Norte	
	suroeste	0	0	3	7	27	70	116	144	156	144	109	0	0	Noroeste	
	Oeste	0	0	3	7	9	10	11	33	74	108	91	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	0	3	7	9	10	11	10	9	7	3	0	0	Surroeste	
	Tragaluz plano	0	0	16	43	73	92	103	92	73	43	16	0	0	Tragaluz plano	
	ENE. 21	Norte	0	0	2	6	9	10	10	10	9	6	2	0	0	Sur
Noreste		0	0	7	6	9	10	10	10	9	6	2	0	0	Sureste	
este		0	0	72	86	68	31	10	10	9	6	2	0	0	Este	
suroeste		0	0	88	134	148	142	115	73	30	7	2	0	0	Noroeste	
sur		0	0	51	99	134	158	168	158	134	99	51	0	0	Norte	
suroeste		0	0	2	4	30	73	115	142	168	134	88	0	0	Noroeste	
Oeste		0	0	2	6	9	10	10	31	68	86	72	0	0	Oeste	
DIC. 22	Noroeste	0	0	2	6	9	10	10	10	9	6	2	0	0	Surroeste	
	Tragaluz plano	0	0	8	32	55	76	85	76	55	32	8	0	0	Tragaluz plano	
	Correcciones	Marzo más/lucro o menor/marzo x 1.03 0.5 o 1.17		Defecto de luz/luz 15 % más.		Altitud + 0.7 % por 1,000 pies		Punto de rocío superior a 66 °F -7% por 10°F		Punto de rocío inferior a 66 °F +7% por 10°F		Inclina sur Diciembre + 7%				

50°

TABLA 7 Ganancia de calor solar a través de cristales (continuación)

50°

50° Latitud norte		BTU por pie cuadrado												50° Latitud sur		
tiempo solar →		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	← tiempo solar	
tiempo local →		AM													PM	
Epoca del año	Fachada del edificio														Fachada del edificio	Epoca del año
JUN. 21	Norte	22	12	12	13	14	14	14	14	14	13	12	12	22	Sur	DIC. 22
	Noreste	126	125	94	50	16	14	14	14	14	13	12	10	8	Este	
	este	139	164	162	136	94	41	14	14	14	13	12	10	8	Este	
	suroeste	64	102	126	125	124	98	61	23	14	13	12	10	8	Norte	
	sur	8	10	16	39	68	87	87	68	39	16	10	8	8	Noreste	
	suroeste	8	10	12	13	14	23	61	98	124	126	126	102	64	Noreste	
	Oeste	8	10	12	13	14	14	14	41	94	136	162	164	139	Oeste	
Noroeste	8	10	12	13	14	14	14	14	16	50	94	125	126	Suroeste		
Tragaluz plano	44	86	133	173	197	214	214	197	173	133	86	44	44	Tragaluz plano		
JUL. 23	Norte	21	11	12	13	14	14	14	14	13	12	11	11	21	Sur	ENE. 21
	Noreste	114	112	87	44	15	14	14	14	14	13	12	10	6	Este	
	este	131	161	162	141	96	43	14	14	14	13	12	10	6	Este	
	suroeste	65	107	134	162	136	109	70	26	14	13	12	10	6	Noreste	
	sur	6	10	21	50	80	98	106	98	80	50	21	10	6	Norte	
	suroeste	6	10	12	13	14	26	70	109	136	162	134	107	65	Noreste	
	Oeste	6	10	12	13	14	14	14	43	96	141	182	161	131	Oeste	
Noroeste	6	10	12	13	14	14	14	14	15	44	87	112	114	Noroeste		
Tragaluz plano	33	75	119	159	188	205	211	205	188	159	119	75	33	Tragaluz plano		
AGO. 24	Norte	8	8	10	12	13	14	14	14	13	12	10	8	8	Sur	FEB. 20
	Noreste	76	24	70	31	13	14	14	14	13	12	10	8	4	Suroeste	
	este	94	145	158	141	98	45	14	14	13	12	10	8	4	Este	
	suroeste	53	111	144	152	153	132	89	40	13	12	10	8	4	Norte	
	sur	4	8	36	73	105	130	138	130	105	73	36	9	4	Norte	
	suroeste	4	8	10	12	13	40	89	132	153	152	144	111	53	Noroeste	
	Oeste	4	8	10	12	13	14	14	45	98	141	182	145	94	Oeste	
Noroeste	4	8	10	12	13	14	14	14	13	11	70	84	76	Suroeste		
Tragaluz plano	13	46	89	131	160	179	185	179	160	131	89	46	13	Tragaluz plano		
SEPT. 22	Norte	0	4	8	10	12	12	12	12	12	10	8	4	0	Sur	MAR. 22
	Noreste	0	28	46	16	12	12	12	12	12	10	8	4	0	Este	
	este	0	102	130	93	43	12	12	12	12	10	8	4	0	Este	
	suroeste	0	86	139	162	162	145	105	56	17	10	8	4	0	Noroeste	
	sur	0	11	51	93	131	150	158	150	131	93	51	11	0	Norte	
	suroeste	0	4	8	10	17	56	105	145	162	139	86	40	0	Noreste	
	Oeste	0	4	8	10	12	12	12	12	93	150	158	102	0	Oeste	
Noroeste	0	4	8	10	12	12	12	12	12	16	46	28	0	Noroeste		
Tragaluz plano	0	15	49	88	118	140	158	140	118	88	49	15	0	Tragaluz plano		
OCT. 23	Norte	0	0	4	7	9	10	11	10	9	7	4	0	0	Sur	ABR. 20
	Noreste	0	22	20	7	9	10	11	10	9	7	4	0	0	Suroeste	
	este	0	73	99	185	79	35	11	10	9	7	4	0	0	Este	
	suroeste	0	69	111	145	152	144	115	69	24	7	4	0	0	Noroeste	
	sur	0	17	53	99	137	157	162	157	137	99	53	17	0	Norte	
	suroeste	0	0	4	7	24	69	115	144	152	145	111	69	0	Noreste	
	Oeste	0	0	4	7	9	10	11	35	79	105	99	73	0	Oeste	
Noroeste	0	0	4	7	9	10	11	10	9	7	20	20	0	Suroeste		
Tragaluz plano	0	2	19	45	72	86	94	86	72	45	19	2	0	Tragaluz plano		
NOV. 21	Norte	0	0	1	4	6	8	8	8	6	4	1	0	0	Sur	MAY. 21
	Noreste	0	0	5	4	6	8	8	8	6	4	1	0	0	Suroeste	
	este	0	0	51	64	57	28	9	8	6	4	1	0	0	Este	
	suroeste	0	0	62	95	122	122	107	67	21	4	1	0	0	Noreste	
	sur	0	0	34	70	116	143	153	143	116	70	34	4	0	Norte	
	suroeste	0	0	1	4	21	67	107	122	122	95	62	0	0	Noroeste	
	Oeste	0	0	1	4	6	8	9	18	57	64	51	0	0	Oeste	
Noroeste	0	0	1	4	6	8	9	8	6	4	5	0	0	Suroeste		
Tragaluz plano	0	0	4	13	30	47	53	47	30	13	4	0	0	Tragaluz plano		
DIC. 22	Norte	0	0	0	13	3	6	2	6	3	3	0	0	0	Sur	JUN. 21
	Noreste	0	0	0	13	5	6	2	6	3	3	0	0	0	Suroeste	
	este	0	0	0	27	42	23	7	6	5	3	0	0	0	Este	
	suroeste	0	0	0	41	107	116	100	62	25	3	0	0	0	Noroeste	
	sur	0	0	0	31	99	131	161	131	99	31	0	0	0	Norte	
	suroeste	0	0	0	3	25	62	100	116	107	41	0	0	0	Noreste	
	Oeste	0	0	0	3	5	6	2	6	3	3	0	0	0	Oeste	
Noroeste	0	0	0	3	5	6	2	6	3	3	0	0	0	Suroeste		
Tragaluz plano	0	0	0	5	19	33	48	33	19	5	0	0	0	Tragaluz plano		
Correcciones		Marco metálico o ningún marco x 1/6 BS ó 1/17	Defecto de limpieza 15% máx.		Altitud + 0.7% por 1,000 pies		Punto de rocío superior a 66.8°F -7% por 10°F		Punto de rocío inferior a 66.8°F +7% por 10°F		Latitud sur Dnc o Enero + 7%					

