AHORRO DE ENERGIA EN EDIFICIOS

M06

EFICIENCIA ENERGETICA EN LA INDUSTRIA REGIONAL

1a EDICION

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION
Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL

- ICAITI -

AHORRO DE ENERGIA EN EDIFICIOS

Los Capítulos Nos. 1, 2 4 y 5 de este manual fueron traducidos de los Capítulos 5, 6, 7 y 9 con autorización del autor del libro "Handbook of Energy Audits", Segunda Edición, 1983, de Albert Thumann, P.E., C.E.M. Se prohibe la reproducción parcial o total de los mismos.

PROYECTO DE EFICIENCIA ENERGETICA
EN LA INDUSTRIA REGIONAL

- PEEIR -

1986

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	
AUDITORIA DEL SISTEMA DE ENERGÍA DEL EDIFICIO	3
1.1 Dinámica del edificio	3
1.2 Características del edificio	6
1.3 Infiltración	6
1.3.1 Reduciendo la infiltración	22
1.3.2 Flujo de calor debido a conducción	25
1.3.3 Flujo de calor debido a la radiación	27
1.4 Auditoría de energía en los techos	28
1.4.1 Servicios de computación	38
1.5 La Auditoría de vidrio	42
1.5.1 Consideraciones sobre conducción	42
1.5.2 Consideraciones sobre radiación solar	42
1.5.3 Tratamiento de ventanas	52
1.6 Diseño de edificios solar-pasivos	68
1.7 Reduciendo el aire estratificado	71

CAPITULO 2

AUDITORIA DE CALEFACCIÓN, VENTILACION Y AIRE ACONDICIONADO 73

2.1 Auditoría de sistemas de ventilación 75

2.2 Auditoría en los sistemas de temperatura 84

2.3 Auditoría en los sistemas de humidificación 95

2.4 Análisis por medio de computadora 100

2.5 Recuperación de calor 102

2.6 Calor recuperado en los sistemas de iluminación 104

2.7 Ciclo economizador 106

2.8 Consideraciones de prueba y equilibrio 109

CAPITULO 3

AUDITORIA EN SISTEMAS DE VAPOR 131

3.1 Sistemas de combustión 132

3.1.1 Mejorar la eficiencia de combustión mediante un ajuste de la relación aire/combustible 136

3.1.2 Mejorar la eficiencia de combustión mediante calentamiento de aire 143

3.1.3 Cambiar combustibles 146

3.2 Aislamiento 150

3.2.1 Aislamiento en tubería caliente 152

3.3 Sistemas de vapor 163

3.3.1 Reducir la cantidad de purga 167
3.3.2 Eliminar fugas de vapor 172
3.3.3 Reparar trampas de vapor 176
3.3.4 Retornar condensado a la caldera 180
3.3.5 Bajar presión de operación del sistema de vapor 183
3.3.6 Bajar presión de operación en el equipo consumidor de vapor 193

3.4 Sistema de calentamiento de agua 197

3.4.1 Reducción de la temperatura del agua de calentamiento 200
3.4.2 Reducción de la cantidad de agua caliente 206

CAPITULO 4

AUDITORIA DEL SISTEMA DE ENERGÍA ELECTRICA 209

4.1 Tarifa eléctrica 209

4.2 Auditoría del sistema de alumbrado 213

4.2.1 Método Lúmen 213
4.2.2 Uso eficiente de lámparas incandescentes 216
4.2.3 Iluminación fluorescente 221

4.2.4 Iluminación exterior "HID" 222
4.2.5 Otros criterios de eficiencia 224
4.2.6 Dispositivos sincronizadores, fotoceldas, y reductores de luz 226

4.3 Auditoría de distribución del sistema eléctrico 229

4.3.1 Mejoramiento del factor de potencia 231
4.3.2 Caída del voltaje o tensión 235
4.3.3 Reduciendo la demanda pico máxima 235

CAPITULO 5

AUDITORIAS DE MANTENIMIENTO 243

5.1 Asignaciones de trabajo 243

5.2 Procedimientos de mantenimiento preventivo 245

5.3 Repuestos 255

5.4 Mantenimiento de equipo 259

APENDICES

Condiciones climáticas en Centroamérica y Panamá 289

Nueva carta de "Confort" de ASHRAE para aire acondicionado 291

Información del edificio 292

Entalpía y densidad del agua 307

Propiedades físicas del aire 308

Análisis típico de aceites combustibles 309

Propiedad del vapor y agua saturado (Temperatura) 310

Propiedades del vapor y agua saturado (Presión) 311

Propiedades del vapor sobrecalentado y agua comprimida (Temperatura y presión) 312

Tasas típicas de consumo de vapor 314

Calores específicos 317

Factores de conversión de unidades al sistema SI 320

BIBLIOGRAFIA 321

INTRODUCCION

La importancia del sector residencial, comercial y público, en el consumo de energía de los países de Centroamérica y Panamá queda resaltado en las cifras del balance energético global de más reciente elaboración. De acuerdo a los valores computados para el año 1984, el consumo anual de energía en los seis países de la región se podría aproximar a 500 000 Terajoule (equivalente a 86 millones de barriles de petróleo) correspondiendo a los sectores mencionados alrededor de un 60% de ese consumo total (52 millones de barriles de petróleo)

El consumo percápita asignado a la actividad de este sector (al cual podría muy bien designarse "Edificios no Industriales") se estima en 2.4 barriles de petróleo por habitante/año y, a una tasa anual de crecimiento del 2% (1), podría evolucionar a un consumo anual equivalente a 68 millones de barriles de petróleo hacia finales del presente siglo, lo cual se equipara al doble de lo que actualmente consumen los sectores de transporte, industria y agricultura conjuntamente. (2)

Las cifras indicadas, de carácter prospectivo, pueden no realizarse nunca, lógicamente. "Tendencia no es destino", afirman quienes adversan las curvas de extrapolación en que se basan la mayoría de pronósticos energéticos. En tal sentido, algunos sectores consumidores (especialmente el Industrial) han iniciado en Centroamérica programas de ahorro tendientes a preservar nuestros recursos energéticos y modificar el rumbo previsto de nuestros patrones de consumo.

---

(1) Tasa de crecimiento del consumo total de energía observada durante la década 1972-1982 de acuerdo a CEPAL sobre la base de los balances energéticos de cada país.

(2) El consumo indicado incluye fuentes de energía primaria (carbón y leña). La representación en términos de barriles de petróleo es únicamente ilustrativa.

De particular relevancia, dentro de las acciones iniciadas, se incluye el recurso de la conservación energética (orientado a la disminución del gasto inútil de las fuentes de energía de mayor calidad). Esta ha sido considerada en el pasado como una actividad de carácter marginal. Hoy en día y en el futuro inmediato nuestra más promisoria fuente de energía es la energía que logremos ahorrar.

En lugar de consumir cada vez mayor cantidad de energía el fin general debiera ser, consumir la mínima cantidad de energía con el más alto grado de rendimiento, en cada labor cotidiana y a todo nivel de consumo. El esfuerzo retardado de uno u otro sector específico podría postergar la consecución de ese importante objetivo a nivel regional.

No es posible enumerar en un manual como este, la infinidad de posibilidades que existen para ahorrar energía en los sistemas actuales de vida. Pero se puede advertir que estas opciones no exigen privarse de ciertos satisfactores mínimos o restringir la calidad en las condiciones de vivir. La mitad de lo que actualmente gastamos en iluminación es supérfluo y la mayoría de lámparas "indispensables" funcionan de modo ineficiente. Es sabido que las lámparas incandescentes convierten sólo un 10% de la energía eléctrica en luz mientras que las fluorescentes un poco más del 20%. No obstante de acuerdo a un comité científico sobre conservación energética patrocinado por la OTAN "No hay una razón teórica fundamental por la que no pueda obtenerse un rendimiento del 100% en la conversión de electricidad a luz".

Los mayores ahorros energéticos en un edificio se pueden realizar mejorando las operaciones diarias. De esta forma es posible ahorrar entre 20 y 30% de la energía operacional en la mayoría de los edificios existentes. Cifras más altas exigen la adopción de nuevas tecnologías (como acondicionadores de aire de alto rendimiento) o el rediseño de sistemas operantes (aislamiento óptimo).

De acuerdo a las predicciones en el año 2 000 las casas estarán rotando a una velocidad tal que podría aprovecharse a un máximo la energía solar durante el día. Como esto se prevéen múltiples "nuevos usos del viejo sol". Espectantes de ese estadío del desarrollo tecnológico podemos iniciar ahora el fortalecimiento de nuevos hábitos de vida en la búsqueda de una sociedad moderna más eficiente. Lo que alguien ha denominado "El rediseño en un planeta limitado".

CAPITULO 1

AUDITORIA DEL SISTEMA DE ENERGIA DEL EDIFICIO

La auditoría del Sistema de Energía del Edificio (BSEA) (1) exige que se recolecte la siguiente información:

1. Características del edificio
   a. Características de las ventanas
   b. Aberturas y filtraciones

2. Estado del aislamiento

1.1 DINAMICA DEL EDIFICIO

El edificio experimenta ganancias y pérdidas de calor dependiendo del sistema de enfriamiento o calefacción que se encuentre presente, tal como se ilustra en las Gráficas 1-1 y 1-2. Unicamente cuando la estación total se considera junto con la iluminación y la calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) (2) es que podrá decidirse sobre la elección de la energía.

Muchas de las auditorías discutidas en este capítulo aplican el principio de reducción de la carga o ganancia de calor del edificio. Así, podría disminuir la carga interior de HVAC. Deberá tomarse la precaución de que sin un análisis detallado de ingeniería o una simulación computarizada, una sobre simplificación podría llevar a una conclusión equivocada. La información meteorológica para su localidad y el efecto del sistema total no deben pasarse por alto.

---

(1) Building System Energy Audit (BSEA)

(2) Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC)

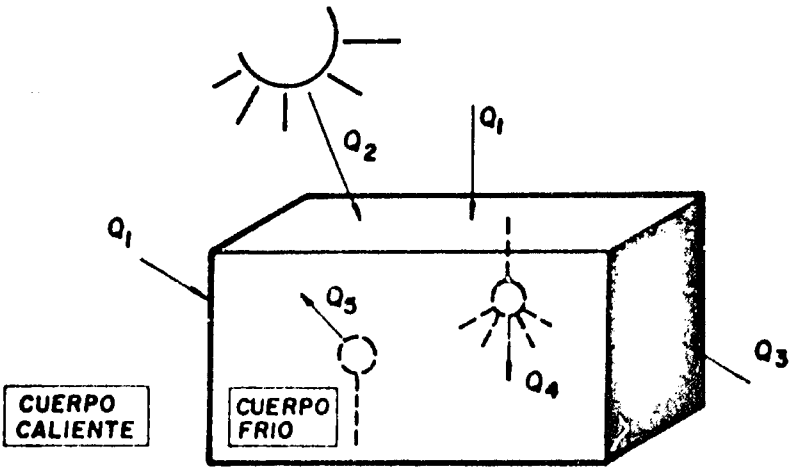


Figura I-1 Ganancias de calor de un edificio

Ganancia de calor = $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$

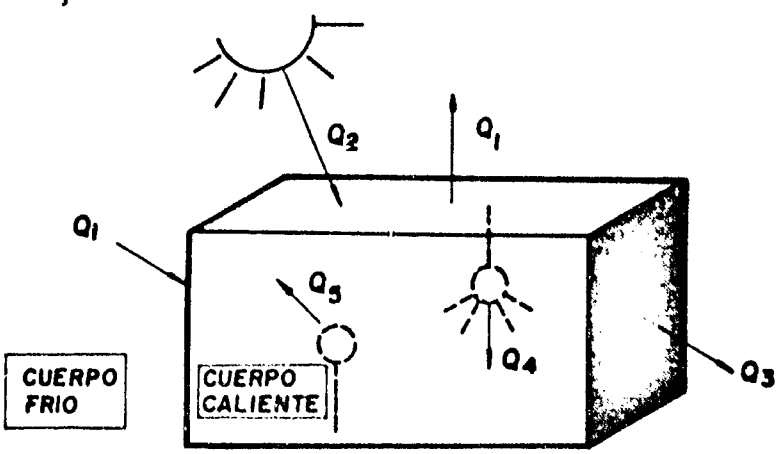
Q_1 = Transferencia de calor debida a la conducción de calor de un cuerpo caliente al cuerpo frío a través de paredes, piso y techo (físico).

Q_2 = Transferencia de calor debido a la energía de la radiación solar

Q_3 = Infiltración de calor a través de abertura en el edificio

Q_4 = Calor producido por equipo, lámparas, etc.

Q_5 = Calor producido por las personas



Pérdida de calor = $Q_1 + Q_3 - Q_2 - Q_4 - Q_5$

Figura I-2 Pérdida de calor de un edificio

CASO 1-1

Comentar acerca del efecto producido en el equilibrio general de calor agregando tragaluces al techo.

ANALISIS

El efecto de agregar tragaluces influenciará en el balance, o equilibrio general de la energía en varias formas:

1. La iluminación obtenida a través de los tragaluces hará que disminuya la necesidad de sistemas de iluminación. Por ejemplo, un edificio con un 6 por ciento de cobertura con tragaluces puede recibir una iluminación tan amplia que hará que los sistemas de iluminación estén apagados durante la mayoría de las horas del día.

2. El factor ganancia de calor solar se incrementa y si el edificio tiene aire acondicionado, se requieren más toneladas de refrigeración y más energía.

3. La ganancia excesiva de calor solar durante los meses de invierno puede disminuir las cargas de calefacción.

1.2 CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO

En la auditoría se deberá registrar para cada espacio el tamaño, las características físicas, horas de operación y función. Los diversos materiales de construcción, las ventanas, puertas, agujeros, porcentajes de vidrio, etc., también deberán ser registrados.

1.3 INFILTRACION

La fuga o infiltración de aire dentro de un edificio es similar al efecto causado por una ventilación adicional. Al contrario de la ventilación, no puede ser controlado ni apagado en la noche. Es el resultado de grietas, de aberturas de acceso. Las filtraciones son también introducidas en el edificio para reemplazar el aire de salida a menos que el HVAC lo equilibre. La velocidad del viento aumenta la infiltración y los efectos de chimenea son problemas potenciales.

Una fórmula que relaciona el flujo de calor con las tasas de ventilación o infiltración es la Fórmula 1-1.

$$Q = 1.08 \times CFM \times \Delta T \qquad \text{Fórmula 1-1}$$

Donde:

Q = Calor removido, Btu/h

CFM = Tasa de ventilación o infiltración, pies cúbicos por minuto.

ΔT = Elevación de calor permisible.

Nota: CFM = Siglas en inglés correspondientes a pies cúbicos por minuto.

Las pérdidas y ganancias de calor en las aberturas pueden significar un importante desperdicio energético. Todas las aberturas deberán ser anotadas en la auditoría. La Gráfica 1-3 ilustra la pérdida anual promedio de calor como una función del área de la puerta y el tiempo que está abierta. La gráfica se basa en la estación en que debe usarse calefacción durante seis meses (de mediados de octubre a mediados de abril), y una velocidad promedio del viento de 4 MPH. Se supone que el edificio calentado se mantiene a 65°F. Para poder ajustar la Gráfica 1-3 a diferentes condiciones, úsese la Fórmula (1-2).

$$Q = Q_1 \times \frac{d}{5} \times \frac{65 - T}{13} \qquad \text{Fórmula (1-2)}$$

Donde:

Q = Pérdida de calor ajustada, Btu/año

Q_1 = Pérdida de calor de la Gráfica 1-3

d = Días de operación

T = Temperatura ambiente promedio durante la temporada de calefacción, °F

Si el espacio tuviera aire acondicionado, habría un ahorro adicional durante la temporada de enfriamiento.

Para reducir la pérdida de calor en puertas de servicio, en algunas ocasiones se instalan fajas de vinilo. Esta clase de faja tiene aproximadamente una eficiencia de 90 por ciento en reducir la pérdida de calor. El problema al usar esta faja es el lograr la aceptación por parte del operador. Las operadores pueden sentir que estas fajas interfieren con las operaciones u ocasionan un problema de seguridad, principalmente debido a que la visibilidad a través de la vía de acceso queda reducida.

Un método alterno para reducir las pérdidas por infiltración a través de las puertas de acceso es instalar una cortina de aire.

CASO 1-2

Una auditoría de energía en un edificio indicó que la bodega se mantiene a 65°F durante el invierno y tiene tres puertas de horquilla elevadora de 10 pies x 10 pies. La bodega se usa 24 horas, 6 días a la semana, y las puertas se mantienen abiertas 8 horas diarias. La temperatura ambiente promedio durante la estación de calefacción es de 48° F. Comentar sobre la conveniencia de agregar fajas de vinilo (instaladas a un costo de $ 2 000) las cuales tienen una efectividad del 90 por ciento, dado que el costo del combustible para la calefacción es de $4/millón de Btu.

ANALISIS

De la gráfica (1-3), $Q = 600 \times 10^{12}$ Btu/año

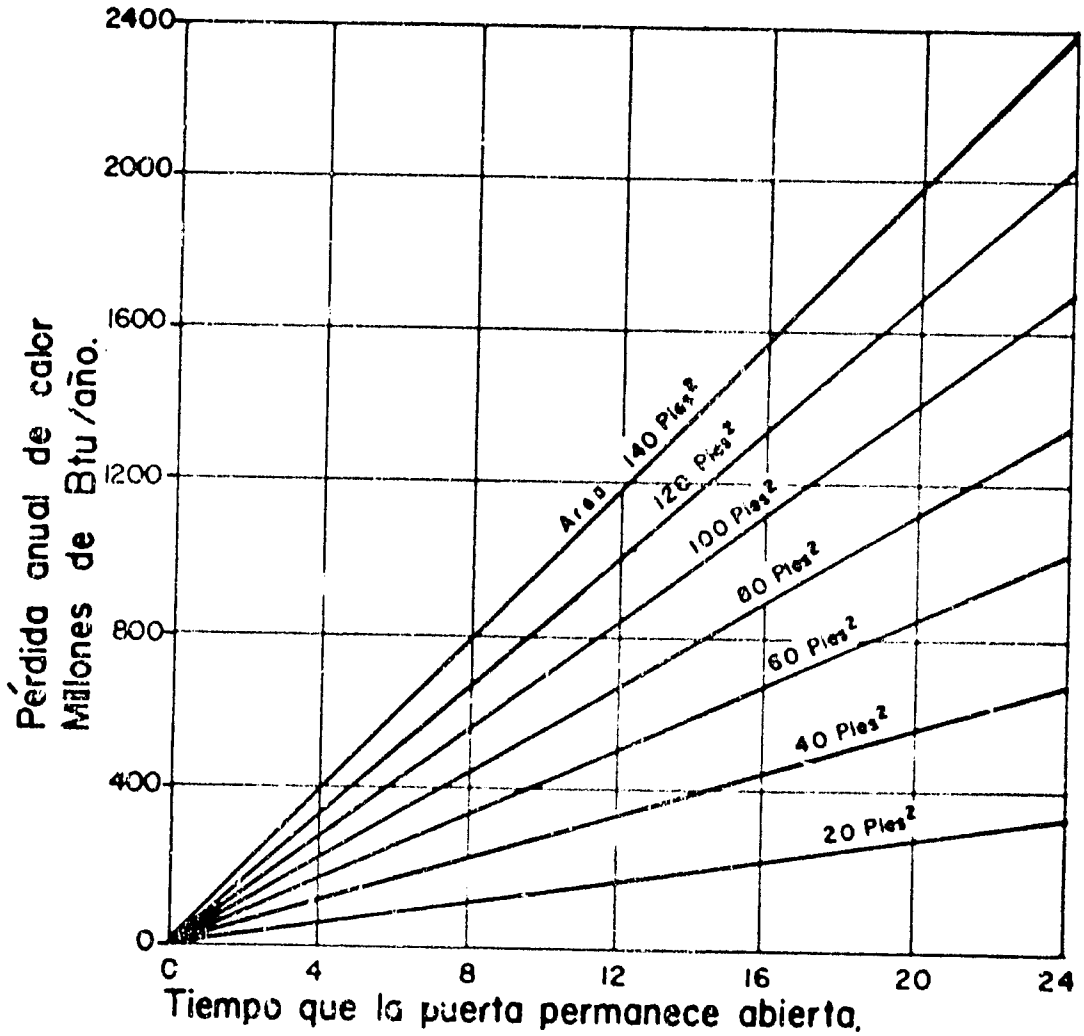
Por tanto $Q = 600 \times 10^{6} \times \frac{6}{5} \times \frac{65 - 48}{13} = 941$ millones Btu/año

$Q = 3 \times 0.90 \times 941 \times \$4/\text{millón Btu} \times 0.65$

$= \$15\ 635$

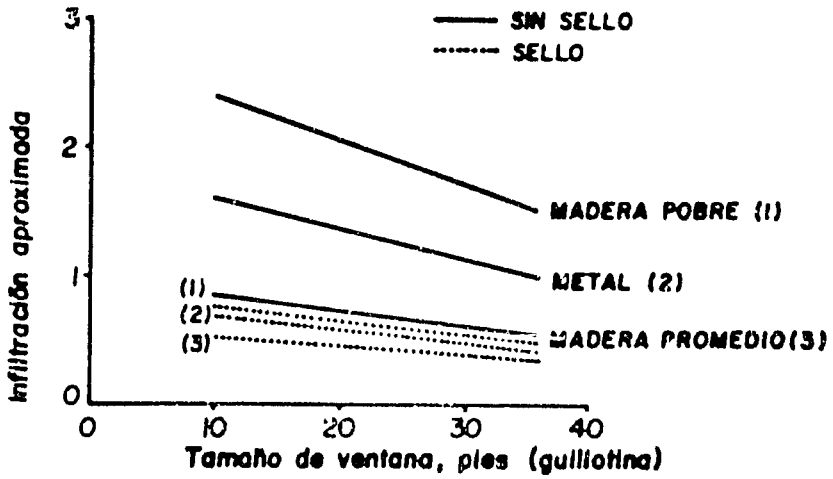
Considerando que el período de reembolso antes de impuestos es menos de un año, la inversión parece justificada.

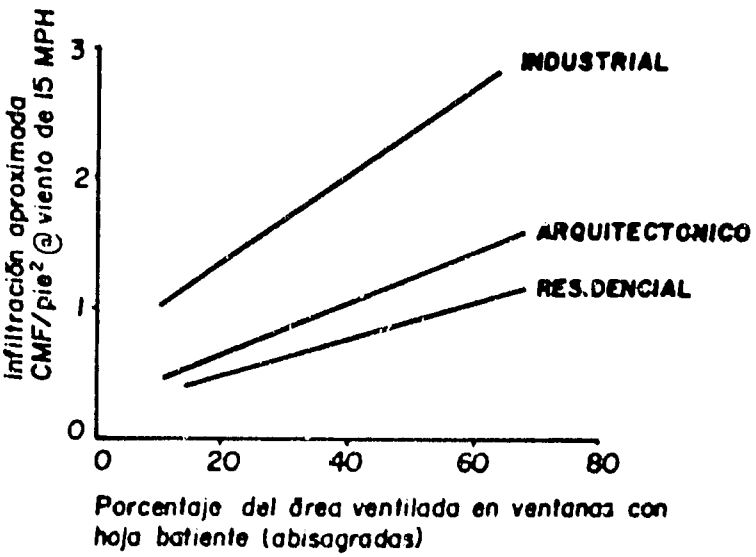
Para estimar la infiltración a través de las ventanas, pueden ser utilizadas la Tabla 1-1 y la Gráfica 1-4. Estos datos constituyen también otra herramienta muy apreciada para determinar la infiltración a través de las puertas.



Gráfica I-3 Pérdida anual de calor en puertas.

(Fuente: Estación experimental de Georgia Tech)





Gráfica I-4 Infiltración a través de ventanas y puertas-invierno

TABLA 1-1

INFILTRACION A TRAVES DE PUERTAS Y VENTANAS

INVIERNO *

VELOCIDAD DEL VIENTO 15 MHP +

VENTANAS DE GUILLOTINA EN EL LADO DONDE SOPLA EL VIENTO ++

CFM POR PIE^2

DESCRIPCION	Pequeña - 30" x 72"			Grande - 54" x 96"		
	Sin sello	Con sello	Contra vidriera	Sin sello	Con sello	Contra vidriera
Marco de madera común	0.85	0.52	0.42	0.53	0.33	0.26
Marco de madera mal ajustado	2.4	0.74	1.2	1.52	0.47	0.74
Marco de metal	1.60	0.69	0.80	1.01	0.44	0.50

VENTANAS TIPO BASTIDOR
EN EL LADO DONDE SOPLA EL VIENTO
CFM por pie^2

Porcentaje del Area ventilada

DESCRIPCION	0%	25%	33%	40%	45%	50%	60%	66%	75%	100%
Marco de acero -Perfil laminado-										
Pivote Industrial	0.65	1.44	-	1.98	-	-	-	2.90	-	5.20
Proyección Arquitectónica	-	0.78	-	-	-	1.10	1.48	-	-	-
Residencial	-	-	0.56	-	-	0.98	-	-	-	1.26
Proyección Pesada	-	-	-	-	0.45	-	-	0.63	0.78	-
Metal hundido										
Pivote vertical	0.54	1.19	-	1.64	-	-	-	2.40	-	4.30

PUERTAS

EL VIENTO SOPLA EN DIRECCION PERPENDICULAR O ADYACENTE

CFM por pie^2

DESCRIPCION	Uso poco frecuente	Uso Promedio			
		Edificio de 1 ó 2 pisos	Edificio alto (pies)		
			50	100	200
Puerta giratoria	1.6	10.5	12.6	14.2	17.3
Puerta de vidrios (3/16" hendidura)	9.0	30.0	36.0	40.5	49.5
Puerta de madera 3'7"	2.0	13.0	15.5	17.5	21.5
Puerta pequeña de fábrica	1.5	13.0			
Puerta de garage y de sala de embarques	4.0	9.0			
Puerta de rampa de garage	4.0	13.5			

. Todos los valores se basan en el viento que sopla directamente hacia la ventana o puerta. Cuando la dirección prevaleciente del viento es oblicua a la ventana o puerta, multiplíquese los valores arriba indicados por 0.60 y úsese el área total de la ventana y la puerta en el lado donde sopla el viento.

+ Basado en una velocidad del viento de 15 MHP. Para diseños con velocidades del viento diferentes a la base, multiplíquese los valores de la tabla por la razón de las velocidades.

++ El efecto de chimenea en los edificios altos puede también ocasionar infiltración en el lado de sotavento. Para evaluarlo, determínese la velocidad equivalente (V_e) y réstese la velocidad de diseño (V). La velocidad equivalente es:

$$Ve = \sqrt{V2 - 1.75\ a} \quad \text{(sección superior)}$$

$$Ve = \sqrt{V2 - 1.75\ b} \quad \text{(sección inferior)}$$

Donde a y b son las distancias superior e inferior de la altura media del edificio, respectivamente, en pies.

Multiplíquese los valores de la tabla por la razón (Ve - V)/15 para puertas y la mitad de las ventanas en el lado de sotavento del edificio. (Úsese los valores de la columna "Edificios de 1 ó 2 Pisos" para las puertas ubicadas en el lado de sotavento de edificios altos.)

** Para puertas en los lados opuestos, increméntese los valores anteriores en 25%. Los vestíbulos pueden

disminuir la infiltración hasta en un 30% cuando la puerta se usa poco. Si el uso de la puerta es frecuente, la infiltración en el vestíbulo se podrá reducir muy poco. Poniendo calefacción en el vestíbulo ayudará a mantener la temperatura cerca de la puerta parecida a la del espacio exterior.

Para calcular la energía ahorrada en base a la reducción de las tasas de infiltración, para las estaciones de calefacción y enfriamiento, respectivamente, se usan las Gráficas 1-5 y 1-6.

CASO 1-3

Una evaluación de una auditoría energética en un edificio, indicó 300 ventanas, muy pobremente acondicionadas en marcos de madera sin estar selladas. Coméntese acerca del ahorro que se obtendría al colocar sellos considerando lo siguiente:

Información:

Tamaño de la ventana	= 54" x 96"
Días-grado	= 8 000
Costo de la calefacción	= $4/10^6$ Btu
La mitad de las ventanas reciben la fuerza del viento en un momento cualquiera	
Horas de ocupación	= 5 760
Horas grado de bulbo húmedo	= 2 000 mayores a 66 °F
Velocidad del viento en el verano	= 10 MHP
Consumo por refrigeración	= 0.80 kW/Ton-h
Costo de electricidad	= $0.05/kWh
Horas de operación	= 72
Temperatura interior en el invierno	= 68 °F
HR verano	= 50%
Eficiencia de la Caldera	= 65%

ANALISIS

Area de ventanas $= \frac{54 \times 96}{144} = 36$ pies^2 por ventana

Coeficiente de la Tabla 1-1

Sin sello = 1.52

Con sello = 0.47

Infiltración sin sellos = 36 x 300/2 x 1.52 = 8 208 CFM

Infiltración con sellos = 36 x 300/2 x 0.47 = 2 538 CFM

Ahorro instalando los sellos = (8 208 - 2 538) CFM
= 5 760 CFM

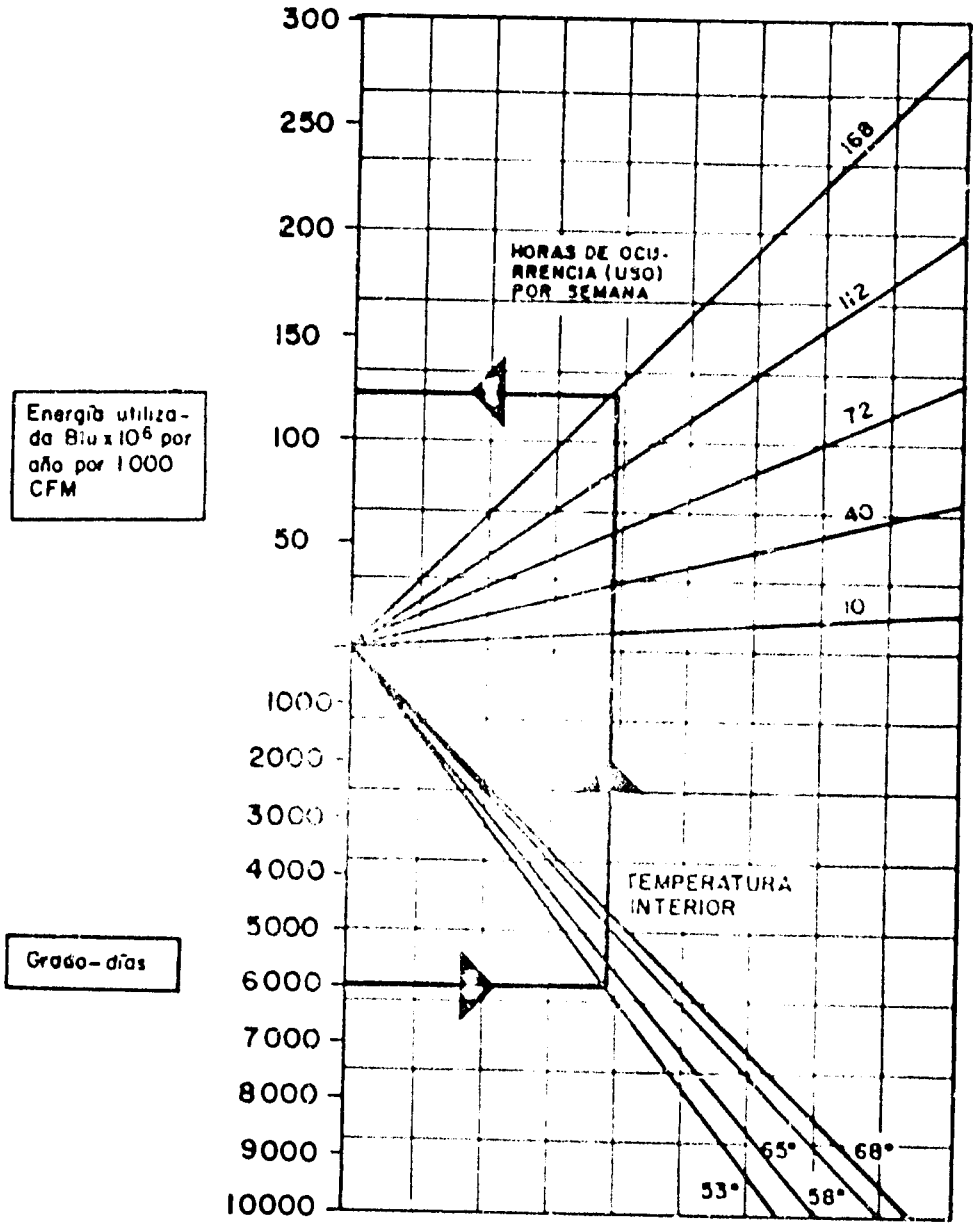
De la Gráfica 1-5, Q = 100 x 10^6/Btu/año/1000 CFM

Ahorro durante el invierno = 5.67 x 100 x 10^6 x \$4/10^6/0.65
= \$3 489

De la Gráfica 1-6 Q = 10 x 10^6/12 Btu/año/1000 CFM

Ahorro durante el verano (a una velocidad del viento de 10 MPH) = 5.67 x 10 x 10^6/12 000 x 0.80 x 0.05 x 10/15
= \$125.00

Ahorro total = \$3 614/año



Gráfica I-5 *Energía anual utilizada por 1000 CFM de aire exterior*

(Fuente: lineamientos para el ahorro de Energía en edificios ya construidos - Manual de Dueños y Operadores de Edificios, ECM-1)