TABLA 8 Factores de corrección para diferentes tipos de dispositivos protectores contra la luz solar

Clases de vidrio	factor para cristal sin sombra $f_1$	Persiana abierta a 45° (interior) $f_2$			Persiana abierta a 45° (exterior) $f_2$	
		Color claro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Claro afuera, adentro oscuro
Vidrio común	1.00	0.56	0.65	0.75	0.15	0.13
Placa regular de vidrio (1/4 de pulgada)	0.94	0.56	0.65	0.74	0.14	0.12
Vidrio que absorbe calor:						
40% a 48% de absorción	0.80	0.56	0.62	0.72	0.16	0.11
48% a 56% de absorción	0.73	0.53	0.59	0.63	0.11	0.10
56% a 70% de absorción	0.62	0.51	0.54	0.56	0.10	0.10
Vidrio doble:						
vidrio común	0.90	0.51	0.61	0.67	0.14	0.12
placa regular de vidrio	0.80	0.53	0.59	0.65	0.12	0.11
vidrio común adentro, 48 a 56% absorción exterior	0.52	0.36	0.39	0.43	0.10	0.10
placa regular interior	0.50	0.39	0.39	0.43	0.10	0.10
Vidrio triple:						
vidrio común	0.83	0.48	0.56	0.64	0.12	0.11
placa regular	0.69	0.47	0.52	0.57	0.10	0.10
Vidrio pintado:						
color claro	0.28					
color medio	0.39					
color oscuro	0.50					
Vidrio polarizado:						
color ámbar	0.70					
rojo oscuro	0.56					
azul oscuro	0.60					
verde oscuro	0.32					
verde grisáceo	0.46					
opalescente claro	0.43					
opalescente oscuro	0.37					

**TABLA 9** Temperatura diferencial total equivalente, para calcular la ganancia de calor a través de paredes

Latitud norte	TIEMPO SOLAR														Latitud sur				
	A.M.						P.M.												
	8	10	12	2	4	6	8	10	12										
Pared hacia el:	Color exterior de la pared (O= oscura, C= clara)														Pared hacia el:				
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C		O	C		
<b>Partición</b>																			
NE	22	10	24	12	14	10	12	10	14	14	14	14	10	10	6	4	2	2	SE
E	30	14	36	18	32	16	12	12	14	14	14	14	10	10	6	6	2	2	E
SE	13	6	26	16	28	18	24	16	16	14	14	14	10	10	6	4	2	2	NE
S	-4	-4	4	0	22	12	30	20	26	20	16	14	10	10	6	6	2	2	N
SO	-4	-4	0	-2	6	4	26	22	40	28	42	28	24	20	6	4	2	2	NO
O	-4	-4	0	0	6	6	20	12	40	28	48	34	22	22	8	8	2	2	O
NO	-4	-4	0	-2	6	4	12	10	24	20	40	26	34	24	6	4	2	2	SO
N (sombra)	-4	-4	-2	-2	4	4	10	10	14	14	12	12	8	8	4	4	0	0	S (sombra)
<b>Tabique de 4 plg ó piedra</b>																			
NE	-2	-4	24	12	20	10	10	6	12	10	14	14	12	12	10	10	6	4	SE
E	2	0	30	14	31	17	14	14	12	12	14	14	12	12	10	8	6	6	E
SE	2	-2	20	10	28	16	26	16	18	14	14	14	12	12	10	8	6	6	NE
S	-4	-4	-2	-2	12	6	24	16	26	18	20	16	12	12	8	8	4	4	N
SO	0	-2	0	-2	2	12	8	32	22	36	26	34	24	10	8	6	6	6	NO
O	0	-2	0	0	4	2	10	8	26	18	40	28	42	28	16	14	6	6	O
NO	-4	-4	-2	-2	2	2	8	6	12	12	30	22	34	24	12	10	6	6	SO
N (sombra)	-4	-4	-2	-2	0	0	6	6	10	10	12	12	12	8	8	4	4	4	S (sombra)
<b>Ladrillo hueco de 8 plg</b>																			
NE	0	0	0	0	20	10	16	10	10	6	12	10	14	12	12	10	8	8	SE
E	4	2	12	4	24	12	26	14	20	12	12	10	14	12	14	10	10	8	E
SE	2	0	2	0	16	8	20	12	20	14	14	12	14	12	12	10	8	6	NE
S	0	0	0	0	2	0	12	6	24	14	26	16	20	14	12	10	8	6	N
SO	2	0	2	0	2	0	6	4	12	10	26	18	30	20	26	18	8	6	NO
O	4	2	4	2	4	2	6	4	10	8	18	14	30	22	32	22	18	14	O
NO	0	0	0	0	2	0	4	2	8	6	12	10	22	18	30	22	10	8	SO
N (sombra)	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	6	6	10	10	10	10	10	6	6	6	S (sombra)
<b>Tabique de 8 plg - Ladrillo hueco de 12 plg</b>																			
NE	2	2	2	2	10	2	16	8	14	8	10	6	10	8	10	10	10	8	SE
E	8	6	8	6	14	8	18	10	18	10	14	8	14	10	14	10	12	10	E
SE	8	4	6	4	6	4	14	10	18	12	16	12	12	10	12	10	12	10	NE
S	4	2	4	2	4	2	4	2	10	6	16	10	16	12	12	10	10	8	N
SO	8	4	6	4	6	4	8	4	10	6	12	8	20	12	24	16	20	14	NO
O	8	4	6	4	6	6	8	6	10	6	14	8	20	16	24	16	24	16	O
NO	2	2	2	2	2	2	4	2	6	4	8	6	10	8	16	14	18	14	SO
N (sombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	6	8	8	8	6	6	6	S (sombra)
<b>Tabique de 12 plg</b>																			
NE	8	6	8	6	8	4	8	4	10	4	12	6	12	6	10	6	10	6	SE
E	12	8	12	8	12	8	10	6	12	8	14	10	14	10	14	8	14	8	E
SE	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	12	8	14	10	14	10	12	8	NE
S	8	6	8	6	6	4	6	4	6	4	8	4	10	6	12	8	12	8	N
SO	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	12	8	14	10	NO
O	12	8	12	8	12	8	10	6	10	6	10	6	10	6	12	8	16	10	O
NO	8	6	8	6	8	4	8	4	8	4	8	4	8	6	10	6	10	6	SO
N (sombra)	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	6	6	S (sombra)

**TABLA 9** Temperatura diferencial total equivalente, para calcular la ganancia de calor a través de paredes (conclusión)

Latitud norte	TIEMPO SOLAR												Latitud sur						
	A.M.				P.M.														
	8	10	12	2	4	6	8	10	12										
Pared hacia el:	Color exterior de la pared (O= oscura, C= clara)												Pared hacia el:						
	0	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C		O	C				
Concreto ó piedra de 8 plg ó bien bloque de concreto de 6 u 8 plg																			
NE	4	2	4	0	16	8	14	8	10	6	12	8	12	10	10	8	8	6	SE
E	6	4	14	8	24	12	24	12	18	10	14	10	14	10	12	10	10	8	E
SE	6	2	6	4	16	10	18	12	18	12	14	12	12	10	12	10	10	8	NE
S	2	1	2	1	4	1	12	6	16	12	18	12	14	12	10	8	8	6	N
SO	6	2	4	2	6	2	8	4	14	10	22	16	24	16	22	16	10	8	NO
O	6	4	6	4	6	4	8	6	12	8	20	14	28	18	26	18	14	10	O
NO	4	2	4	0	4	2	4	4	6	6	12	10	20	14	22	16	8	6	SO
N (sombra)	0	0	0	0	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	6	6	4	4	S (sombra)
Concreto ó piedra de 12 plg																			
NE	6	4	6	2	6	2	14	8	14	8	10	8	10	8	12	10	10	8	SE
E	10	6	8	6	10	6	18	10	18	12	16	10	12	10	14	10	14	10	E
SE	8	4	8	4	6	4	14	8	16	10	16	10	14	10	12	10	12	10	NE
S	6	4	4	2	4	2	4	2	10	6	14	10	16	12	14	10	10	8	N
SO	8	4	8	4	6	4	6	4	8	6	10	8	18	14	20	14	18	12	NO
O	10	6	8	6	8	6	10	6	10	6	12	8	16	10	24	14	22	14	O
NO	6	4	6	2	6	2	6	4	6	4	8	6	10	8	18	12	20	14	SO
N (sombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	6	6	S (sombra)