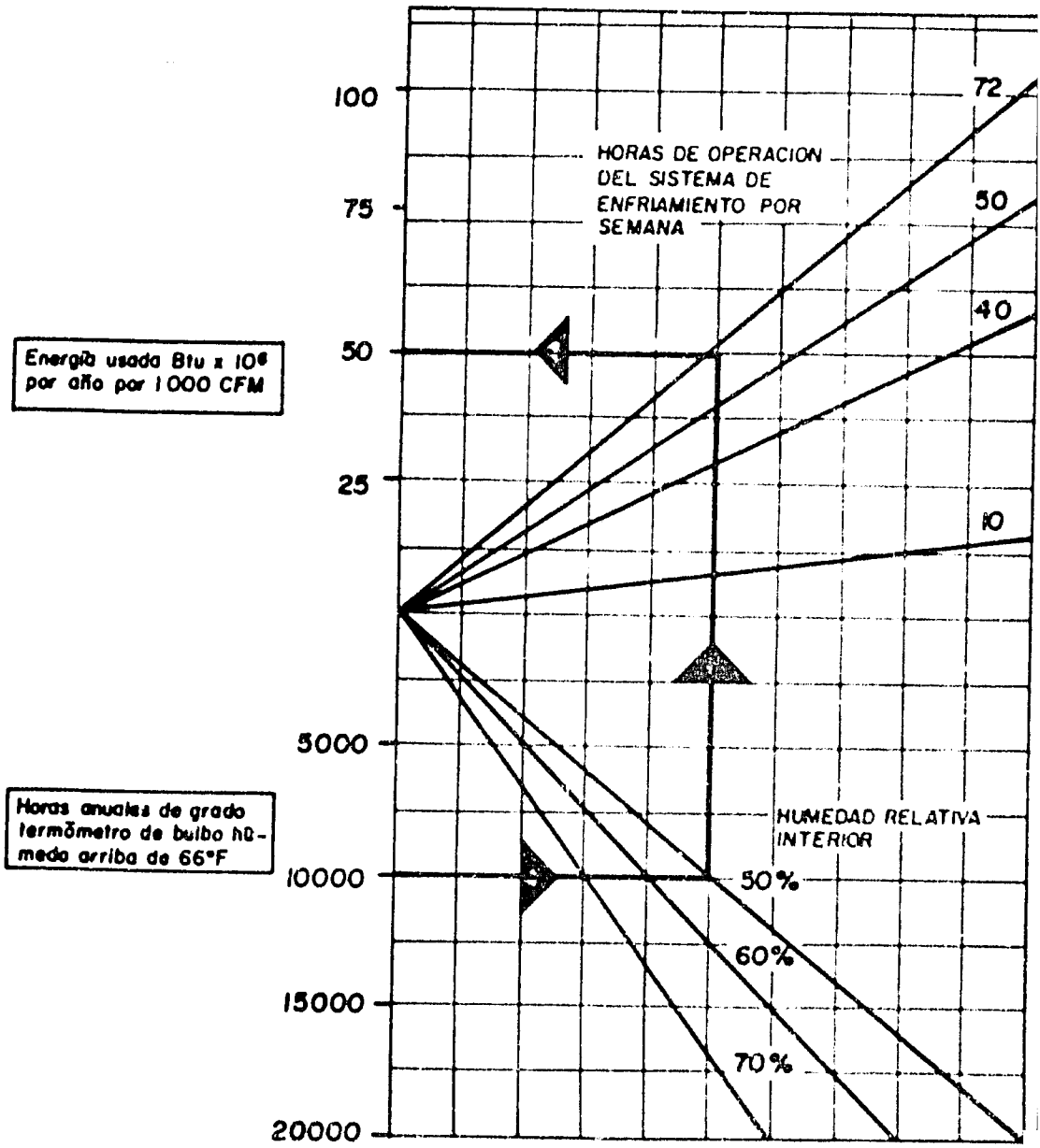
La energía usada es una función del número de grado-días, de la temperatura interior y del número de horas durante las cuales se mantiene la temperatura y se expresa como la energía usada por 1000 CFM de aire acondicionado.

La energía usada por año se determinó como sigue:

Btu/año = (1000 CFM (Grado-días/año) (24 h/día 1.08)*

Debido a que los grados-días están basados en 65°F, las otras temperaturas en la sección inferior de la gráfica son directamente proporcionales a la línea de 65°F. La sección superior establece una proporción de las horas de operación del sistema siendo 168 h/semana dando el 100%.

* 1.08 es un factor que incorpora calor específico, volumen específico, y tiempo.



Gráfica 1-6 Energía anual usada por 1 000 CFM para mantener varias condiciones de humedad

Fuentes: Lineamientos para el ahorro de energía en edificios ya construidos - Manual de dueños y operadores de edificios, ECM 1

Las horas grado WE se basan en 12 meses/año, 8 horas/día.

La energía usada es una función de las horas grado de bulbo húmedo por arriba de la base de 66°F, la HR mantiene el número horas de humedad controlada. La HR base es 50%, lo cual es aproximadamente 78°F BS, 66°F BH. La gráfica expresa la energía usada por 1000 CFM de aire acondicionado o deshumedecido.

1.3.1 REDUCIENDO LA INFILTRACIÓN

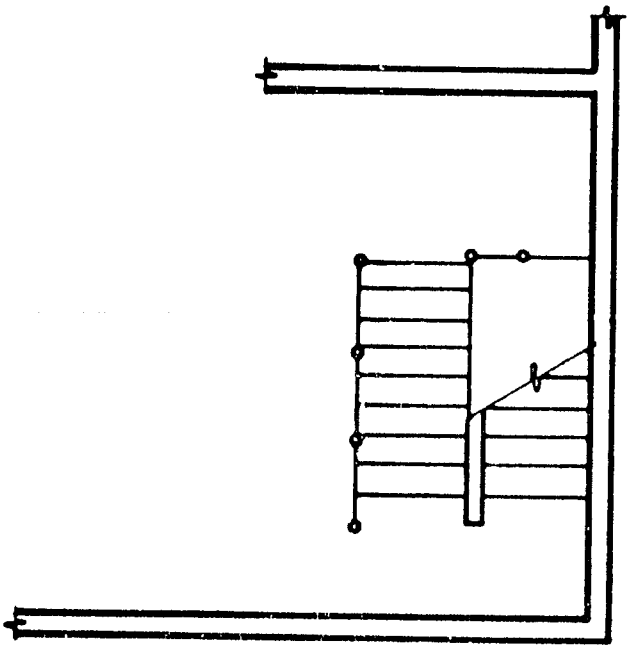
Además de los sellos, no deberá pasarse por alto ciertas áreas claves para reducir pérdidas por infiltración.

Los pozos verticales, tales como los pozos o cañones para escaleras, deberán aislarse en la forma que se ilustra en la Figura 1-7. Verifíquese siempre los códigos de incendios antes de modificar las salidas del edificio.

La mala calidad de los reguladores de aire para exteriores constituye otra fuente de infiltración excesiva. Los reguladores de aire de esta naturaleza no permiten que se logre un control exacto y un cierre positivo. El reemplazo con reguladores de buena calidad de paletas opuestas con sellos en los filos u orillas de las paletas y en los extremos, reducirá las pérdidas por infiltración. (Véase la Figura 1-8).

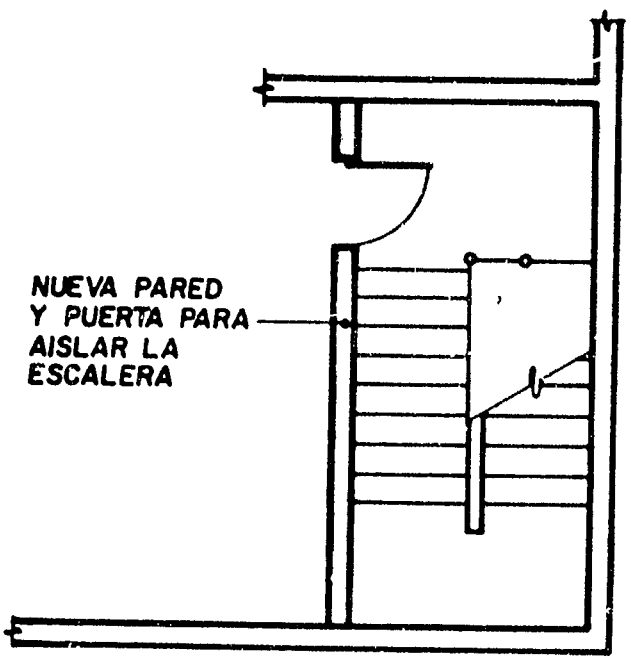
La tercera área es verificar las campanas de succión tales como las utilizadas en cocinas y equipo de proceso. Corrientemente se requieren grandes campanas abiertas para mantener una velocidad de captación o captura satisfactoria para extraer el humo, vapores, etc. Estas campanas extraen grandes volúmenes de aire. El aire se alimenta a través del sistema HVAC en donde se calienta en el invierno y se enfría y deshumedece en el verano. Deberán verificarse varias áreas para reducir las infiltraciones por las campanas:

* Velocidad mínima de captación o captura para remover contaminantes.



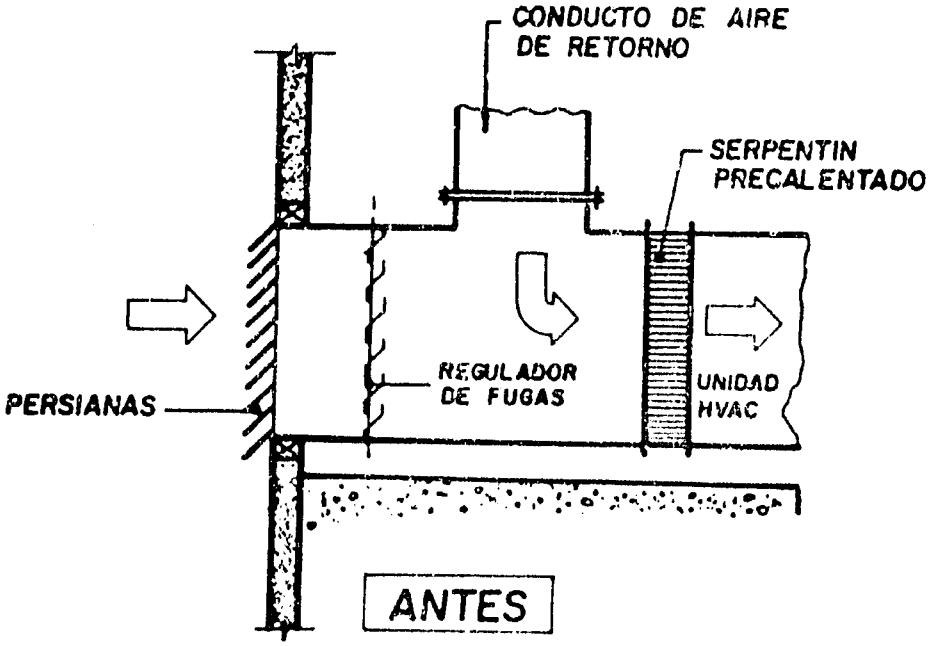
ANTES

Figura 1-7



DESPUES

Figura 1-7


CONDUCTO DE AIRE
DE RETORNO
SERPENTIN
PRECALENTADO
REGULADOR
DE FUGAS
UNIDAD
HVAC
PERSIANAS
ANTES

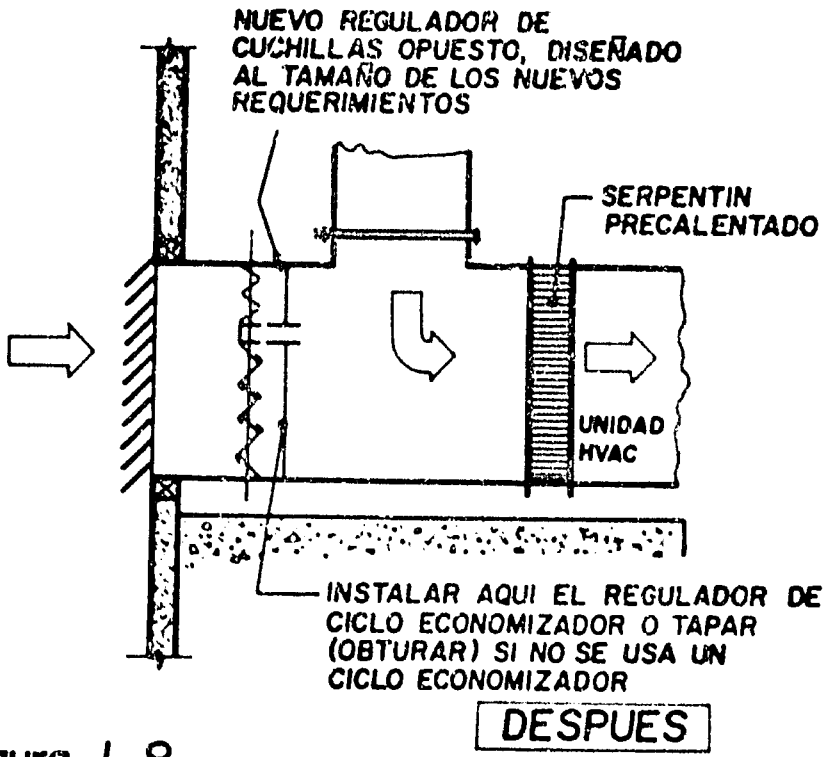

NUEVO REGULADOR DE
CUCHILLAS OPUESTO, DISEÑADO
AL TAMAÑO DE LOS NUEVOS
REQUERIMIENTOS
SERPENTIN
PRECALENTADO
UNIDAD
HVAC
INSTALAR AQUI EL REGULADOR DE
CICLO ECONOMIZADOR O TAPAR
(OBTURAR) SI NO SE USA UN
CICLO ECONOMIZADOR
DESPUES

Figura 1-8

* Reducir el aire de salida por filtración instalando deflectores de ajuste o una campana de succión falsa dentro de campana existente . (Véase la Gráfica 1.9).

* Instalar un sistema de alimentación de aire separado para las campanas. El sistema de alimentación de aire para la campana consistiría de un ventilador que tirará aire exterior y lo pasará a través del serpentín de calentamiento hacia el aire tibio.

1.3.2 FLUJO DE CALOR DEBIDO A CONDUCCIÓN

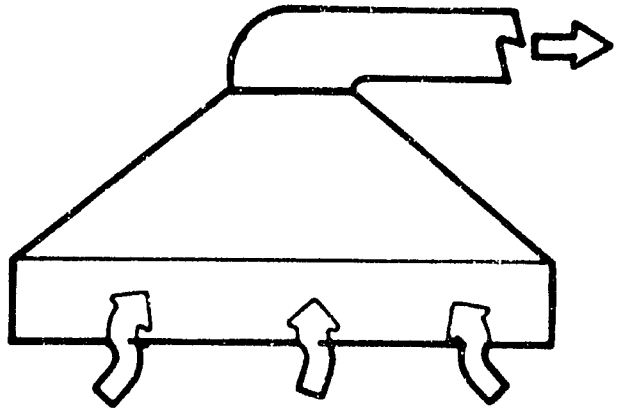
Cuando existe una gradiente de temperatura en cualquier lado de una pared, ocurre un flujo de calor desde el lado caliente al lado frío. El flujo de calor se define con la Fórmula 1-3.

$$Q = K/d \cdot A \cdot \Delta T \qquad \text{Fórmula (1-3)}$$
$$U = K/d = 1/R$$

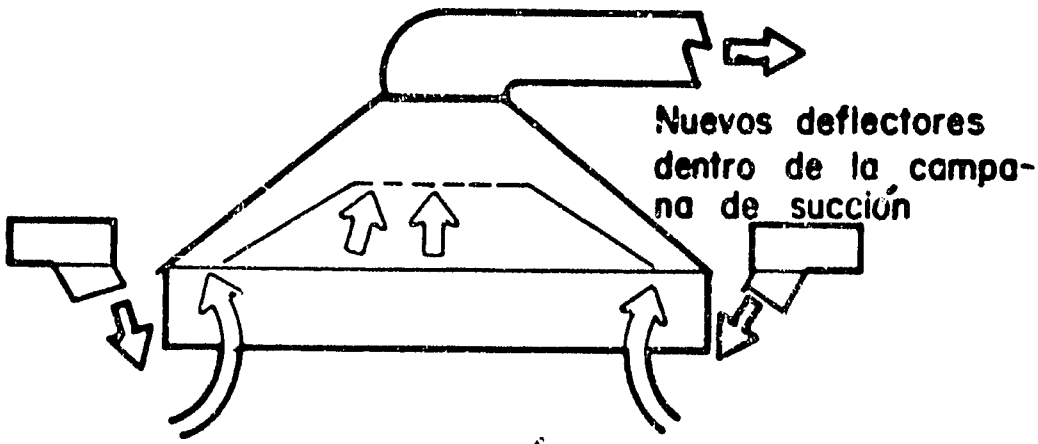
Donde:

Q = Razón de flujo, Btu/h
D = Espesor del material en pulgadas
A = Area de la pared, en pies ^{2}
ΔT = Diferencia de temperatura, en °F
U = Conductancia del material-Btu/h/pie^2/°F
K = Conductividad del material
R = Resistencia del material

La resistencia de material en serie es aditiva. Por lo tanto, la importancia del aislamiento es que incrementa el factor R, lo cual a su vez, reduce el flujo de calor.



Escape de baja velocidad
(Volumen alto)
Antes



Escape a alta velocidad a través
de una ranura (o canal)
(Bajo volumen)

Introducir el cierre del
aire alimentado a la
campana de succión

Después

Figura I-9

1.3.3 FLUJO DE CALOR DEBIDO A LA RADIACION

Al analizar un edificio, la porción conductiva y la porción radiante del flujo de calor deberán tratarse indepedientemente.

Radiación es la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. La radiación es una fuente (el sol) es parcialmente absorbida por el receptor y parcialmente reflejada. La radiación absorbida depende de su emisividad superficial, área y temperatura, tal como se expresa en la Fórmula 1-4.

$$Q = \epsilon \sigma A T^4 \qquad \text{Fórmula (1-4)}$$

Donde:

Q = Tasa de calor, flujo por radiación, Btu/h

ϵ = Emisividad de un cuerpo, que se define como la tasa de energía irradiada por el cuerpo real.

$\epsilon = 1$ para un cuerpo negro.

σ = Constante de Stephen Boltzman, 1.71×10^{-9} Btu/pie^2 hT^4

A = Area de la superficie del cuerpo, en pies^2

Además la energía radiante causa una mayor temperatura en las superficies horizontales como el techo. El efecto es causar un equivalente ΔT mayor que incremente el flujo conductivo de calor. El flujo de energía radiante a través de techos y vidrios debería ser investigado puesto que podría aumentar significativamente la ganancia calórica del edificio. La energía radiante, por otra parte, reduce los requerimientos de HVAC durante la época de la calefacción.