**NOTAS**

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Ganancia total de calor debida} \\ \text{a la radiación solar y a la} \\ \text{diferencia de temperaturas en} \\ \text{BTU} \cdot (\text{h} \cdot \text{pie}^2)^{-1} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Coeficiente de transmisión de} \\ \text{calor de la pared en} \\ \text{BTU} \cdot (\text{h} \cdot \text{pie}^2 \cdot ^\circ\text{F})^{-1} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{Temperatura diferencial} \\ \text{tomada de la tabla} \end{array} \right]$$

**TABLA 10** Temperatura diferencial total equivalente para calcular la ganancia de calor a través de techos

Descripción de los materiales del techo	Tiempo solar									
	A.M.					P.M.				
	8	10	12	2	4	6	8	10	12	
<b>Techos expuestos al sol. Construcción ligera</b>										
Madera de 1 plg										
	12	38	54	62	50	26	10	4	0	
Madera de 1 plg y aislamiento de 2 plg										
<b>Techos expuestos al sol. Construcción media</b>										
Concreto de 2 plg										
Concreto de 2 plg y aislamiento de 2 plg	6	30	48	58	50	32	14	6	2	
Madera de 2 plg										
Concreto de 4 plg										
	0	20	38	50	52	40	22	12	6	
Concreto de 4 plg y aislamiento de 2 plg										
<b>Techos expuestos al sol. Construcción pesada</b>										
Concreto de 6 plg	4	6	24	38	46	44	32	18	12	
Concreto de 6 plg y aislamiento de 2 plg	6	6	20	34	42	44	34	20	14	
<b>Techos en la sombra</b>										
Construcción ligera	-4	0	6	12	14	12	8	2	0	
Construcción media	-4	-2	2	8	12	12	10	6	2	
Construcción pesada	-2	-2	0	4	8	10	10	8	4	

**NOTAS:**

- 1.- Calculada con el método de Mackey y Wright.
- 2.- Para techos que no sean planos, considérese el área proyectada.
- 3.- Cuando el color del techo es claro como el blanco o el aluminio, añada a la temperatura equivalente diferencial en techos a la sombra el 55% de la diferencia entre el techo a la sombra y el techo expuesto al sol. Cuando el color es gris claro, azul claro, gris claro o roja brillante añada el 80%.

**TABLA 11 Infiltración en verano, debido a las aperturas de puertas para locales comerciales**

Aplicaciones	Infiltración por personas en un cuarto (pies <sup>3</sup> /min)		Promedio de permanencia (min.)
	Puerta giratoria (72 plg)	Puerta oscilatoria (36 plg)	
Banco	7.5	10.0	20
Peluquería	3.5	4.5	45
Oficina del cajero	5.0	6.5	30
Fuente de sodas	5.0	6.5	30
Tabaquería	15.0	20.0	10
Tienda de ropa (tienda chica)	5.0	6.5	30
Tienda de vestidos	2.0	2.5	75
Farmacia	10.0	13.0	15
Peletería	2.0	2.0	30
Comedor	5.0	6.5	30
Tienda de ropa para hombre	3.5	4.5	45
Despacho	2.5	3.0	60
Restaurante	2.0	2.5	75
Zapatería	3.5	4.5	45

TABLA 12 Calor producido por las personas

Grado de actividad	Aplicación típica	Relación metabólica de un hombre adulto BTU-h <sup>-1</sup>	Grupo de personas			Ponderación de la relación metabólica BTU-h <sup>-1</sup>	Temperaturas del cuarto (°F, BS)									
			Hombre	% de composición del grupo			82°F		80 °F		78 °F		75 °F		70 °F	
				Mujer	Niño		BTU-h <sup>-1</sup>		BTU-h <sup>-1</sup>		BTU-h <sup>-1</sup>		BTU-h <sup>-1</sup>		BTU-h <sup>-1</sup>	
							Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.
Sentado	Teatro	390	45	45	10	350	175	175	195	155	210	140	230	120	260	90
Sentado; trabajo ligero	Escuelas	450	50	50	0	400	180	220	195	205	215	185	240	160	275	125
Trabajo de oficina, actividad moderada	Oficinas, hoteles, departamentos	475	50	50	0	450	200	270	200	250	215	235	245	205	285	165
Parados; caminando despacio	Tiendas de ropa, almacenes	550	10	70	20	450	200	270	200	250	215	280	245	205	285	165
Caminando; sentado, de pie; caminando despacio	Cafeterías,	550	20	70	10	500	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210
	Bancos	550	40	60	0											
Trabajo sedentario	Restaurants	500	50	50	0	550	190	360	220	330	240	310	280	270	320	230
Trabajo ligero	Fábrica, trabajo ligero	800	60	40	0	750	190	560	220	530	245	505	295	455	365	285
Baile moderado	Salas de baile	900	50	50	0	850	220	630	245	605	275	575	325	525	400	450
Caminando 3mph	Fábricas, trabajo algo pesado	1000	100	0	0	1000	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540
Jugando	Boliche	1500	75	25	0	1450	450	1000	465	985	485	965	525	925	605	845

**TABLA 13 Ganancia de calor debida al equipo misceláneo**

Dispositivo	Calor disipado durante el funcionamiento (BTU·h <sup>-1</sup> )	
	Calor sensible	Calor latente
Luz eléctrica y aparatos eléctricos, por kw instalado	3413	---
Motores con la carga aplicada en el mismo cuarto, por HP*		
De 1/8 - 1/2 HP	4250	---
De 1/2 - 3 HP	3700	---
De 3 - 20 HP	2950	---
Cafetera eléctrica (3 galones)	2200	1500
Cafetera eléctrica (5galones)	3400	2300
Estufa de gas	3100	1700
Calentador de agua	3150	3850
Horno domestico de gas	8100	4000
Cafetera de gas (3 galones)	2500	2500
Cafetera de gas (5 galones)	3900	3900
Equipo calentado por vapor, por pie cuadrado**		
Superficies calentadas por vapor:		
Pulida	130	---
Sin pulir	330	---
Superficie aislada	80	---
Secadores de pelo para sala de belleza:		
Tipo soplador	2300	400
Tipo casco	1870	330
Restaurantes, por comida servida	30 (BTU)	---

\* Con carga conectada fuera del cuarto, reste 2544 BTU·h<sup>-1</sup>.

\*\* Para equipo cubierto, reduzca los valores un 50 %.