1.4 AUDITORIA DE ENERGIA EN LOS TECHOS

Las tablas y gráficas presentadas en esta sección están basadas en el programa "atardecer"("Sunset") desarrollado para el Manual ECM-2. El programa se basó en las ganancias internas de calor de 12 Btu/pies^2/h, una ventilación de aire exterior promedio de un 10% al estar ocupado, y una infiltración continua por hora de una mitad del aire de cambio.

Un resumen de las pérdidas y de las ganancias calóricas para doce ciudades se ilustra en las Tablas 1-2 y 1-3, respectivamente. Los valores acumulativos que se muestran toman en cuenta tanto las contribuciones conductivas como las radiantes. Así, en un techo cubierto con color o revestimiento obscuro se reducirá la pérdida de calor durante el invierno, pero incrementa la ganancia calórica en el verano. Usualmente, la carga de enfriamiento indica el color del techo.

Para reducir la carga HVAC, el Factor U del techo se incrementa agregándole un aislamiento.

Los estimados de los ahorros pueden hacerse utilizando las Gráficas 1-10, 1-11 y 1-12. Las gráficas toman en cuenta tanto el efecto radiante como la mayor ΔT que ocurre debido a la energía radiante. Para las consideraciones de la carga de enfriamiento, el color del techo es importante. Algunas veces se usan los techos de color claro o se agrega una capa superficial de piedras blancas o grava. (Deberá tenerse cuidado en los edificios existentes de que la capacidad estructural de resistencia no se exceda.)

Además, la temperatura del techo puede ser disminuida utilizándose un rocío para techos. (Deberá tenerse cuidado de que se tomen en cuenta las consideraciones estructurales y un drenaje apropiado).

TABLA 1-2

PERDIDAS CALORICAS ANUALES PARA TECHOS

POR PIE CUADRADO

Ciudad	Latitud	Radiación Solar Langley's	Grados Días	Pérdida calórica a través del Techo Btu/pie^2/año U=0.19 a = 0.3	U=0.19 a = 0.8	U = 0.12 a = 0.3	U = 0.12 a = 0.8
Minneapolis	45°N	325	8,382	35 250	30 967	21 330	18 642
Denver	40°N	425	6 283	26 794	22 483	16 226	13 496
Concord, N.H	43°N	300	7 000	32 462	27 678	19 649	16 625
Chicago	42°N	350	6 155	27 489	23 590	16 633	14 190
St. Louis	39°N	375	4 900	20 975	17 438	12 692	10 457
New York	41°N	350	4 871	21 325	17 325	12 911	10 416
San Francisco	38°N	410	3 015	10 551	8 091	6 381	4 784
Atlanta	34°N	390	2 983	12 601	9 841	7 619	5 832
Los Angeles	34°N	470	2 061	4 632	3 696	2 790	2 142
Phoenix	33°N	520	1 765	5 791	4 723	3 487	2 756
Houston	30°N	430	1 600	6 045	4 796	3 616	2 778
Miami	26°N	451	141	259	130	139	55

a es el coeficiente de absorción del material de construcción
a = 0.3 (blanco)
a = 0.5 (colores claros como el amarillo, verde, etc.)
a = 0.8 (colores obscuros)

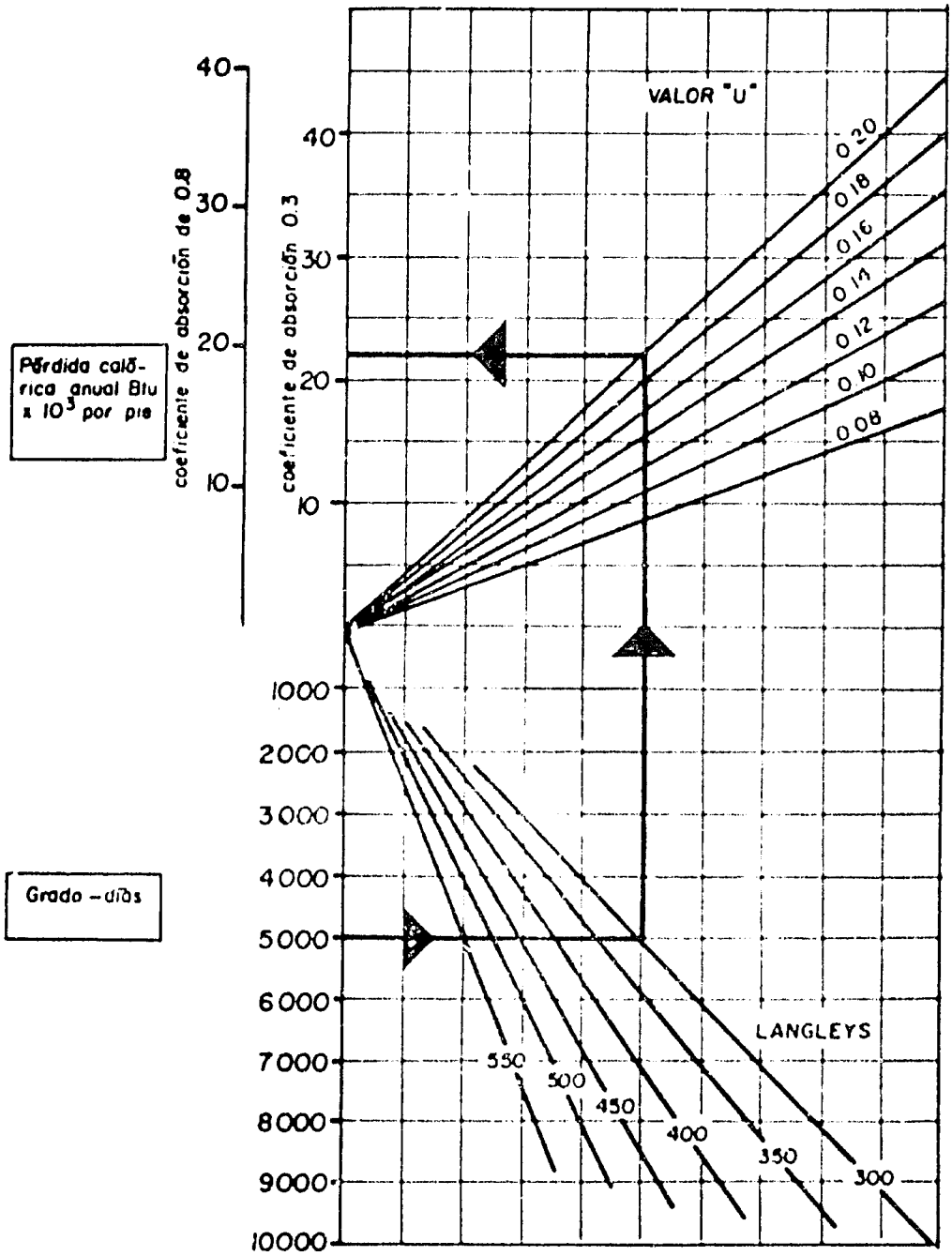
TABLA 1-3

GANANCIAS CALORICAS ANUALES PARA TECHOS
POR PIE CUADRADO

Ciudad	Latitud	Radiación Solar Langley's	Grados Días bulbo seco superior 78°F	Ganancia calórica Btu/pie^2/año a través del techo U = 0.19 a = 0.3	U = 0.19 a = 0.8	U = 0.12 a = 0.3	U = 0.12 a = 0.8
Minneapolis	45°N	325	2 500	2 008	8 139	1 119	4 728
Concord, N.H	43°N	300	1 750	1 892	7 379	1 043	4 257
Denver	40°N	425	4 055	2 458	9 859	1 348	5 680
Chicago	42°N	350	3 100	2 104	7 918	1 185	4 620
St. Louis	39°N	375	6 400	4 059	12 075	2 326	7 131
New York	41°N	350	3 000	2 696	9 274	1 534	5 465
San Francisco	38°N	410	3 000	566	5 914	265	3 354
Atlanta	34°N	390	9 400	4 354	14 060	2 482	8 276
Los Angeles	34°N	470	2 000	1 733	10 025	921	5 759
Phoenix	33°N	520	24 448	12 149	24 385	7 258	14 649
Houston	30°N	430	11 500	7 255	20 931	4 176	12 369
Miami	26°N	451	10 771	9 009	24 594	5 315	14 716

a = es el coeficiente de absorción del material de construcción

a = 0.3 (blanco)
a = 0.5 (colores claros tal como amarillo, verde, etc.)
a = 0.8 (colores obscuros



Gráfica I-10 Pérdida calórica anual através del techo

(Fuente: Lineamientos para el ahorro de energía en edificios ya construidos - manual de Ingenieros, Arquitectos y operadores, ECM. 2)

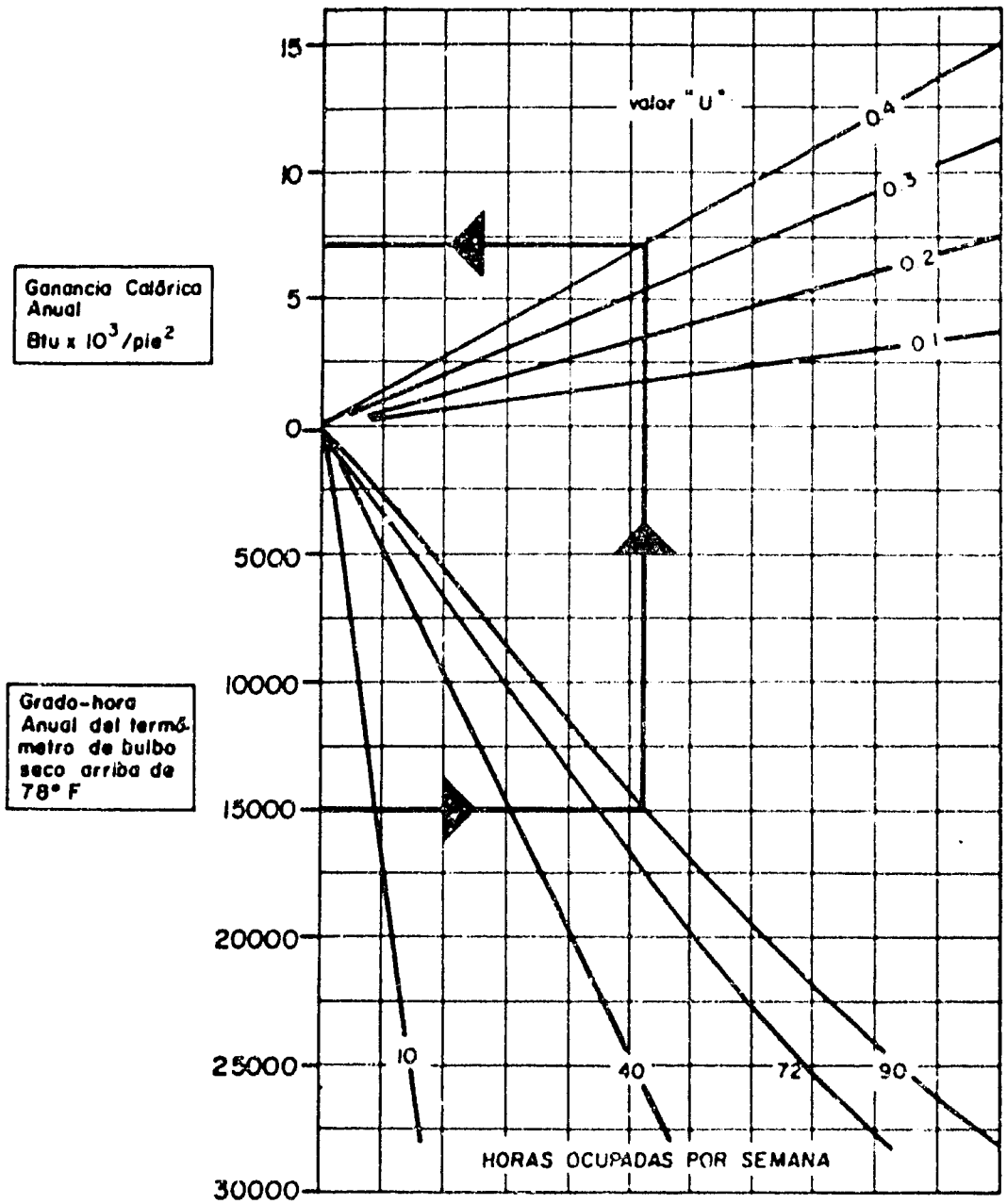
Esta gráfica está basada en el programa de Computación "Atardecer" ("Sunset"), el cual se utilizó para calcular los efectos solares sobre techos en 12 ubicaciones seleccionadas. El programa calcula los ángulos solares por hora y las intensidades para el vigesimo-primer (21) día de cada mes con valores de la intensidad de radiación modificados cada hora por el porcentaje promedio de nubes tomados de los registros meteorológicos. Las pérdidas calóricas se basan en una temperatura interior de 68°F.

El efecto solar sobre un techo se calculó usando la temperatura sol-aire y el calor que entra o sale de un espacio se calculó utilizando la diferencia de temperatura equivalente. La masa del techo estaba comprendida entre 25-35 lb/pie² y el retraso, térmico promedió 3 1/2 horas. Otras suposiciones adicionales fueron:

(1) Ganancia calórica interior total de 12 Btu/pie².
(2) Tasa de ventilación de aire externo de 10%
(3) Tasa de infiltración de 1.2 del cambio de aire por hora.

Los totales diarios fueron sumados posteriormente para el número de días en cada mes, para poder llegar a las pérdidas calóricas mensuales. La duración de la estación de calefacción para cada localidad considerada se determinó con base en datos meteorológicos y en periódos de operación característicos. Las pérdidas calóricas anuales se derivaron de la suma de los valores mensuales correspondientes a la duración de la temporada de enfriamiento.

Los coeficientes variados de absorción y los valores fueron variados y resumidos para las 12 ciudades. Los datos entonces, fueron diagramados y extrapolados a fin de incluir la escala completa de grados-días.



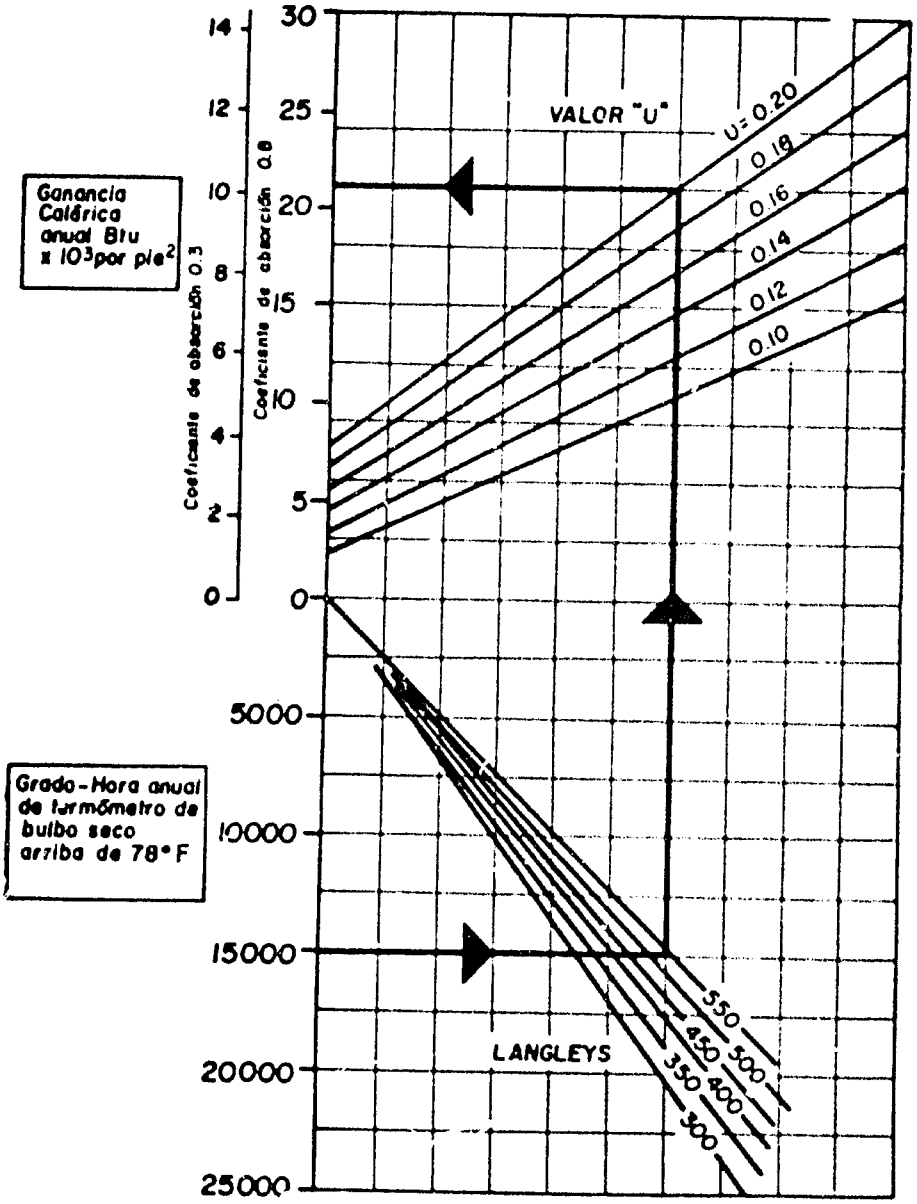
Gráfica I-II *Ganancia térmica anual por conducción a través de paredes, techos y pisos*

(Fuente: Lineamiento para ahorro de energía en edificios ya construidos - Manual para Ingenieros, Arquitectos y operadores, ECM-2)

Esta gráfica se basa en los grados horas con una base de 56 horas/semana. La gráfica se basa en la siguiente fórmula

Q (Ganancia calórica)/año = Grado-horas/año x U.

La porción más grande de horas-grado ocurre entre las 10 am y las 3 pm. Por tanto, para ocupaciones entre 10 y 56 horas/semana, la distribución de grado-hora puede suponerse que es lineal. No obstante, para ocupaciones mayores de 56 horas/semana, la distribución grado-hora no es lineal, especialmente en las localidades que tienen grados-horas mayores de 15 000. Esto se refleja en las curvas para ocupaciones de 72 y 96/horas semana.



Gráfica 1-12 Ganancia Calórica solar anual a través del techo

(Fuente: Lineamientos para ahorro de Energía en edificios ya construidos - Manual para Ingenieros, Arquitectos Operadores, ECM-2)

Esta gráfica está basada en el programa de computación "Atardecer" ("Sunset"), el cual se utilizó para calcular los efectos solares sobre techos en 12 ubicaciones seleccionadas. El programa calcula los ángulos solares por hora y las intensidades para el vigésimo-primer (21) día de cada mes con valores de intensidad de radiación modificados cada hora por el porcentaje promedio de nubes tomados de los registros metereológicos. Las ganancias calóricas están basadas en una temperatura interior superior a 78°F.

El efecto solar sobre un techo se calculó utilizando la temperatura sol-aire, y el calor que entra o sale de un espacio se calculó con la diferencia de temperatura equivalente. La masa del techo está comprendida dentro de una escala de 25-35 lb/pie^2, y el retraso térmico promedió 3 1/2 horas. Durante la estación de enfriamiento, las ganancias internas, la ventilación, la infiltración y la conducción a través de la superficie del edificio crean una carga de enfriamiento. La carga adicional ocasionada por la ganancia calórica a través del techo se calculó para cada día.

Luego, se sumaron los totales diarios para los días en cada mes para poder llegar a las ganancias calóricas mensuales. La duración de la estación de enfriamiento para cada localidad considerada se determinó a partir de datos meteorológicos y períodos característicos de operación. Las ganancias calóricas anuales se derivaron sumando los totales mensuales durante la estación de enfriamiento.

Los coeficientes de absorción y los valores "U" se variaron y resumieron para las doce ciudades. Las ganancias incluyen tanto los componentes solares como de conducción de la ganancia calórica. Los valores del componente de la ganancia calórica por conducción a través de los techos se dedujeron a partir de las ganancias calóricas totales para derivar el componente solar. El componente solar entonces, se diagramó y extrapolarizó a fin de incluir la escala total de grados-horas.

1.4.1 SERVICIOS DE COMPUTACION

La mayoría de fabricantes de aislantes para techos y tratamientos para ventanas ofrecen simulaciones computarizadas para estimar los ahorros que pueden obtenerse como resultado de usar sus productos. Estos programas están disponibles usualmente sin costo alguno a través de distribuidores autorizados y contratistas.

Una auditoría energética del techo indica lo siguiente:

Area	=	20 000 pies^2
Valor "R" presente (Estimación basada en el grosor y clase de aislante)	=	8
Grados días (invierno)	=	3 000
Ocupado horas/semana	=	40
Grado-horas bulbo seco superior a 78°F	=	9 400
Costo del combustible	=	\$5/10^6 Btu
Rendimiento de la caldera	=	0.65
Costo de electricidad	=	\$0.06/kWh
Requerimiento de aire acondicionado	=	0.8 kW/ton-h
Absorción del techo	=	0.3
Radiación solar	=	390 "Langley's"

Se propone instalar aislante adicional de R=13.

Coméntese sobre el ahorro probable

ANALISIS

$R_T = R_1 + R_2 = 8 + 13 = 21$

$U_{antes} = 1/8 = 0.125$

$U_{después} = 1/21 = 0.047$

Ahorro

Invierno

De la Gráfica 1-10

$Q_{antes} = 7$ Btu x 10^3 por pie^2

$Q_{después} = 2$ Btu x 10^3 por pie^2

Ahorro $= (7-2) \times 10^3 \times 20 \times 10^3 \times 5/10^6/0.65 =$ \$769

Verano

Conducción

De la Gráfica 1-11

$Q_{antes} = 1 \times 10^3$ Btu/pie^2/año

$Q_{después} = 0.4 \times 10^3$ Btu/pie^2/año

Ahorro $= (1-0.4) \times 10^3 \times 20\ 000$

$= 12\ 000 \times 10^3$Btu/año

Radiación

De la Gráfica 1-12

$Q_{antes} = 8.5 \times 10^3$ Btu/pie^2/año

$Q_{después} = 2.5 \times 10^3$ Btu/pie^2/año

Ahorro $= (8.5-2.5) \times 10^3$ Btu/pie^2/año x 20 000

$= 120\ 000 \times 10^3$ Btu/año

$$\text{Ahorro} = \frac{(120\ 000 + 12\ 000)}{12\ 000} \times 10^3 \times 0.8 \times 0.6 = \$528/\text{año}$$

Ahorro total = $1 297/año

La tabla 1-4 ilustra los valores de conductancia de un aislamiento típico dado y basados en información grado-día.

TABLA 1-4

VALORES DE CONDUCTANCIA DE AISLANTE PARA TECHOS Y PAREDES

VALOR DEL AISLAMIENTO PARA FLUJO DE CALOR A TRAVES DE AREAS OPACAS DE TECHOS Y CIELO-RASOS

Estación de calefacción Grados-días	Valor U (Btu/h/pie^2/°F)
1 - 1 000	0.12
1 001 - 2 000	0.08
2 001 - y más	0.05

VALOR DEL AISLAMIENTO PARA FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES EXTERIORES OPACAS PARA AREAS CON CALEFACCION

Estación de calefacción Grados-días	Valor U (Btu/h/pie^2/°F)
0 - 1 000	0.30
1 001 - 2 500	0.25
2 500 - 5 000	0.20
5 000 - 8 000	0.15

Estación de enfriamiento

El valor U recomendado de aislamiento para el flujo de calor a través de techos exteriores, cielos-rasos, y paredes debería ser menor de 0.15 Btu/h/pie^2/°F.

1.5 LA AUDITORIA DE VIDRIO

1.5.1 Consideraciones sobre conducción

Tradicionalmente, el vidrio tiene pobres cualidades de conductancia y es responsable de ganancias calóricas importantes debidas a la energía radiante.

Para estimar los ahorros como resultado del cambio de clases de vidrio, pueden usarse las Tablas 1-5 y 1-6 y las Gráficas 1-13 a la 1-16, las Gráficas 1-13 y 1-14 ilustran la pérdida y ganancia calórica debidas a la conducción para el invierno y el verano, respectivamente. Las Gráficas 1-15 y 1-16 pueden utilizarse para calcular la ganancia de calor radiante durante el verano.

Para disminuir las pérdidas debidas a conductancia, se necesita ya sea que el vidrio sea reemplazado o modificado, o que se agregue una sábana térmica externa. Las descripciones de los tratamientos de las ventanas se discuten al final del capítulo.

1.5.2 Consideraciones sobre radiación solar

Además del flujo de calor debido a conducción, ocurre un importante flujo de calor a través del vidrio como consecuencia de la energía radiante del sol. La energía radiante hará que disminuyan los requerimientos de calefacción durante el tiempo de invierno, pero incrementará grandemente la carga del aire acondicionado durante la estación de verano.

TABLA 1-5

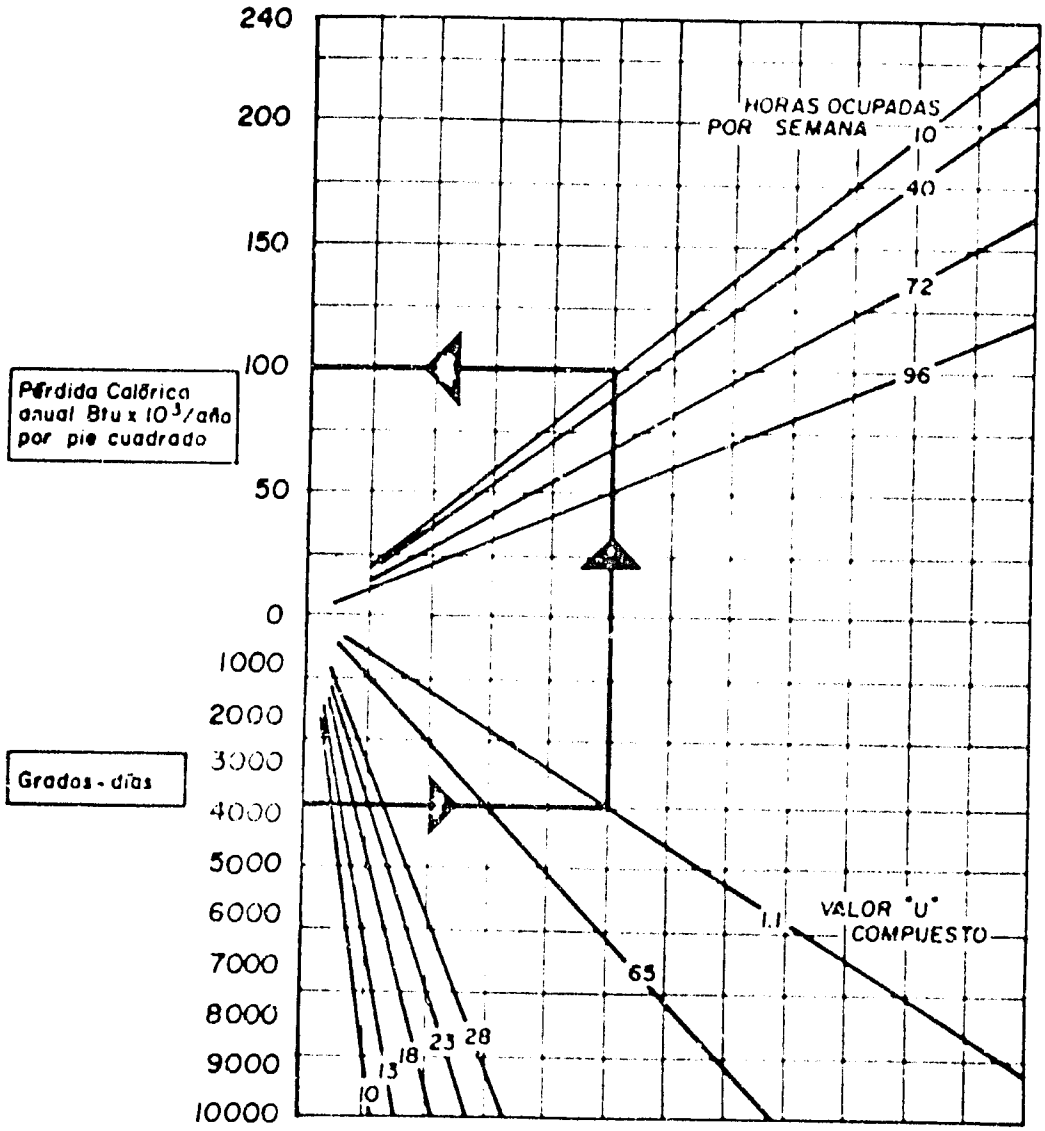
PERDIDA CALORICA ANUAL/PIE CUADRADO DE VIDRIO
SENCILLO Y DE VIDRIO DOBLE

Ciudad	Latitud	Rad. Solar Langley's	Grado Días	Pérdida calórica a través de ventanas Btu/pie²/año — Norte: Sencillo	Norte: Doble	Este y Oeste: Sencillo	Este y Oeste: Doble	Sur: Sencillo	Sur: Doble
Minneapolis	45°N	325	8 382	187 362	94 419	161 707	84 936	140 428	74 865
Concord, N.H.	43°N	300	7 000	158 770	83 861	136 073	73 303	122 144	67 586
Denver	40°N	425	6 283	136 452	70 449	117 487	62 437	109 365	59 481
Chicago	42°N	350	6 155	147 252	75 196	126 838	65 810	110 035	58 632
St. Louis	39°N	375	4 900	109 915	56 054	94 205	49 355	84 399	45 398
New York	41°N	350	4 871	109 672	54 986	93 700	48 611	82 769	44 580
San Francisco	38°N	410	3 015	49 600	25 649	43 866	23 704	41 691	23 239
Atlanta	34°N	390	2 983	63 509	31 992	55 155	28 801	51 837	28 092
Los Angeles	34°N	470	2 061	21 059	11 532	19 487	10 954	19 485	10 989
Phoenix	33°N	520	1 765	25 951	14 381	22 381	12 885	22 488	12 810
Houston	30°N	430	1 600	33 599	17 939	30 744	17 053	30 200	16 861
Miami	26°N	451	141	1 404	742	1 345	742	1 345	742

TABLA 1-6

GANANCIA CALORICA ANUAL/PIE CUADRADO DE VIDRIO
SENCILLO Y DE VIDRIO DOBLE

Ciudad	Latitud	Rad. Solar Langley's	Grado Días Bulbo Seco Superior a 78°F	Ganancia calórica a través de ventanas Btu/pie^2 año — Norte: Sencillo	Norte: Doble	Este y Oeste: Sencillo	Este y Oeste: Doble	Sur: Sencillo	Sur: Doble
Minneapolis	45°N	325	2 500	36 579	33 089	98 158	88 200	82 597	70 729
Concord, N.H.	43°N	300	1 750	33 481	30 080	91 684	82 263	88 609	76 517
Denver	40°N	425	4 055	44 764	39 762	122 038	108 918	100 594	85 571
Chicago	42°N	350	3 100	35 595	31 303	93 692	83 199	87 017	74 497
St. Louis	39°N	375	6 400	55 242	45 648	130 018	112 368	103 600	85 221
New York	41°N	350	3 000	40 863	35 645	109 750	97 253	118 454	102 435
San Francisco	38°N	410	3 000	29 373	28 375	88 699	81 514	73 087	64 169
Atlanta	34°N	390	9 400	59 559	50 580	147 654	129 391	106 163	87 991
Los Angeles	34°N	470	2 000	47 912	43 264	126 055	112 669	112 234	97 284
Phoenix	33°N	520	24 448	137 771	97 565	242 586	191 040	211 603	131 558
Houston	30°N	430	11 500	88 334	72 474	213 739	184 459	188 718	156 842
Miami	26°N	451	10 771	98 496	79 392	237 763	203 356	215 382	179 376



Gráfica I-13 Pérdida calórica anual para ventanas con barreras térmicas

(Fuente: Lineamiento para el ahorro de energía en edificios ya existentes - Manual de Ingenieros, Arquitectos y operadores, ECM-2)

NOTA

El desarrollo de está gráfica se basó en las siguientes suposiciones:

1. Las barreras térmicas están cerradas únicamente cuando el edificio está desocupado.
2. La distribución de grados-día promedio es de 25% durante el día y de 75% durante la noche.