**TABLA 14 Ganancia de calor por motores eléctricos (Operación continua BTU·h<sup>-1</sup>)**

Potencia del motor	Posición del aparato con respecto a la corriente de aire o al espacio acondicionado		
	Motor y equipo movido dentro del área	Motor fuera y equipo movido dentro	Motor dentro del área y equipo movido fuera
1/8	580	320	260
1/6	710	430	280
1/4	1000	640	360
1/3	1290	850	440
1/2	1820	1280	540
3/4	2640	1930	750
1	3220	2540	680
1 - 1/2	4770	3820	950
2	6380	5100	1280
3	9450	7650	1800
5	15600	12800	2800
7 - 1/2	22500	19100	3400
10	30000	25500	4500
15	44500	38200	6300
20	58500	51000	7500
25	72400	63600	8800

TABLA 15 Ganancia de calor por electrodomésticos (Btu-h<sup>-1</sup>)<sup>8</sup>

Tipo de electrodoméstico	Eléctrico				Gas				Vapor				
	Sin campana de extracción			Con campana <sup>y</sup>	Sin campana de extracción			Con campana <sup>y</sup>	Sin campana de extracción			Con campana <sup>y</sup>	
	Sensible	Latente	Total	Todo sensible	Sensible	Latente	Total	Todo sensible	Sensible	Latente	Total	Todo sensible	
Horno - parrilla 31" X 20" X 18"													
Cafetera:													
haciendo café	770	230	1000	340	11700	6300	18000	3600					
calentando café	230	70	300	90	750		2500	500					
Jarrón para café:													
de 3 galones	2550	850	3400	1000	3500	1500	5000	1000	2180	1120	3300	1000	
de 5 galones	3850	1250	5100	1600	5250	2250	7500	1500	3300	1700	5000	1600	
de 8 galones (doble)	5200	1600	6800	2100	7000	3000	10000	2000	4350	2250	6600	2100	
Parrilla para freír:													
15 libras	2800	6600	9400	3000	7500	7500	15000	3000					
21 libras	4100	9600	13700	4300									
Calentador de alimentos deshidratados (por pie <sup>2</sup> )	320	80	400	130	560	140	700	140					
Parrilla, freído (por pie <sup>2</sup> )	300	1600	4600	1500	4900	2600	7500	1500					
Estufa (de dos unidades)					5300	3600	8900	2800					
Fogón para comidas rápidas (parrilla abierta) por quemador					3200	1800	5000	1000					
Parrilla de vapor (por pie <sup>2</sup> )					750	500	1250	250	500	325	825	260	
Tostadora:													
Continua													
360 tajadas por hora	1960	1740	3700	1200	3600	2400	6000	1200					
720 tajadas por hora	2700	2400	5100	1600	6000	4000	10000	2000					
De tandas de 4 tajadas	2230	1970	4200	1300									
Wafflera 18" X 20" X 13" (2 parrillas)	1680	1120	2800	900									
Secador de pelo:													
soplador	2300	400	2700										
de pedestal	1870	330	2200										
Quemadores de laboratorio:													
Bunsen					1680	420	2100						
Fish-tail					2800	700	3500						
Moecker					3360	840	4200						
Aviso de neón (por pie de tubo)	60		60										
Esterilizador	650	1200	1850										
Máquina vendedora de bebidas calientes			1200										
de bebidas frías			625										

<sup>8</sup> Operación promedia para una hora.

<sup>y</sup> Estos valores no incluyen las cargas de calor latente y sensible impuestas por el aire exterior que entra para remplazar el aire sacado por la campana de extracción. Estos valores incluyen solamente la carga de calor sensible resultante de la radiación directa emanada del aparato.

**TABLA 16 Ventilación recomendada para diferentes lugares**

APLICACION	Homo de cigarros	pies <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> por persona		pies <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> mínimos de aire por pie <sup>2</sup> de techo
		Recomendado	Mínimo	
Departamentos: normales	Poco	20	15	—
de lujo	Poco	30	25	0.33
Bancos	Ocasional	10	7.5	—
Peluquerías	Considerable	15	10	—
Salones de belleza	Ocasional	10	7.5	—
Bares	Mucho	30	25	—
Corredores	—	—	—	0.25
Salas de juntas	Excesivo	50	30	—
Departamentos de tiendas	Nada	7.5	5	0.05
Garajes	—	—	—	1.0
Fábricas	Nada	10	7.5	0.10
Funerarias (salones)	Nada	10	7.5	—
Cafetería	Considerable	10	7.5	—
Hospitales:				
quirófanos	Nada	—	—	2.0
cuartos privados	Nada	30	25	0.33
salas de espera	Nada	20	15	—
Habitaciones de hotel	Mucho	30	25	0.33
Cocinas:				
restaurantes	—	—	—	4.0
residencias	—	—	—	2.0
Laboratorios	Poco	20	15	—
Salones de reunión	Mucho	50	30	1.25
Oficinas:				
generales	Poco	15	10	—
privadas	Nada	25	15	0.25
privadas	Considerable	30	25	0.25
Restaurantes:				
cafetería	Considerable	12	10	—
comedor	Considerable	15	12	—
Salones de clase	—	—	—	—
Teatros	Nada	7.5	5	—
Teatros	Poco	15	10	—
Tocadores	—	—	—	2.0

**TABLA 17 Incremento en °F para añadir a la diferencial entre la temperatura de diseño exterior e interior para compensar el efecto solar**

	Pared este	Pared sur	Pared oeste	Techo plano
Superficie color oscuro	8	5	8	20
Superficie color entre oscuro y claro	6	4	6	15
Superficie color claro	4	2	4	9

**TABLA 18 Cambio promedio de aire, por 24 horas para cuarto de almacenamiento superior a 32 °F, debido a la abertura de puertas y filtración**

Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas	Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas	Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas	Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas
250	38.0	1000	17.5	6000	6.5	30000	2.7
300	34.5	1500	14.0	8000	5.5	40000	2.3
400	29.5	2000	12.0	10000	4.9	50000	2.0
500	26.0	3000	9.5	15000	3.9	75000	1.6
600	23.0	4000	8.2	20000	3.5	100000	1.4
800	20.0	5000	7.2	25000	3.0		

**TABLA 19 Cambio promedio de aire, por 24 horas para cuarto de almacenamiento a menos de 32 °F, debido a la abertura de puertas y filtración**

Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas	Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas	Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas	Volumen pies <sup>3</sup>	Cambios de aire por 24 horas
250	29.0	1000	13.5	5000	5.6	25000	2.3
300	26.2	1500	11.0	6000	5.0	30000	2.1
400	22.5	2000	9.3	8000	4.3	40000	1.8
500	20.0	2500	8.1	10000	3.8	50000	1.6
600	18.0	3000	7.4	15000	3.0	75000	1.3
800	15.3	4000	6.3	20000	2.6	100000	1.1

TABLA 20 Datos de diseño para almacenamiento de frutas

Frutas	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO				Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb 24 hr	CALOR ESPECIFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min.	
		Temperatura		Humedad relativa			Temp. de producto °F	Tiempo en hr	Factor de rapidez		Antes de congelar	Después de congelar					
		°F recomendado	Rango permisible °F	Recomendado %	Rango permisible %												
Manzana	Corto	35	35-40	87	85-88	25.0	48 meses	80	32	24	0.67	4.0	0.89	0.43	122	84	28.9
	Largo	30	30-32	87	85-88	20.8											
	Inic. enf.	40		85		31.0											
	Acob. enf.	30		85		20.4											
Chabacano	Corto	35	35-40	85	80-85	25.2	7-14 días	80	33	20	0.67	4.0	0.92	0.50	122	85	28.1
	Largo	32	31-32	85a	80-85	22.3											
	Inic. enf.	40		85		31.0											
	Acob. enf.	32		85		22.3											
Aguacate	Corto	40k	40-53	85b	85-90	31.0	10 días	80	39	22	0.67	4.5	0.91	0.49	136	94	27.2
	Largo	38k	37-53	85b	85-90	28.8											
	Inic. enf.	40		85		31.0											
	Acob. enf.	33		85		23.2											
Plátano	Madurec. Inic. enf.	70	62-70	95	90-95	104.7	10 días	Calentamiento 58° - 70°			2.0	0.90	108	75	26-30	90	
	Acob. enf.	56		90		104.7		68	56	12	0.1						11.0f
	cont. verde	56		92	90-95	61.3											1.0
	Mant. mad.	56	56-60	87	85-90	58.0											1.0
		56		87		58.0											1.0
		56		87		58.0											1.0
Fresas, Cerezas, etc.	Corto	35	35-40	85	80-85	25.2	3-10 días	80	34	20	0.67	6.3	0.90	0.49	120	84	28-30
	Largo	32	31-32	85b	80-85	22.3											
	Inic. enf.	40		85		31.0											
	Acob. enf.	32		85		25.2											
Arándano	Corto	36	36-40	85	85-90	26.4	1-3 meses	70	38	20	0.67	5.0	0.91	0.47	122	88	27.3
	Largo	36	36-40	85b	85-90	26.4											
	Inic. enf.	40		85		31.0											
	Acob. enf.	36		85		26.2											
Dátiles (curados)	Corto	35k	35-40	70c	65-75	20.8	3-6 mes					0.10	0.35	26	18	4	150
	Largo	28k	28-32	70c	65-75	15.4						0.05					
Frutas secas	Corto	35	35-40	70c	70-75	20.8	9-12mes					0.10	0.47	0.32	43	30	150
	Largo	32 L	32-36	70c	70-75	18.6						0.07					
Higos y Dátiles (frescos)	Corto	40	40-50	75	65-75	27.5	15 días					5.0	0.71	0.44	116	90	28.3
	Largo	34	34-36	70	65-75	20.0						0.4					
Uvas (oriental americana)	Corto	35	35-40	85	80-85	25.2	3-8 semanas	70	34	20	0.80	5.0	0.90	0.61	112	77	28.0
	Largo	31	31-32	85b	80-85	21.3											
	Inic. enf.	40		85		31.0											
	Acob. enf.	32		85		22.3											
Uvas (visifera California)	Corto	35	35-40	85	85-90	25.2	3-6 meses	70	34	20	0.80	5.0	0.85	0.59	112	79	24.3
	Largo	30	30-31	85b	85-90	20.4											
	Inic. enf.	40		85		31.0											
	Acob. enf.	32		85		22.3											