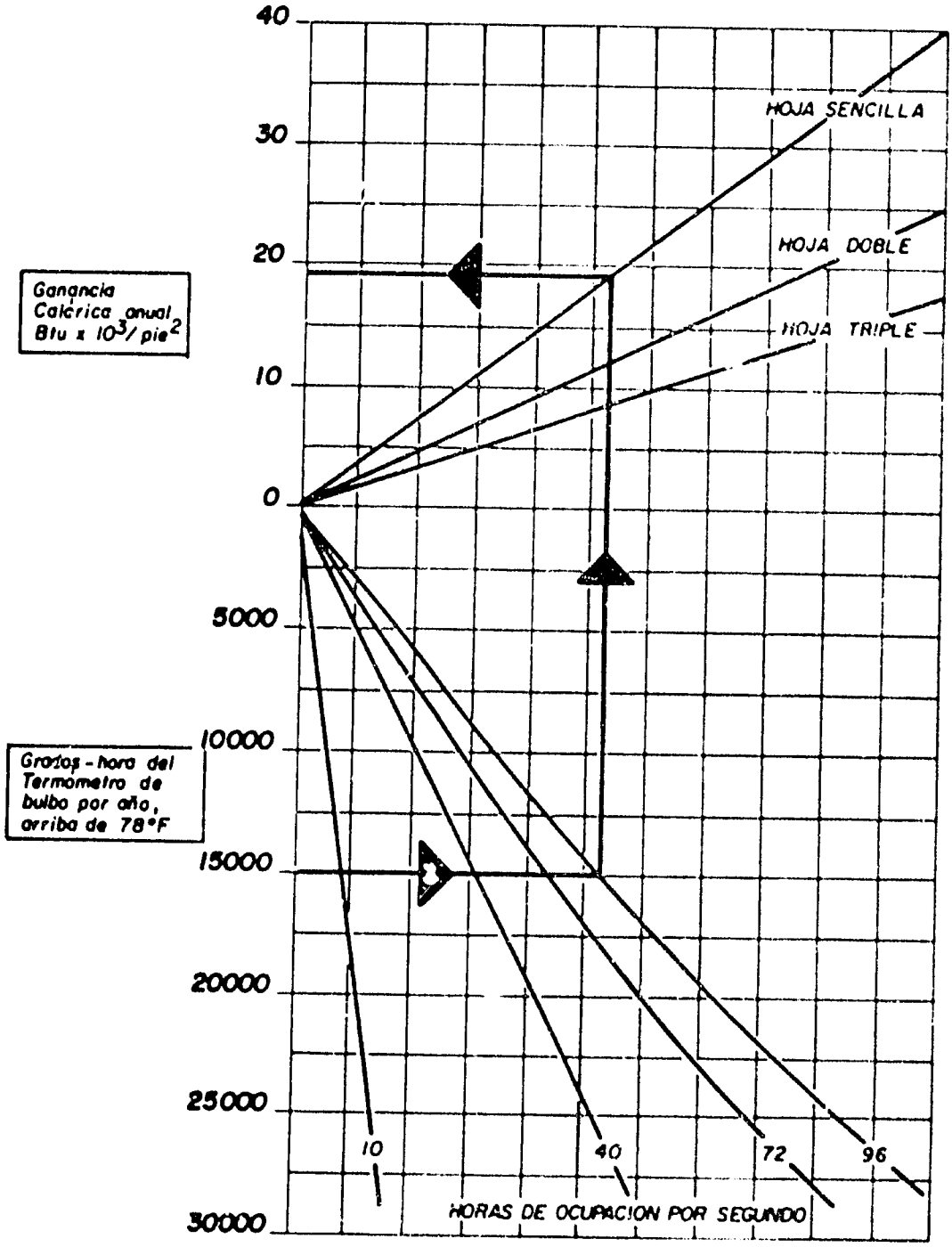
El número de grados-días que ocurren cuando las barreras térmicas están cerradas (grados-días ajustados --DD_A) se determinaron a partir de los periódos de ocupación característicos que se muestran en la Gráfica. Esto puede expresarse como una fracción del total de grados-días (DD_T) por la relación:

$$DD_A = 0.25\ DD_T \frac{\text{Horas del día desocupado/semana}}{\text{total horas del día/semana}} +$$

$$0.75\ DD_T \frac{\text{Horas nocturnas desocupado/semana}}{\text{total horas nocturnas/semana}}$$

Las pérdidas calóricas anuales pueden entonces determinarse por

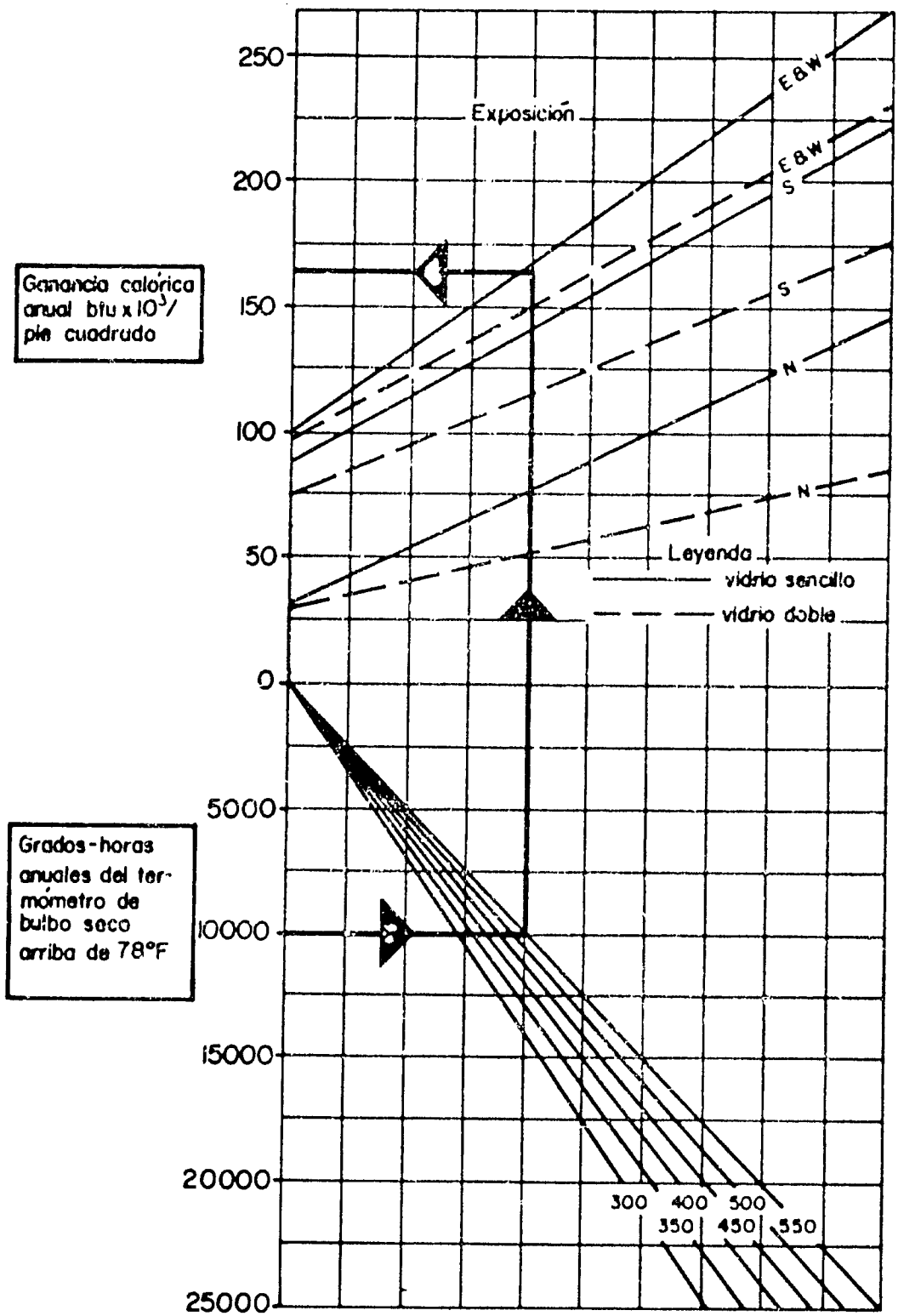
$$Q\ (\text{Pérdida calóricas/año}) = DD_A \times U \times 24$$



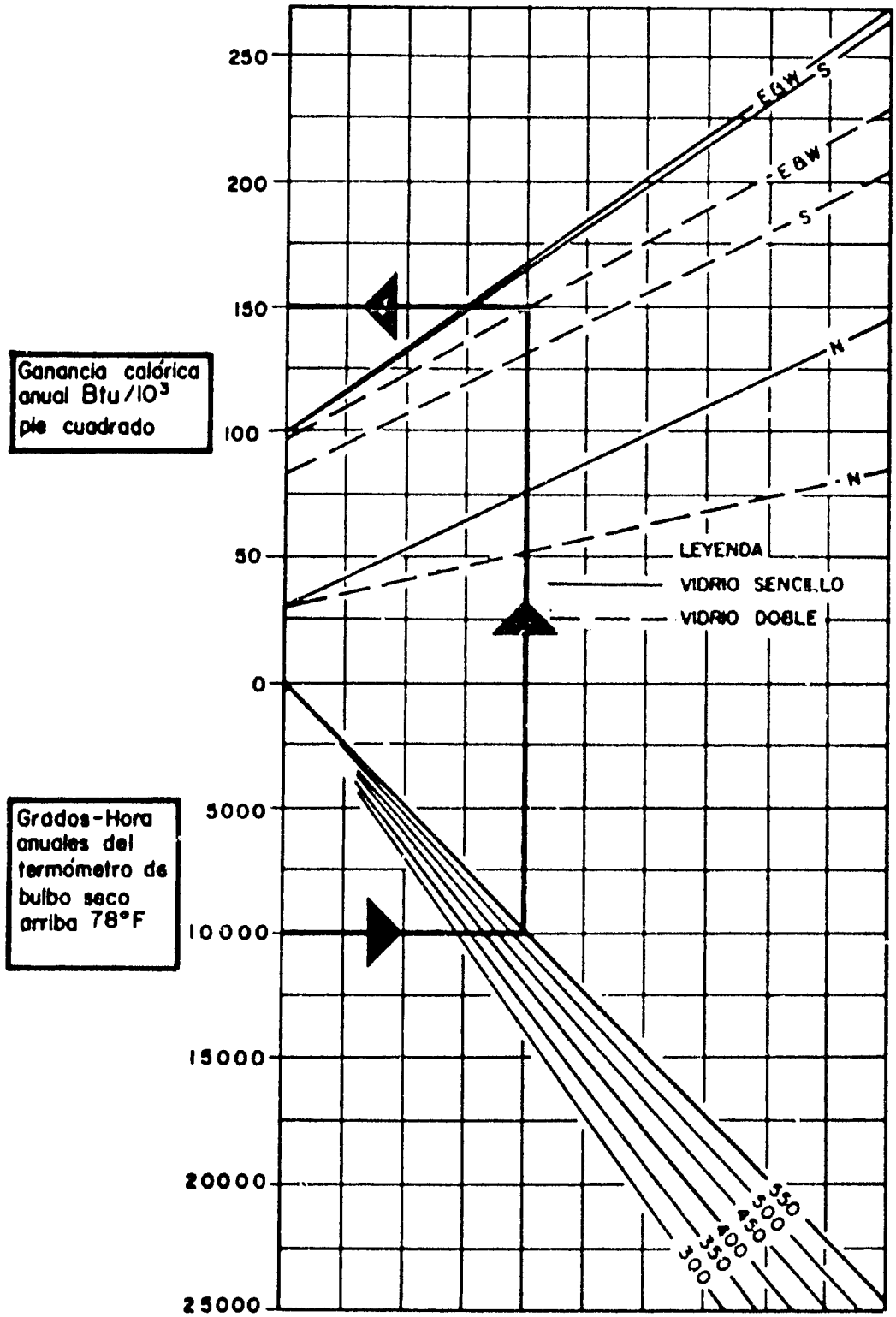
Grafica I-14 Ganancia calórica anual por conducción a través de ventanas.

NOTA

La gráfica se basa en la Fórmula: Q (ganancia calórica)/año = grados horas/año x U. Los valores U supuestos fueron de 1.1 para vidrios sencillos, 0.65 para vidrios dobles y 0.47 para vidrios triples. La mayor porción de grados-hora sucede entre las 10 a.m. y las 3 p.m. Por consiguiente, para ocupaciones entre 10 y 56 horas/semana, la distribución del grados-hora puede suponerse que es lineal. No obstante, para ocupaciones mayores a las 56 horas/semana, la distribución del grados-hora se convierte en no-lineal, especialmente en localizaciones con grados-hora de más de 15 000. Esto se refleja en las curvas para ocupaciones de 72 y 96 horas/semana.



Gráfica I-15 Ganancia calórica solar por año a través de ventanas
Latitud 25°N-35°N



Gráfica I-16 Ganancia calórica solar por año a través de ventanas

Latitud 35°N-45°N

NOTAS PARA LAS GRAFICAS 1-15 y 1-16

Estas gráficas se basan en el programa Computarizado "Sunset" ("Atardecer") que se utilizó para calcular el efecto solar en ventanas para doce localizaciones. El programa calcula los ángulos e intensidades solares por hora para el vigésimo primer (21er) día de cada mes. Los valores de la intensidad de radiación fueron modificados por el porcentaje promedio de nubosidad tomado de los registros meteorológicos sobre una base por hora. Las ganancias calóricas se basaron en una temperatura interior de 79°F. Durante la estación de enfriamiento, las ganancias internas, ventilación, infiltración y conducción a través del edificio pueden crear una carga de enfriamiento. La carga adicional ocasionada por la ganancia calórica a través de las ventanas se calculó para cada día.

Los totales diarios se sumaron posteriormente para el número de días en cada mes, para poder llegar a las ganancias calóricas mensuales. La duración de la estación de enfriamiento para cada localización considerada se determinó a partir de datos meteorológicos y de los períodos de operación característicos. Las ganancias calóricas anuales se derivaron mediante la suma de los totales mensuales para la duración de la estación de enfriamiento. Las ganancias están basadas en sobre el componente solar. El componente solar se diagramó y extrapolarizó entonces para incluir la gama completa de grados-horas. Las ganancias calóricas suponen que las ventanas están expuestas a la luz del sol en forma directa. Si tienen sombras, las ganancias deberían leerse de la línea de exposición norte. La exactitud de la Gráfica disminuye para aquellas localizaciones que tienen menos de 5 000 grados hora.

Para reducir las cargas solares, se utilizan varios aparatos comunes:

- Sombras enrolladas (las más baratas)
- Película poliéster de reflexión
- Persianas venecianas
- Persianas con rejillas verticales
- Pantallas enrejilladas externas
- Vidrieras teñidas o reflejantes (las más caras)

Para determinar la energía ahorrada mediante las diferentes sombras, pueden utilizarse las Gráficas 1-15 y 1-16. La ocupación para estas gráficas se basa en cinco días/semana, 12 horas diarias. Si el espacio se ocupa en forma diferente, prorratéense los resultados. Los ahorros que se obtienen por el tratamiento de ventanas se estima multiplicando la ganancia calórica anual por el coeficiente del tratamiento de la ventana.

1.5.3 TRATAMIENTOS DE VENTANAS

Se encuentran disponibles varios tipos de tratamientos de ventanas para reducir las pérdidas. Esta sección describe algunos de los productos que se encuentran en el mercado basados en información suministrada por los fabricantes. No se hace ninguna reclamación en relación con la validez e integridad descritas. El resumen se basa en "Ventanas para Edificios Energético-Eficientes" ("Windows for Energy Efficient Buildings", preparado por el Laboratorio Lawrence Berkeley, para el Departamento de Energía de los Estados Unidos, según contrato W-7405-ENG-48).

Además de los programas computarizados, los fabricantes de tratamientos de ventanas ofrecen una amplia variedad de "programas gratis" para ayudar y asistir en la evaluación de sus productos. Por ejemplo, la Compañía 3M y Koolshade Corp. ofrecen programas que indican los ahorros probables con tratamientos de ventanas.

1.5.3.1 CONTROL SOLAR

PELICULAS DE CONTROL SOLAR.

Una gama de películas de poliéster teñidas y de reflexión se encuentran disponibles para adherirlas a las superficies interiores de las ventanas para brindar control solar para vidrieras claras ya instaladas. Las películas están formadas típicamente por laminados de dos o tres capas compuestas de capas teñidas y/o transparentes metalizadas. Las películas están disponibles en una amplia gama de valores de transmisión de sol y luz visible, que resultan en coeficientes de sombra tan bajos como 0.24. La mayoría de películas se adhieren mediante el uso de adhesivos sensibles de presión prerrecubiertos. Las películas reflectivas reducirán los valores U de invierno aproximadamente en un 20%. (Nótese que una nueva película para control solar, que proporciona un valor U de 0.68, se describe más adelante en la sección sobre Barreras Térmicas. Las películas adheridas al vidrio mejoran la resistencia a despedazarse el vidrio y reduce la transmisión, reduciendo en consecuencia, el riesgo de que el mobiliario se destiña.

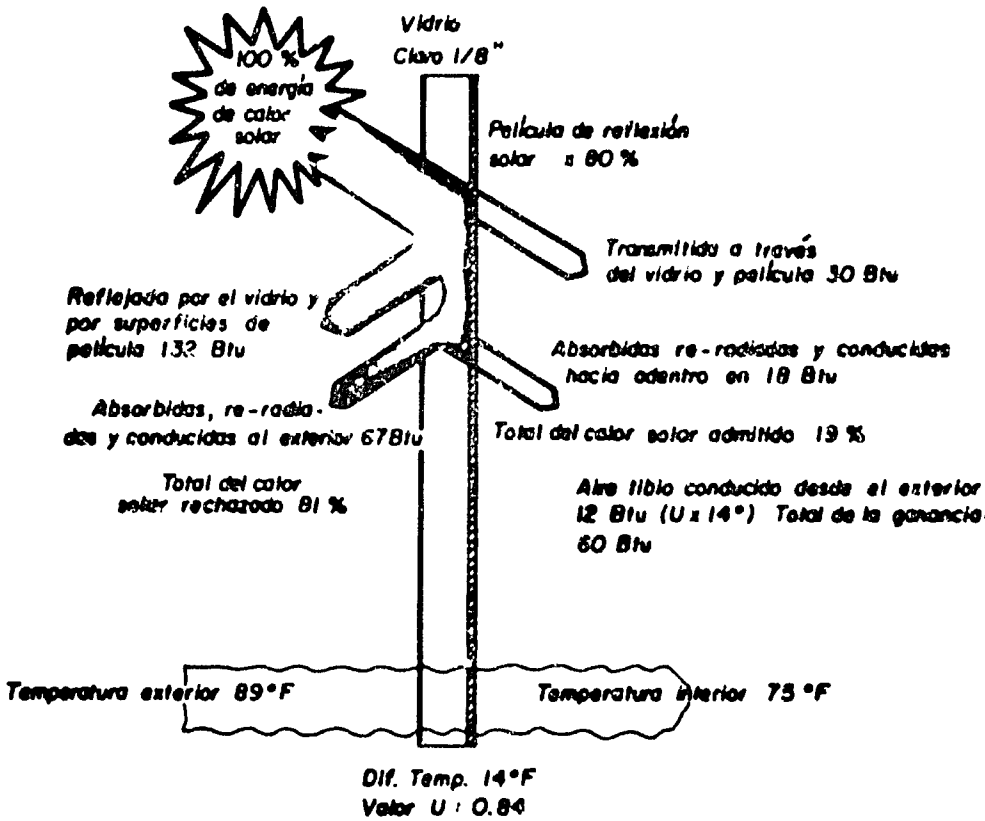


Figura I-17 Aplicación de películas a ventanas

PANTALLAS DE FIBRA DE VIDRIO (O VIDRIO FIBROSO) PARA CONTROL SOLAR.

La pantalla de control solar suministra control del sol y del reflejo, así como cierta reducción de la pérdida calórica en el invierno. Las pantallas se tejen con hebras de vidrio revestidas de vinilo y están disponibles en una variedad de colores. Dependiendo del color y tejido, los coeficientes de sombra que pueden alcanzarse son de 0.3 - 0.5. Las pantallas son durables, no necesitan mantenimiento, y proporcionan resistencia contra impactos. Usualmente se aplican al exterior de las ventanas y pueden (1) ser adheridas a los rieles de la montura y estiradas sobre las ventanas; (2) montarse en marcos rígidos e instalarse sobre ventanas; o (3) fabricarse como sombras enrolladas que pueden ser retiradas y almacenadas según se desee.

SISTEMA MOTORIZADO PARA OSCURECIMIENTO DE VENTANAS.

Una variedad de sombras plásticas y de tela se encuentra disponible para usarse con un sistema motorizado para el obscurecimiento de ventanas. El motor reversible se encuentra localizado dentro del rodillo del tubo de la sombra y contiene un mecanismo de freno para parar y mantener la sombra en cualquier posición. Los controles del motor pueden calibrarse y operarse localmente o desde una estación maestra. Controles fotoeléctricos automáticos se encuentran disponibles y (1) pueden controlar la intensidad del sol y su ángulo, y ajustar la posición de la sombra para proporcionar un control solar; (2) pueden emplear un sensor luminoso interno y proporcionar un nivel pre-fijado para una luz de ambiente interno.

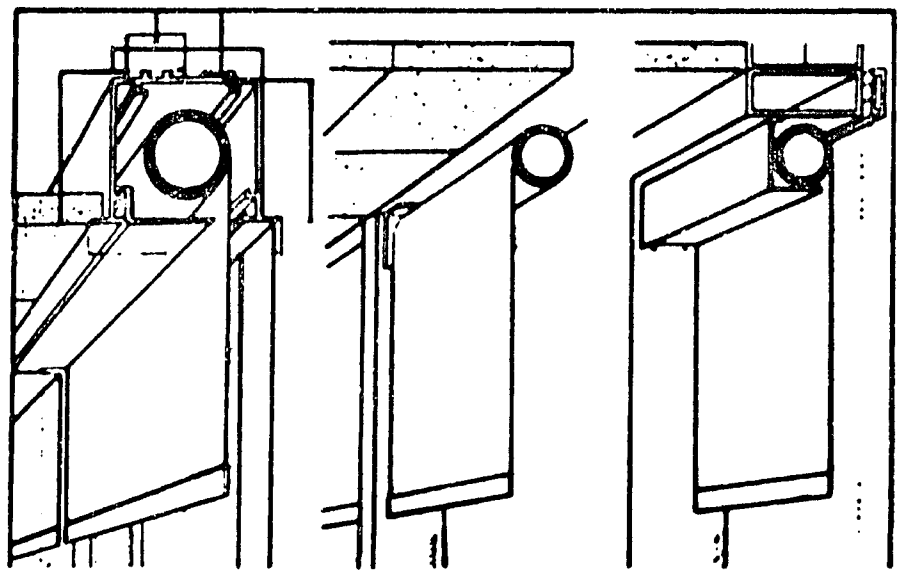


Figura I-18 ***Sistema de Obscurecimiento Motorizado***

REJILLAS EXTERIORES PARA CONTROL DEL SOL.

Sistemas de rejillas verticales y horizontales susceptibles de ser operados externamente se ofrecen para una variedad de aplicaciones de control del sol en edificios. Las rejillas se articulan juntas y pueden rotarse al unísono para proporcionar el grado deseado de sombra para cualquier posición del sol. La operación puede ser manual o eléctrica; la operación eléctrica puede iniciarse mediante el uso de interruptores manuales, un reloj registrador, o sensores solares. Las rejillas pueden cerrarse para reducir las pérdidas térmicas nocturnas. Elementos para control del sol están disponibles en varias formas básicas y en una gran variedad de tamaños.

PERSIANAS VENECIANAS EXTERIORES.

Montadas en el exterior, para todo clima, las persianas venecianas pueden operarse manualmente desde el interior de un edificio, o pueden ser controladas eléctricamente o por medio de sensores solares automáticos, controles de tiempo, interruptores manuales, etc. Las láminas de aluminio se mantienen en posición con guías laterales y controladas por medio de cintas elevadoras resistentes a la intemperie. Las láminas pueden inclinarse para regular la ganancia solar, cerrarse completamente, o limitarse a fin de que dejen pasar toda la luz y el calor. Las persianas se han estado usando en Europa durante muchos años y han sido probadas para ver la resistencia contra tormentas y vientos fuertes.

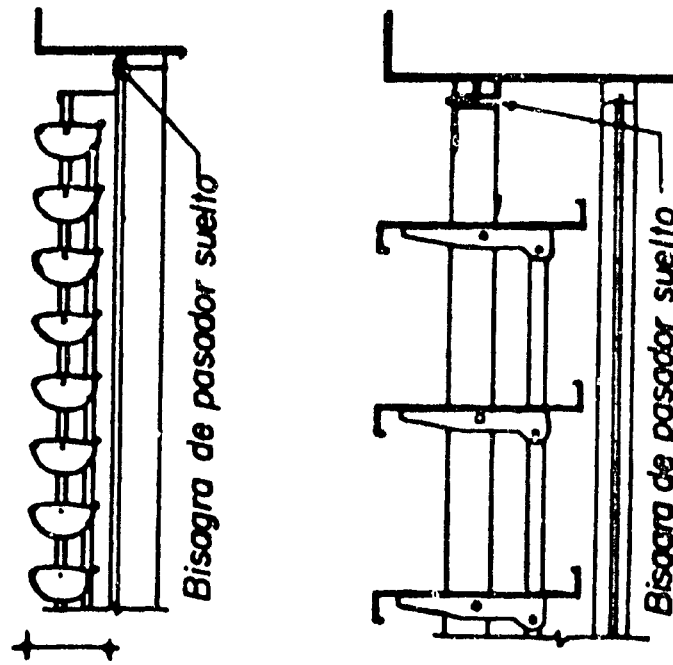


Figura I-19 Instalación de Pantallas Enrejilladas

VENTANAS CON REJILLAS AJUSTABLES.

Las ventanas a las que se les incorporan dispositivos de sombra u obscurecimiento, con rejillas externas ajustables. Las rejillas son de aluminio troquelado o de madera de secoya, de 3 a 5 pulgadas de ancho, y se controlan manualmente. Las rejillas pueden especificarse en ventanas de guillotina, de bisagra, o de rejillas o celosías de vidrio. Al estar abiertas, las rejillas suministran un control de la ganancia y del reflejo solar; al cerrarse, brindan privacidad y seguridad.

PERSIANAS SOLARES.

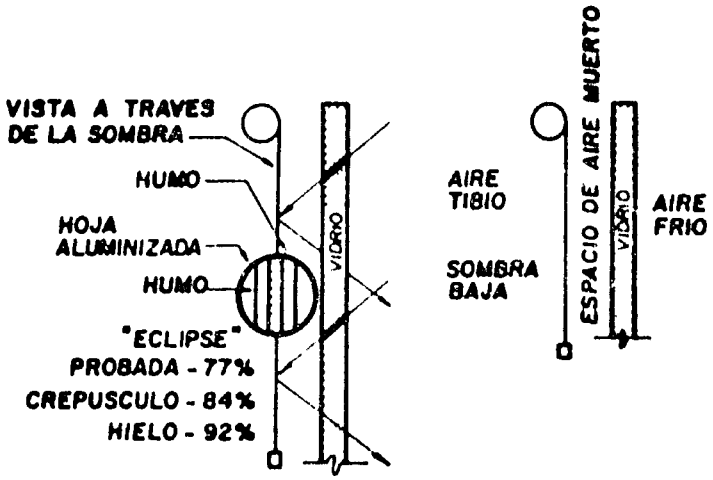
La persiana está compuesta de una serie de tablillas de aluminio colocadas a 45° o 22 1/2° a partir de la vertical para bloquear la luz directa del sol directa. Las persianas están diseñadas para una aplicación externa y pueden montarse verticalmente en el frente de la ventana o proyectarse hacia afuera desde la parte inferior de la ventana. Otras persianas enrolladas o con bisagras se almacenan al lado de la ventana o se giran hasta alcanzar su posición para controlar el sol, brindar privacidad, y por razones de seguridad.

1.5.2.2 BARRERAS TERMICAS

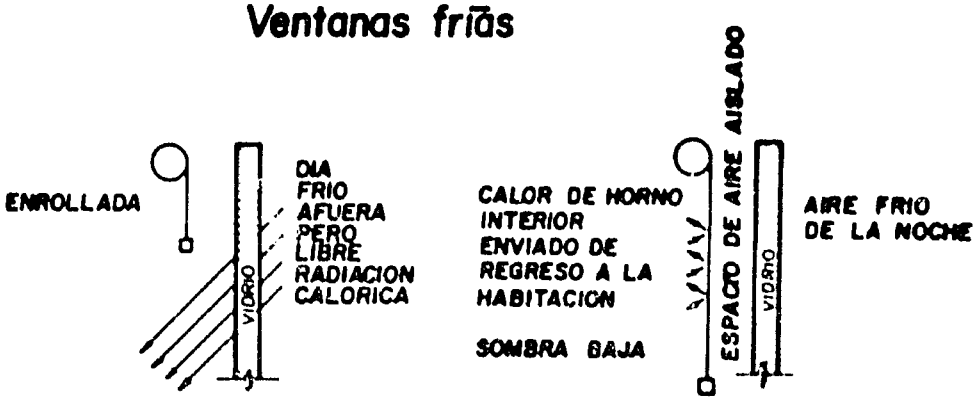
SOMBRA AISLADORA,PARA VENTANA (MULTICAPAS).

Una sombra para ventana de múltiples capas que se guarda en un rollo compacto y utiliza espaciadores para separar las capas plásticas aluminizadas en una posición desplegada, crea así una serie de espacios muertos de aire. Sombra de cinco capas combinada con vidrio aislante, proporciona una resistencia térmica R8.

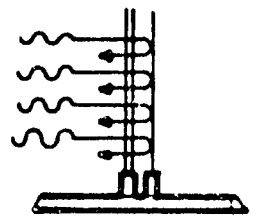
Ventanas calientes



Ventanas frías

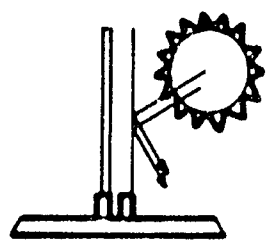


INVIERNO



75° EN EL INTERIOR 50° EN EL EXTERIOR

VERANO



75° EN EL INTERIOR 105° EN EL EXTERIOR

El espacio de aire aisla el calor del vidrio

SOMBRA AISLADORA PARA VENTANA (Sombra Térmica).

Esta barrera térmica para ventana es una sombra enrollada compuesta de láminas PVC rígidas, que virtualmente no permiten ninguna fuga de aire a través de las juntas conectoras. El sistema de desvío lateral reduce la infiltración de la ventana. Se diseñan para instalación interior y ser operadas en forma manual o automática.

SOMBRA AISLANTE PARA VENTANA.

Está compuesta de dos superficies exteriores de tela y de dos capas de material sintético de fibra de poliéster en el interior alrededor de las cuales existe una barrera de vapor reflectiva. Las capas exteriores están soldadas ultrasónicamente. Las aristas de la sombra se encuentran dentro de un carril para reducir la infiltración. Al agregarle a una ventana esta sombra brinda una resistencia R4.5 para una ventana con vidrio sencillo, o R5.5 para una ventana con vidrio doble.

LAMINADO DE CONTROL SOLAR PERFORADO (Reflectivo)

Es un laminado de película de poliéster metalizada impermeable con vinilo negro. Se perfora con 225 agujeros/pulgada cuadrada, que suministra un 36% de área abierta. Disponible en una variedad de colores metálicos y no metálicos, los coeficientes de oscurecimiento varían desde 0.30 a 0.35 para pantallas montadas exteriormente y entre 0.37 a 0.45 para el material adherido a la superfice interior del vidrio. El laminado se monta típicamente en pantallas con marcos de aluminio que se cuelgan exteriormente, separados varias pulgadas de la ventana; también puede utilizarse una forma enrollada. Puede esperarse alguna reducción en el valor de U en invierno con las aplicaciones externas.

SOMBRAS SEMI-TRANSPARENTES PARA VENTANAS.

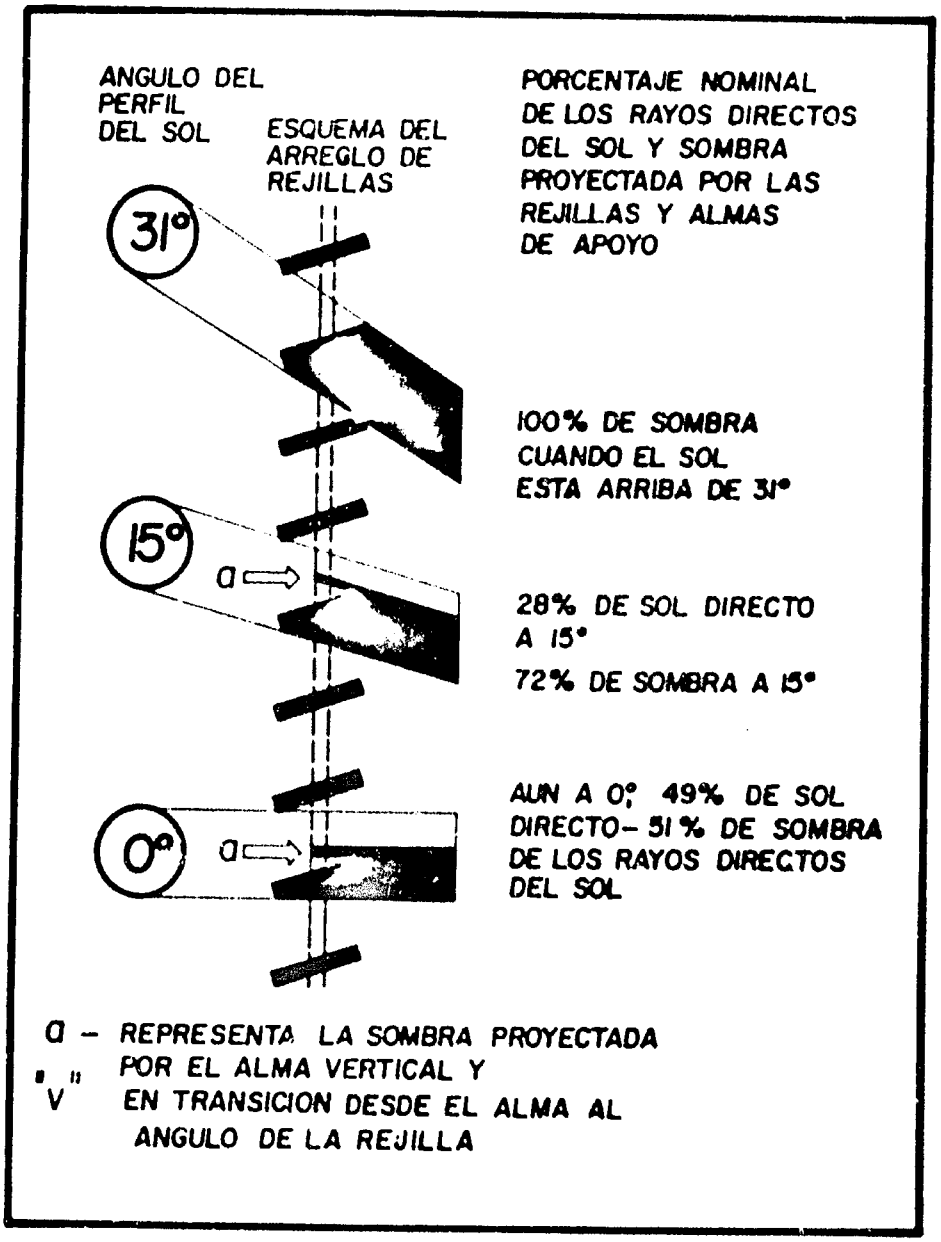
Sombras enrolladas para ventanas fabricadas de una variedad de laminados de película teñida o reflectiva para control solar. Estas sombras proporcionan la mayor cantidad de beneficios de la película de control solar aplicadas directamente al vidrio, brindando flexibilidad adicional ya que pueden ser retiradas o replegadas en días con cielo cubierto o cuando se desea obtener una ganancia calórica solar. Las sombras están disponibles con dispositivos de manejo con resortes y operadas por gravedad (cordón y carrete) así como existen opciones con motor. Los coeficientes de sombra tan bajos como 0.13 se pueden obtener y una sombra totalmente ajustada suministra un espacio de aire adicional, reduciendo así el valor de U.

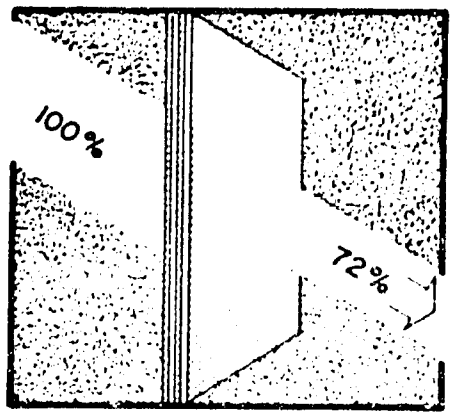
PANTALLAS SOLARES DE REJILLAS DE METAL.