TABLA 20 Datos de diseño para almacenamiento de frutas (continuación)

Frutas	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO				Granos por libra de aire a la condición recomendada	Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb 24 hr	CALOR ESPECIFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min.	
		Temperatura		Humedad relativa				Temp. de producto °F		Tiempo en hr		Factor de rapidez	Antes de congelar					Después de congelar
		°F recomendado	Rango permisible °F	Recomendado %	Rango permisible %			Inicial	Final									
Toronja	Corto	40	40-45	90	85-90	32.8	6-8 semanas	75	34	22	0.70	2.0	0.91	0.49	128	88	28.4	
	Largo	32 j	32-34	85b	85-90	22.3						0.3	0.49	128	88	28.4		
	Inic. enf.	40		85		31.0						19.0f						
	Acab. enf.	32		85		22.3					0.3							
Limón	Corto	55	55-60	85b	85-90	54.5	1-4 meses	75	57	20	1.0	3.0	0.91	0.49	126	88	28.1	
	Largo	55	55-60	85b	85-90	54.5						0.3						
	Inic. enf.	60		85		65.5						10.0f						
	Acab. enf.	55		85		54.5					0.3							
Lima	Corto	45	45-50	85b	85-90	37.5	6-8 semanas	75	57	20	0.90	4.0	0.91	0.49	126	88	29.3	
	Largo	45	45-48	90b	85-90	39.6						0.2						
	Inic. enf.	50		85		45.2						14.0						
	Acab. enf.	45		85		37.5					0.2							
Naranja	Corto	40	40-45	85	85-90	31.0	8-10 semanas	75	32	22	0.70	4.0	0.91	0.44	125	81	28.0	
	Largo	32	32-34	85b	85-90	22.3						0.3						
	Inic. enf.	40		85		31.0						19.0						
	Acab. enf.	32		85		22.3					0.3							
Durazno	Corto	35	35-40	85a	80-85	25.2	2-4 semanas	85	34	24	0.62	5.1	0.91	0.41	128	90	29.2	
	Largo	32	31-33	85b	80-85	22.3						0.3						
	Inic. enf.	40		85		31.0						23.0f						
	Acab. enf.	32		85		22.3					0.3							
Pera	Corto	35	35-40	90*	85-90	26.8	17 meses	70	34	24	0.80	6.0	0.91	0.49	122	84	27.28	
	Largo	31k	29-31	90b	85-90	22.7						0.3						
	Inic. enf.	40		85		31.0						17.0f						
	Acab. enf.	32		85		22.3					0.3							
Piña	Corto	40	40-45	85	85-90	31.0	2-4 sem	85	40	3	0.67	3.0	0.90	0.50	128	88	29.9	
	Largo mad	40	40-45	85b	85-90	31.0						0.1						
	Verde	50	50-60	90b	85-90	48.0						0.1						
	Inic. enf.	45		85		37.5	24.0f											
	Acab. enf.	38		85		28.8					0.1							
Ciruela (fresca)	Corto	35	35-40	85	80-85	25.2	3-8 semanas	80	34	20	0.67	4.0	0.88	0.48	116	80	28.0	
	Largo	32	31-32	85b	80-85	22.3						0.3						
	Inic. enf.	40		80		29.1						20.0f						
	Acab. enf.	32		80		21.1					0.3							
Membrillo	Corto	35	35-40	85	80-85	25.2	2-3 meses	80	32	24	0.67	4.0	0.90	0.49	122	85	28.0	
	Largo	32	31-32	85b	80-85	22.3						0.3						
	Inic. enf.	40		85		31.0						24.0f						
	Acab. enf.	32		85		22.3					0.3							

TABLA 21 Datos de diseño para almacenamiento de vegetales

Vegetales	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO				Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb 24 hr	CALOR ESPECÍFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min.
		Temperatura		Humedad relativa			Temp. de producto °F	Tiempo en hr	Factor de rapidez		Antes de congelar	Después de congelar				
		°F recomendado	Rango permisible °F	Recomendado %	Rango permisible %											
Espárrago	Corto	40	40-45	90	85-90	32.8				6.0	0.91	0.49	135	94.0	29.8	90
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	32 40 33	32-36	90a 85 85	85-90	23.7 31.0 23.2	30 días	60	34	24	0.90	0.5 13.0f 0.5				60 150 60d
Ejote	Corto	40	40-45	90	85-90	32.8				3.0	0.87	0.47	119	83.0	29.7	90
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	33 40 33	32-40	90a 85 85	85-90	24.6 31.0 23.2	30 días	80	35	20	0.67	0.7 15.0f 0.7				60 150 60d
Frijol	Corto	40	40-45	90	85-90	32.8	15 días c/casc.			3.0	0.78	0.36	99	68.5	28.4	90
	Largo	33	32-40	90a	85-90	24.6	30 días s/casc.			0.6						60
Betabel sin rama	Corto	40	40-45	90	85-90	32.8	1-3 meses			2.0	0.90	0.48	129	90.0	26.9	90
	Largo	32	32-36	95	95-98	25.0				0.3						60
Betabel con rama	Corto	40	40-45	90	85-90	32.8				3.0	0.90	0.48	129	90.0	31.0	90
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	32 40 32	32-36	90a 90 90	85-90	23.7 32.8 23.7	10-14 días	70	34	24	0.80	0.4 17.0f 0.4				60 150 60d
Broccoli	Corto	40	40-45	90	90-95	32.8				4.0	0.90	0.48	135	93.0	29.2	90
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	32 40 33	32-35	90 90 90	90-95	23.7 32.8 24.6	7-10 días	80	34	24	0.80	0.5 14.0f 0.5				60 150 60d
Col de Brúceas	Corto	40	40-45	95	90-95	34.5				5.0	0.91	0.49	136	94.5	31.0	90
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	33 40 33	32-35	95b 90 90	90-95	26.0 32.8 24.6	3-4 semanas	80	34	24	0.80	0.5 14.0f 0.5				90 150 90d
Berza	Corto	35	35-40	95	90-95	28.2				7.0	0.93	0.47	152	91.5	31.2	90
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	32 40 32	28-32	95b 90 90	90-95	25.0 32.8 23.7	3-4 meses	70	34	24	0.80	0.5 17.0f 0.5				60 150 60d
Zanahoria sin rama	Corto	40-45	35-40	90	85-90	32.8	4-5 meses			2.0	0.93	0.45	126	88.0	30.4	90
	Largo	32-36	32-36	95	95-98	25.0				0.3						60
Zanahoria con rama	Corto	40-45	40-90	90	85-90	32.8				4.0	0.86	0.45	126	88.0	31.0	60
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	32-36 34-36 90	34-36	90b 90 90	85-90	23.7 32.8 23.7	10-14 días	70	34	24	0.80	0.5 17.0f 0.5				60 150 60d
Coliflor	Corto	35-40	35-40	90	85-90	26.8				4.0	0.90	0.46	133	92.5	30.1	60
	Largo Inic. enf. Acab. enf.	32-36 31-32 90	31-32	90a 90 90	85-90	23.7 32.8 23.7	2-3 semanas	70	34	24	0.80	0.3 17.0f 0.3				60 150 60d

TABLA 21 Datos de diseño para almacenamiento de vegetales (continuación)

Vegetales	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO				Período máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb 24 hr	CALOR ESPECÍFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min.		
		Temperatura		Humedad relativa			Temp. De producto °F	Tiempo en hr	Factor de rapidez		Antes de congelar	Después de congelar						
		°F	Rango permisible °F	Recomendado %	Rango permisible %												Granos por libra de aire a la condición recomendada	Inicial
Apio p	Corto	35-40	35-40	90	90-95	26.8	2-4 meses				4.0	0.91	0.46	136	94.5	29.7	90	
	Largo	31-32	30-31	95a	90-95	23.7						1.0						60
Elote	Corto	35-40	40-45	90	85-90	26.8	4-8 das	70	34	24	0.80	7.0	0.86	0.38	108	75.5	28.9	90
	Largo	31-32	32-34	90a	85-90	31.0										0.5		
	Isic. enf.			85		22.3						17.0f						150
	Acab. enf.			85								0.5						60d
Calabacita	Corto	50-60	55-60	85	80-85	45.2	10-14 das	70	52	24	1.0	3.0	0.93	0.48	137	95.5	30.5	90
	Largo	45-50	55-60	85	80-85	37.5										0.2		
	Isic. enf.			80		61.7						13.0f						250
	Acab. enf.			80		42.6						0.2						150d
Escarola p	Corto	35-40	45-50	90	90-95	26.8	2-3 semanas					4.0	0.90	0.46	136	89.0	30.9	90
	Largo	32-36	45-48	90a	90-95	26.8							1.0					
Lacuga p	Corto	35	35-40	90	90-95	26.8	2-3 semanas					7.0	0.90	0.46	136	89.0	31.2	90
	Largo	35	32-36	90a	90-95	26.8							1.0					
	Isic. Enf.			85		37.5						3.0	0.91	0.46	115	85.0	29.0	90
	Acab. Enf.			85		26.2	2-4 semanas	80	34	24	0.90	0.2						150
	Isic. Enf.			85		22.3	7-10 das					0.2	0.91	0.47	128	89.0	29.0	90
	Acab. Enf.			85		31.0						14.0f						250
	Acab. Enf.			85		22.3						0.2						150d
Cebolla	Corto	50	50-60	75	70-75	40.0	6-8 meses	70	34	24	0.80	2.0	0.91	0.51	130	89.0	30.1	150
	Largo	32	32-36	75	70-75	19.8										0.2		
	Isic. Enf.			75		27.5						10.0f						250
	Acab. Enf.			75		19.8						0.2						150d
Chirvia	Corto	33.5	35-40	95	90-95	28.2	2-4 meses	70	34	24	0.80	4.0	0.86	0.44	119	83.0	28.9	60
	Largo	32	32-36	95b	90-95	25.0										0.5		
	Isic. Enf.			90		32.8						17.0f						150
	Acab. Enf.			90		23.7						0.5						90d
Chiclero	Corto	35	35-40	90	85-90	26.8	1-2 semanas	80	34	20	0.67	3.0	0.82	0.45	107	80.0	28.9	90
	Largo	32	32-36	90b	85-90	23.7										0.5		
	Isic. Enf.			85		31.0						14.0f						150
	Acab. Enf.			85		23.2						0.5						90d
Patata (alimento)		50r	50-70	85	85-90	45.2						3.0	0.86	0.47	113	78.5	28.9	150
		36m	36-50	85a	85-90	26.4						0.5						150

TABLA 21 Datos de diseño para almacenamiento de vegetales (continuación)

Vegetales	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO				Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb 24 hr	CALOR ESPECÍFICO		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de coagulación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min.
		Temperatura		Humedad relativa			Temp. De producto °F	Tiempo en hr	Factor de rapidez		Antes de congelar	Después de congelar				
		°F recomendado	Rango permisible °F	Racomendado %	Rango permisible %											
		Initial	Final													
Sesuviznat (en pasesales)	Corto	45	45-50	80		35.3				3.0	0.92	0.52	128	89.0	26.0	150
	Largo	30	30-32	80e		19.2				0.2						90
Espinaca	Corto	35	35-40	95a	90-95	28.2				7.0	0.92	0.51	129	90.0	30.3	90
	Largo	32	32-36	95a	90-95	25.0				0.5						60
Camote n	Corto	55	55-60	85		54.5				3.0	0.86	0.42	102	78.0	28.5	150
	Largo	55	55-60	85a		54.5				0.4						90
Tomates (verdes)	Corto	55	55-60	85	85-90	54.5				3.0	0.92	0.46	132	98.0	30.6	150
	Largo	55	55-60	85	85-90	54.5				0.4						60
	madurado	65	65-70	85	85-90	78.2	3-5 semanas	80	52	34	1.0					90
	o	70		85		93.3				14.0f						150
	Inic. Enf.	50		85		45.2				0.4						90d
(maduros)	Acob. Enf.	45	40-50	85a	85-90	37.5	7-10 dias			3.0						90
Nabo	Corto	35	35-40	95		28.2				4.0	0.90	0.45	128	89.5	30.5	90
	Largo	32	32-36	95a		25.0				0.5						60
	Inic. Enf.	40		95		24.5				17.0f						150
	Acob. Enf.	32		95		25.0		70	34	24	0.80					60d
Legumbres (hervidas mezcladas)	Corto	40	40-45	85b	85-90	31.0				5.0	0.90	0.45	130	90.0	30.0	90
	Largo	35	35-40	87b	85-90	26.0				1.2						90
	Inic. Enf.	50		90		48.0				23.0f						150
	Acob. Enf.	35		90		26.8				1.2						90d

TABLA 22 Datos de diseño para almacenamiento de carnes

Carnes	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO				Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb. 24 hr	CALOR ESPECIFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min.					
		Temperatura		Humedad relativa			Trasos por libra de aire a la condición recomendada	Temp. de producto °F			Factor de rapidez	Antes de congelar					Después de congelar				
		°F recomendado	Rango permisible °F	Recomendado %	Rango permisible %			Inicial	Final									Tiempo en hr			
Tocino	Corto	55	50-60	65	55-65	41.7	15 dias				2.5	0.50	0.30	29	20	150					
	Endurecim. Cuar. reban.	28 50	28-30 50-55	75 40	70-80 35-40	16.4 21.3						1.2					90 60				
Res combinación enfriamiento y manto.	Inic. enf.	38		85b		28.8		100	44	24	0.56	18.0f	0.75	0.40	98	72	31.3				
	Acab. enf.	33		85b		23.2						5.0					90d				
Res seca	Largo	55	55-60	65	65-70	41.7	6 meses					0.1	.22-.34	.19-.26	7-22	6-15	150				
Res fresca	Corto	35	35-40	87b	85-90	26.0	3 semanas	100	44	18	0.67	5.0	0.75	0.40	98	72	31.3				
	Largo	30	30-32	87b	85-90	20.8						1.7									60
	Inic. enf.	45		87		38.3						22.0f									150
	Acab. enf.	30		87		20.8						1.7									150d
Carne en salmuera	Corto	40	40-45	85	80-85	31.0	6 meses					1.0	0.75				150				
	Largo	31	31-32	85	80-85	21.3		5 dias					0.8				150				
Carne cort.	Corto	34	34-38	87a	85-90	24.8	5 dias					5.6	0.72	0.40	95	65	29				
Pescado congelado helado	Largo	0	(-5)-0	85e	80-85	4.65	6 meses					0.1	0.76	0.41	101	70	28				
	Corto	34	34-38	85e	80-85	24.3		5.7									90				
	Largo	30	30-32	85a	80-85	20.4		0.4									90				
Jamoncitos cortados frescos y ahumados	Corto	34	34-38	85	85-87	24.6	3 semanas					3.4	0.68	0.38	86.5	52	31.3				
	Largo	28	28-30	85b	85-87	10.5		1.8									60				
	Corto	55	50-60	65	55-65	41.7		1.3					5.0f	0.60	0.32	57	60				
	Inic. Enf. Acab. enf.	60 55		70 70		53.9 44.8		0.3	105	57	8	1.00					150 150 90d				
Cerdo, enfriamiento 18 hr, 14 hr	Inic. Enf. Acab. enf.	45 38 30		85 85 90		37.5 20.4 30.1	105	35	18	0.67	24.0f	0.68	0.38	86.5	60	27	250				
	Inic. Enf. Acab. enf.	30 28		90 90		19.7					1.9 23.0f 1.9								150d 250 150d		
	Corto	34	34-38	90	85-90	25.8					3.4	0.67	0.30	83.5	58	29	60				
	Largo	28	28-30	90b	85-90	19.7					1.3								60		
Visceras	Inic. enf.	40		85		21.6	2 semanas	100	40	5	0.75	19.0f					250				
	Acab. enf.	30		90		21.6						1.3							90d		
	Inic. enf. Acab. enf.	40 32		85 85		31.0 22.3						0.70	21.0f	0.75	0.42	103	72		150 90d		
Ostiones en concha	Corto	35	35-40	90c	85-90	26.8	15 dias					4.2	0.83	0.44	116	80.4	27				
	Largo	32	32-38	90c	85-90	23.7		0.5									90				
	Corto	35	35-40	70	70-75	20.8		2.3	0.90	0.46	125	87	27	150							
	Largo	32	32-38	70	70-75	18.6		0.2								150					
Puerco fresco	Corto	34	34-38	85	85-90	24.3	15 dias					3.4	0.68	0.38	86.5	60	28				

TABLA 22 Datos de diseño para almacenamiento de carnes (continuación)

Carnes	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO					Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO				Calor latente estimado del producto en Btu/lb. 24 hr	CALOR ESPECÍFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb.	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min
		Temperatura		Humedad relativa		Granos por libra de aire a la condición recomendada		Temp. de producto °F		Tiempo en hr	Factor de rapidez		Antes de congelar	Después de congelar				
		°F	Rango permitido °F	Recomendado %	Rango permisible %			Inicial	Final									
Pollo fresco congelado despielmado	Largo	28	28-30	87b	85-90	19.0	10 das					0.4	0.79	0.37	106	74	27	60
	Largo	0	(-5)-0	85	85-90	4.65	10 meses					0.2						150
	Inic. enf. Acab. enf.	45 32		85 85		37.5 22.3		85	40	5	1.00	17.0f 0.4						150 90d
Salchichas (saladas)	Corto	40	40-45	80c	75-80	29.1						0.2	0.60					150
	Largo	31	31-32	80e	75-80	20.1	4 meses					0.2						150
Abumados y "Franka"	Corto	35	35-40	85a	80-90	25.2	48 horas					4.3	0.86	0.56	86	60	29	60
	Inic. Enf. Acab. enf.	42 32		80 80		31.6 21.1		70	35	2	1.00	9.0f						150 60d
	Corto	35	35-40	85a	85-90	25.2	7 das	70	335	2	1.00	4.3 9.0f	0.89	0.56	93	65	26	60 150 60d
Fresca	Inic. Enf. Acab. enf.	42 32		85 85		33.6 22.3						0.0						60
Sala de manufactura		55	55-60	40	35-45	25.5						0.0						60
Abumados de verano	Corto	40	35-40	85	80-90	31.0	6 meses					3.2	0.86	0.56	86	60	25	60
	Secado	50	48-56	70	65-80	37.2						5.0						60
	Largo	32	32-34	70	70-75	18.6	6-8 mes.					2.0						60
Envoltura		45	45-50	85	80-85	37.5						0.0						60
Termera	Corto	34	34-38	87b	85-90	24.8						3.6	0.71	0.39	91	63	29	60
	Largo	28	28-30	87b	85-90	19.0	15 das					1.3						60
	Inic. enf. Acab. enf.	45 30		90 90		39.6 21.6		100	40	6	0.75	21.0f 1.3						90 60d
	Corto	34	34-38	87b	85-90	24.8						3.6	0.71	0.39	91	63	29	60

TABLA 23 Datos de diseño para almacenamiento misceláneo

Miscelánea	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO					Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb 24 hr	CALOR ESPECÍFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min	
		Temperatura		Humedad relativa		Granos por libra de aire a la condición recomendada		Temp. de producto °F				Aster de congelar	Después de congelar					
		°F recomendado	Rango permisible °F	Rango recomendado %	Rango permisible %			Inicial	Final	Tiempo en hr								Factor de rapidez
Cerveza (may)	Berril de mad.	35	35-40	85	80-85	25.2	6 meses					7.0u	1.0		92.0	28	150	
	Berril de metal	35	35-40	70c	65-70	20.8	6 meses					0.4u					150	
Mantequilla	regañón	40	35-45	80c	75-80	29.1	10 dias					2.0	0.64	0.34	15	15.0	30.0	250
	Largo	0	(-5)-0	85	80-85	4.65	6 meses					0.3					150	
Dulce	Largo	65	60-70	55	50-55	50.3	6 meses						0.93				60	
Caviar (en lata)	Corto	40	40-45	85	80-85	31.0						2.0				20	150	
	Largo	34	34-36	85b	80-85	24.3	15 dias					0.3					150	
Queso americano	Corto	40	40-45	80b	75-80	29.1	15 meses					2.3	0.64	0.36	79	55.0	17	90
	Largo	32	30-34	80b	75-80	21.1						0.5					90	
Carne suiza	Corto	40	40-45	85	80-85	31.0	90 dias					2.5	0.70	0.40	86	60.0	18	90
	Largo	40	30-34	85b	80-85	31.0						0.2					90	
Limburgo	Corto	40	40-45	85	80-85	31.0	60 dias					2.5	0.70	0.40	86	60.0	19	90
	Largo	31	30-34	85b	80-85	21.3						0.3					90	
Roquefort	Corto	45	45-50	80	75-80	35.3	60 dias					2.0	0.65	0.32	79	55.0	3	90
	Largo	40	30-34	80b	75-80	29.1						0.2					90	
Suizo	Corto	40	40-45	80	75-80	29.1	60 dias					2.3	0.64	0.36	79	55.0	15	90
	Largo	38	30-34	80b	75-80	27.0						0.2					90	
Chocolates (para cobertura)	Largo	60	60-70	55	50-55	42.1	6 meses					0.1	0.56	0.30	40	0.5	85-95	60
Crema (40%)	Corto	35	35-40	80c	75-80	23.8	4 meses					2.0u	0.85	0.40	90	55.0	28	150d
	Largo	5	(-5)-0	80	80-85	5.68						0.1u					150	
Huevos empacados	Corto	40	40-45	85b	80-85	31.0	12 meses					3.6	0.85	0.45	100	74.2	31.6	90
	Largo	30	30-31	85b	85-87	20.4						0.2					60	
	Inic. Enf.	40		85b		31.0		45	30	10	0.85	7.0f					90	
	Acab. Enf.	30		85b		20.4						0.2					60d	
Huevos cong. (latas de 5 Kg.)	Largo	5	(-5)-0	60		4.26	18 meses					0.06u		0.45	100		250	
	Inic. Enf.	0		85c		4.65		40	5	24	0.67	9.0f					250	
	Acab. Enf.	0		85c		4.65						0.06					250	
Panes y tartas	Fumigado solamente	35	35-40	65	60-65	19.3	6 meses					0.1	0.40				150	
	refrigerado	15	15-18	70	65-70	8.2	6 meses					0.1					150	
Harina	Largo	78	78-82	60	60-65	86.0	6 meses						0.38	0.28	13.5		60	
Flores de cañe General		40c	33-40	85	85-90	31.0	3-14 dias						0.92			27-31	60	
Orquídeas		45	45-50	85	85-90	37.5	1 semana					120BTU				28-31	60	
Cardenas												Por pie <sup>2</sup> de piso						

TABLA 23 Datos de diseño para almacenamiento misceláneo (continuación)

Misceláneos	Tipo de almacenamiento	CONDICIONES DE DISEÑO DEL CUARTO					Periodo máximo de almacenamiento	DATOS DE ENFRIAMIENTO			Calor latente estimado del producto en Btu/lb 24 hr	CALOR ESPECIFICO Btu/lb. °F		Calor latente de fusión Btu/lb	Contenido de agua %	Punto de congelación °F	Movimiento máximo de aire en el cuarto pie/min.	
		Temperatura		Humedad relativa		Granos por libra de aire a la condición recomendada		Temp. de producto °F		Tiempo en hr		Factor de rapidez	Antes de congelar					Después de congelar
		°F recomendado	Rango permisible °F	Recomendado %	Rango permisible %			Inicial	Final									
Pielés, curado, almacenamiento		55	50-55	85	80-85	54.5					0.2	0.40				150		
	Largo	36	32-40	75	70-75	23.1	5 años				0.1	0.40				150		
Hielo, latas de 15 lt.	Endurecido.																	
	Iniciación	0		85c		4.65		22	-10	8	0.75	1.1Fu	0.77	37	60.0	28.5-0	250	
	Acabado	-20		85c		1.55						0.1u				250		
	Iniciación	0		85c		4.65		26	-10	8	0.75	1.3Fu		62		250		
Manteca	Acabado	-20		85c		1.55						0.1u				250		
	Acabado	-20		85c		1.55						0.1u				250		
Manteca	Corto	45	45-50	80c	75-80	35.3						2.0	0.60	90		70	150	
	Largo	32	32-34	80c	*80 75-80	21.1	6 meses					0.3				150		
Azúcar de maple	Corto	45	45-50	70c	65-70	29.9						0.7	0.24	0.21	7	5	250	
	Largo	31	31-32	70c	65-70	17.7	5 meses					0.1				250		
Azúcar de maple	Corto	45	45-50	70c	65-70	29.9						0.7	0.49	0.31	52	36.0	250	
	Largo	31	31-32	70c	65-70	17.7	5 meses					0.1				250		
Leche embotellada y helada	Corto	35	35-40	70c	65-75	20.8	5 días					2.0				250		
	Inic. Enf.	40		80c		29.1		45	35	10	0.85	8.0F	0.90	0.49	124	7.5	31	250
	Acab. Enf.	34		80c		23.0						0.1				250		
Nueces en cáscara	Corto	40	40-45	70c	65-75	25.3	8-12 meses					0.50	0.25	0.22	3-10	2-8	150	
	Largo	32	32-40	70c	65-75	18.6						0.08				150		
Nueces peladas	Corto	40	40-45	70	65-75	25.3	6-10 meses					0.50	0.30	0.24	4-14	3-10	150	
	Largo	32	32-40	70	65-75	18.6						0.08				150		
Oleo	Corto	45	45-50	80c	75-80	35.3	90 días					2.0	0.48			150		
	Largo	34	34-36	80c	75-80	23.0						0.3				150		
Suero de vaca	Largo	43	40-45	70	65-70	28.5	4 meses					0.0				150		
Arbustos	Largo	28	24-29	70	60-80	15.4	6-8 meses					0.60	0.35		50.0			

TABALA 24-a Calor de respiración de frutas

Artículo	Temperatura °F	Btu/hr/lb
Manzana	32	.018
	40	.030
	60	.120
Chabacano	32	.023
	40	.036
	60	.170
Plátanos almacenamiento	54	.069
	68	.190
	70-56	.500
Baya	36	.115
	60	.345
Cereza	32	.032
	60	.250
Arándano	32	.014
	40	.019
	50	.036
Dátiles frescos	32	.014
	40	.019
	50	.036
Toronja	32	.0096
	40	.022
	60	.058
Uva	32	.0075
	40	.014
	60	.050
Limón	32	.012
	40	.017
	60	.062
Lima	32	.012
	40	.017
	60	.062
Naranja	32	.017
	40	.029
	60	.104
Durazno	32	.023
	40	.036
	60	.170
Pera	32	.016
	60	.230

Artículo	Temperatura °F	Btu/hr/lb
Ciruela	32	.032
	60	.250
Membrillo	32	.018
	40	.030
	60	.120
Fresa	32	.068
	40	.120
	60	.360

**TABLA 25 ABSORBENCIA Y TRANSMISIBILIDAD DE ALGUNOS TIPOS DE CRISTALES**

TIPO DE CRISTAL	ABSORBENCIA	REFLEXIBILIDAD	TRANSMISIBILIDAD
Vidrio ordinario	.06	.06	.86
Placa regular 1/4"	.15	.08	.77
Vidrio que absorbe calor		.05	(1-0.5)
Calor claro	.37	.51	.12
Persiana veneciana color medio	.58	.39	.03
Persiana veneciana color obscuro	.72	.27	.01

**TABLA 26 FACTORES DE TRANSMISION DE CALOR PARA VIDRIOS \***

Tipo de vidrio	Valor U*		
	Verano		invierno
	Sin sombra	Con sombra**	
Vidrio sencillo	1.06	0.81	1.13
Vidrio doble (1/4" con espacio de aire)	0.61	0.52	0.65
Ventana corriente + ventana para tormentas	0.54	0.47	0.56

\* $BTU \cdot [(h) (pie^2) (\text{°F dif. de temp.})]^{-1}$

\*\*Estos valores son válidos para ventanas con persianas venecianas bien cerradas, cortinas con forro o cortinas de enrollar.

**TABLA 27 RENOVACIONES DE AIRE EN UN INVERNADERO**

Sistema de construcción	Renovaciones horarias (viento en calma)
1. Construcción nueva, vidrio o placa poliéster	0.75 a 1.50
2. Construcción nueva, doble lámina de polietileno	0.50 a 1.00
3. Construcción vieja, vidrio, mantenimiento bueno	1.00 a 2.00
4. Construcción vieja, vidrio mantenimiento malo	2.00 a 4.00

## BIBLIOGRAFÍA

1. Air Conditioning and Refrigeration Institute (1981). Refrigeración y Aire Acondicionado. Ed. Prentice/Hall International. 874 pag.
2. Baudilio Juscafresa (1979). Cultivo del Rosal (3ª Edición). Ed. Aedos Barcelona. 233 pag.
3. Burgess A. Jennings and Samuel R. Lewis (1970). Aire Acondicionado y Refrigeración. Ed. C.E.C.S.A. 800 pag.
4. Carrier Air Conditioning Company (1978). Manual de Aire Acondicionado. Boixareu Editores. Marcombo, S.A. 1 Volumen.
5. Dirección General de Parques, Reservas y Areas Ecológicas. Invernaderos una Alternativa Prometedora para las Zonas Áridas de México. Ed. SEDUE. 70 pag.
6. Eduardo Hernández Goribar (1973). Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración. Ed. LIMUSA. 470 pag.
7. Ernest Tricomi (1996). ABC del Aire Acondicionado. Ed. Alfaomega. 126 pag.
8. Instructivos Técnicos de Apoyo para la Formulación de Proyectos de Financiamiento y Asistencia Técnica (1985). Serie de Agricultura - Horticultura Ornamental. Ed. FIRA. México.
9. Julio R. Tiscornio y A. M. Tiscornio (1963). Cultivo de Flores y Plantas de Adorno. Ed. Hachette S.A. 298 pag.
10. Mantallana González Antonio (1980). Los Invernaderos y la Crisis Energética. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 132 pag.

**11. Roy J. Dossat (1980). Principios de Refrigeración. Ed. C.E.C.S.A. 594 pag.**

**12. F. Stoecker (1965). Refrigeración y Acondicionamiento de Aire. Ed. Mc. Graw Hill.**

**406 pag.**