La pantalla solar consiste de un conjunto de pequeñas rejillas que se forman de hojas de aluminio delgado. La hoja de aluminio rejillado se instala entonces en marcos convencionales de cedazo que pueden montarse contra una ventana en lugar de un cedazo corriente contra insectos, o puede montarse fuera del edificio para proporcionar una libre circulación del aire alrededor de la ventana. Se mantiene una vista hacia afuera mientras se reduce substancialmente la ganancia solar. Disponible en verde claro o con un acabado negro con coeficientes de obscurecimiento de 0.21 ó 0.15, respectivamente.

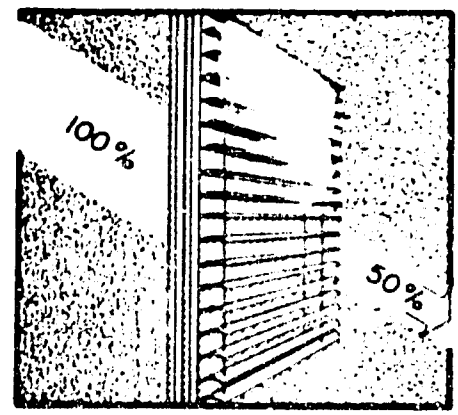
PERSIANAS OPERABLES DE REJILLA EXTERIOR.

Persianas de rejillas para control solar, montadas en el exterior del edificio, que pueden ser controladas manual o automáticamente por sensores solares y de viento. Las tablillas pueden inclinarse para modular la luz, pueden cerrarse completamente, o pueden ser retiradas para permitir

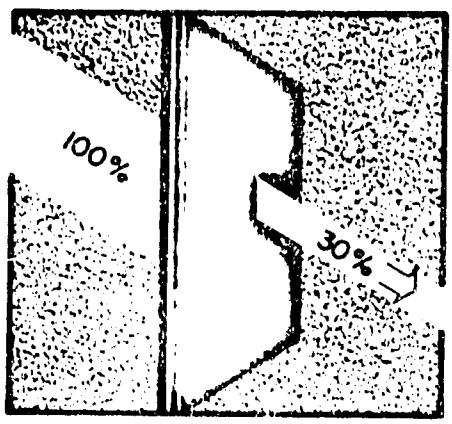

ANGULO DEL PERFIL DEL SOL
ESQUEMA DEL ARREGLO DE REJILLAS
PORCENTAJE NOMINAL DE LOS RAYOS DIRECTOS DEL SOL Y SOMBRA PROYECTADA POR LAS REJILLAS Y ALMAS DE APOYO
31°
100% DE SOMBRA CUANDO EL SOL ESTA ARRIBA DE 31°
15°
a
28% DE SOL DIRECTO A 15°
72% DE SOMBRA A 15°
0°
a
AUN A 0°, 49% DE SOL DIRECTO- 51% DE SOMBRA DE LOS RAYOS DIRECTOS DEL SOL
a - REPRESENTA LA SOMBRA PROYECTADA POR EL ALMA VERTICAL Y
"V" EN TRANSICION DESDE EL ALMA AL ANGULO DE LA REJILLA



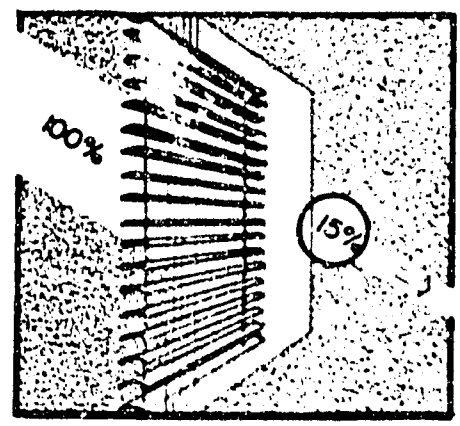
Vidrio claro doble
4 I 12 I 4



Vidrio claro doble más
persiana interior



Vidrio de reflexión



Vidrio claro doble más
persiana exterior

Figura I-20 Persianas Venecianas
Exterior tipo "L"

el paso de luz total y de calor. Desarrolladas y usadas ampliamente en Europa, proporcionan control del sol en verano, control de la luz natural, y reducción de la pérdida de calor en invierno.

PANTALLAS SOLARES CON REJILLAS DE METAL.

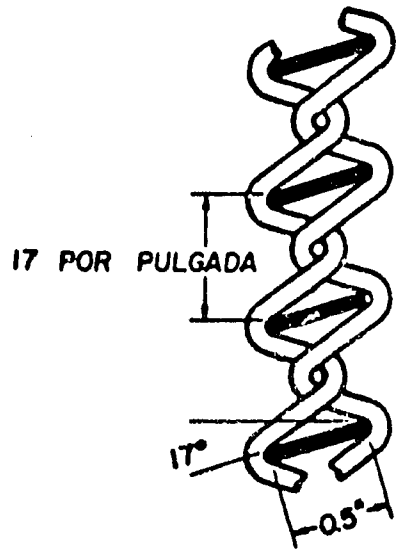
La pantalla solar consiste de un conjunto de pequeñas rejillas arregladas horizontalmente unidas por medio de un enlazado en los extremos. Las rejillas están inclinadas a 17° para proporcionar control del sol. El material de la pantalla se coloca en marcos metálicos que pueden ser instaladados en forma permanente en una variedad de configuraciones o ser diseñados para poderse quitar. Las pantallas instaladas tienen una considerable resistencia al viento y a los impactos. El producto estándar (o normal), de 17 rejillas por pulgada, tiene un coeficiente de obscurecimiento de 0.23; una variante baja del ángulo solar (23 rejillas/pulgada) tiene un coeficiente de obscurecimiento de 0.15. Se han medido reducciones modestas del valor de "U" en invierno.

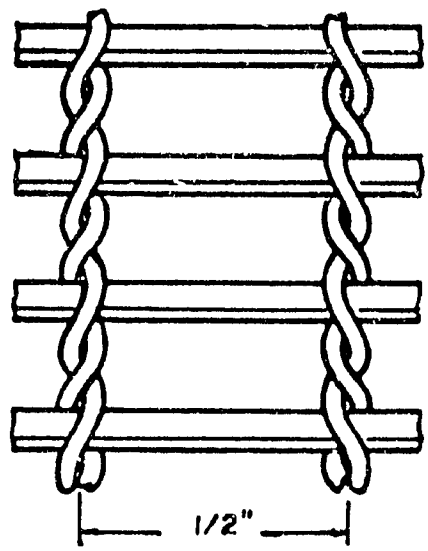
PELICULA AISLADORA DE CONTROL SOLAR.

Una película modificada diseñada para ser adherida al interior de las ventanas proporciona una función convencional de control solar y tiene propiedades aislantes enormemente mejoradas. La emisividad de la película es de 0.23 - 0.25 resultando un valor de U de 0.68 Btu/pie^2 h- °F bajo condiciones invernales, comparado con 0.87 para películas convencionales de control solar y 1.1 para típicas ventanas típicas con vidrio sencillo.

CONTRAVIDRIERA INTERIOR.

"Hágala usted mismo", con un panel rígido de plástico de bajo costo. Puede quitarse para ser limpiada y ponerse durante el verano. Reduce las pérdidas por infiltración así como la transferencia conductiva/convectiva de calor.





Vista Aumentada

SISTEMA CON VIDRIO AISLANTE.

El vidrio sencillo se convierte en doble adheriéndole una hoja extra de vidrio con sellador con neopreno. Un espaciador desecante con relleno de aluminio absorbe la humedad entre las hojas. Un alambre eléctrico de resistencia empotrado en el neopreno se calienta con una fuente especial de electricidad; esto hace que la ventana se selle herméticamente. Si se desea puede colocarse una nueva moldura.

1.5.2.3 INFILTRACION

CINTA PARA SELLOS

Es una película de polipropileno que doblada sobre su línea central (en forma de "V") puede aplicarse para sellar grietas alrededor de las puertas y ventanas ya que tiene un adhesivo sensible a la presión en esa posición. En una ventana de guillotina promedio reducirá la infiltración por encima de un 70%. Puede aplicarse tanto a superficies finas como ordinarias.

1.6 DISEÑO DE EDIFICIOS SOLAR-PASIVOS

Un sistema solar pasivo se define como aquel en el cual la energía térmica fluye por medios naturales. Los ejemplos de diseño de edificios solares incluyen:

- Los invernaderos solares que se construyen al sur de los edificios. Estos pueden producir del 60 al 100% de los requerimientos de calefacción y enfriamiento.

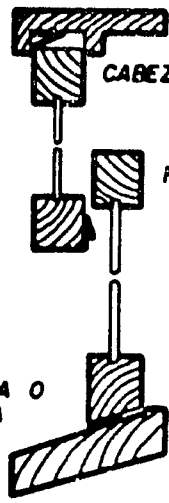
- Los edificios subterráneos que usan temperatura de suelo para suministrar los requerimientos de temperatura durante todo el año.

- Ventilación natural aumentada a través de chimeneas solares .

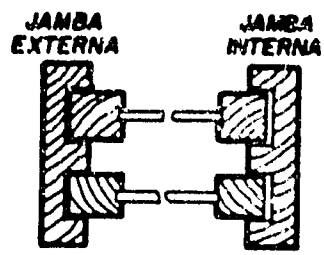
MONTURA DE JAMBA

PUERTAS

MONTURA TOPE



VENTANAS



Aplicaciones Típicas de Sellos

En estos ejemplos y en otros sistemas pasivos se puede realizar el trabajo (calentamiento y enfriamiento) por medios naturales tales como flujos de gravedad, termosifones, etc.

Para estudiar la forma cómo reacciona el edificio a las cargas, su efecto de almacenamiento, etc., se usan muchas veces simulaciones computarizadas. Una de ellas se describe a continuación:

"PEGFIX" - Predice la demanda auxiliar de calor y exceso de calor disponible en un espacio con temperaturas de aire máximo y mínimo definidas para el usuario. El programa es directamente útil en la clasificación por tamaño y especificación de los componentes del sistema y del equipo auxiliar. Los resultados almacenados por PEGFIX son: La carga total auxiliar de calefacción, el exceso de calor disponible, la tasa máxima del ventilador para remover el calor excesivo, y la carga máxima auxiliar por hora.

"PEGFLOAT" Predice las temperaturas del aire y de la masa de almacenaje por hora en un espacio sin entrada auxiliar de calor o remoción del exceso de calor. Su propósito es evaluar las pérdidas de temperatura en un modo de operación 100% dependiente del sol. Este programa puede examinar las orientaciones vidriadas no sureñas con valores por hora para insolación para el usuario específico. PEGFLOAT almacena automáticamente el aire máximo y mínimo y las temperaturas de almacenamiento del sistema modelado.

Ambos programas requieren unas cuantas entradas usuario-definidas en relación con el diseño del edificio y el clima local: coeficientes de pérdidas calóricas; capacidad térmica efectiva y área superficial de almacenamiento; energía solar disponible, fracción de almacenaje y fracción al aire; temperatura exterior promedio y variación diaria. Los programas diferencian los valores de las pérdidas calóricas del día y la noche, y pueden automáticamente hacer una proporción de la insolación de un día. Cada uno puede ejecutarse a través de un día de 24 horas, sin interacción del usuario, de cinco a nueve minutos. Los valores por hora de las temperaturas del aire y del almacenaje, y el calor auxiliar o excesivo, pueden exhibirse sin interrumpir la ejecución del programa. Una exhibición opcional por hora no afecta el almacenamiento de datos.

1.7 REDUCIENDO EL AIRE ESTRATIFICADO

Tal como se indica en este capítulo, deberán tomarse en cuenta las consideraciones del HVAC y de la envoltura del edificio . Un ejemplo del enfoque de este sistema ocurre cuando la estratificación del calor cerca del cielo raso es reducida.

Una manera de reducir la temperatura del aire cerca de los cielos rasos durante la estación de calefacción es utilizar un ventilador de circulación con una canalización o red de conductos conectados.

CASO 1-5

Coméntese sobre cómo reducir la temperatura del aire extratificado de 90°F a 75°F durante la estación de calefacción.

U = 0.10

Area = 20 000 pies cuadrados

Supóngase una temperatura exterior de 15°F y una salida de 20 000 CFM

ANALISIS

Una fórmula práctica para relacionar la pérdida calórica del aire de salida es:

Q = 1.08 Btu min./h, pie^3,° F x T

Antes del cambio

$Q_{conducción}$ = U A T = 0.10 x 20 000 x 75
= 150 000 Btu/h

Q_{CFM} = 1.08 x 20 000 x 75
= 1 620 000 Btu/h

Q_T = 1 770 000 Btu/h

Después del cambio en la temperatura de estratificación

Q_c =0.10 x 20 000 x 60 = 120 000 Btu/h

Q_{CFM} = 1.08 x 20 000 x 60
= 1 296 000 Btu/h

Q_T = 1 416 000 Btu/h

% de ahorro - estación de calefacción

$$= \left(100 - \frac{1\ 416\ 000}{1\ 770\ 000}\right) \times 100 = 20\%$$

CAPITULO 2

AUDITORIA DE CALEFACCION, VENTILACION Y AIRE ACONDICIONADO

La auditoría energética de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC = "Heating, Ventilation, and Air-Conditioning") es una parte muy importante en todo el programa. Las normas para HVAC, tales como la ASHRAE 90-75, persiguen el diseño de sistemas con rendimiento energético en las nuevas construcciones. Por otro lado, hasta este momento no hay normas para diseñar sistemas eficientes de calefacción, ventilación y aire acondicionado para edificios existentes.

El propósito de este capítulo es destacar las posibilidades de reducir o eliminar los costos, que deben ser investigadas en la auditoría energética de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. El material utilizado en esta sección se ha tomado de dos publicaciones: "Guidelines for Saving Energy in Existing Buildings-Building Owners and Operators Manual" (guías para el Ahorro de Energía en Edificios Existentes --Manual para Propietarios y Operadores de Edificios), ECM-1 y "Engineers, Architects, and Operators Manual" (Manual de Ingenieros, Arquitectos y operadores) ECM-2, ambos manuales fueron preparados para el gobierno de los Estados Unidos, por Fred S. Dubin, Harold L. Mindell y Selwing Bloome. Los volúmenes fueron originalmente publicados por "U.S. Department of Commerce National Technical Information Service" (Servicio Nacional de Información Técnica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América) PB-249928 y PB-249929, y pueden obtenerse del "Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office" (Superintendente de Documentos,

Tipografía del Gobierno de los Estados Unidos de América), Washington, D.C. 20402. Las referencias de los manuales ECM-1 y ECM-2 en este manual se refieren a la publicación original. El documento original publicado es uno de los trabajos más amplios escritos sobre la conservación de energía en edificios existentes. El autor considera esta obra como una de las más sobresalientes contribuciones en el campo de la auditoría energética.

Para usar los métodos directos descritos en este capítulo y en el capítulo que se refiere a auditoría energética en edificios (Capítulo 1), es necesario tener información sobre el clima local.

Además, el Apéndice contiene varias fórmulas de auditoría que pueden ser modificadas para adaptarse a necesidades particulares. A veces se requiere un enfoque técnico más detallado, el cual se logra a través de programas de computación, como los discutidos al final de este capítulo, o a través de cálculos. Para cálculos técnicos refiérase a "Cooling and Heating Load Calculations" (Cálculos de Carga de Enfriamiento y Calefacción). ASHRAE GRP 158, que se puede obtener de "American Society of Heating, Refrigeration and Airconditioning Engineers, Inc." (Asociación Americana de Técnicos de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), 345 East, 47th. Street, New York, N.Y. 10017. Información técnica meteorológica puede obtenerse en el respectivo Instituto Metereológico de cada país.

2.1 AUDITORIA DE SISTEMAS DE VENTILACION

Diversas reglamentaciones exigen una entrada de aire exterior que supere al mínimo requerido para diluir el dióxido de carbono y olores ambientales. Algunas localidades han adoptado la norma ASHRAE 62-73 para determinar los requisitos de entrada y descarga de aire. Esta norma establece un mínimo requerido de aire exterior por persona (SCFM). El significado de la palabra "ventilación" también ha cambiado como resultado de esta norma. "Ventilación" en efecto significa "suministro de aire exterior más aire recirculado que ha sido tratado para mantener la calidad deseada dentro de un espacio determinado."

Para llevar a cabo una auditoría energética del sistema de ventilación, deberán seguirse los siguientes pasos:

1. Medir el volumen de aire en las entradas de aire exterior del sistema de ventilación. Anotar esta información, así como los datos de la placa de identificación del motor del ventilador.

2. Comparar estos datos con las reglamentaciones locales.

3. Verificar si las variables superan a las normas de ventilación recomendadas, Tabla 2-1.

4. Determinar si las condiciones actuales son superiores a las mínimas necesarias y modificar el sistema.

TABLA 2-1

NIVELES DE VENTILACION RECOMENDADOS

1.	Edificios de Oficina (1)	
	Area de trabajo	5 CFM/persona
	Area de fumar	15 CFM/persona
	Vestíbulos	5 CFM/persona
	Cafetería	5 CFM/persona
	Salones de conferencias	15 CFM/persona
	Clínicas	5 CMF/persona
	Servicios Sanitarios	10 cambios de aire/hora
	Antesalas	0
	Espacios desocupados	0
2.	Tiendas (1)	
	Areas de venta	6 CFM/cliente
	Primer nivel con mucho movimiento de personas (menos de 5 000 pies cuadrados con puerta de una o dos hojas)	0
	Espacios desocupados	0
3.	Edificios religiosos (1)	
	Areas de culto	5 CFM/persona
	Salones de reunión	10 CFM/persona
	Espacios desocupados	0
4.	Mantenimiento (2)	2 cambios de aire/hora (temporada fría) 6 cambios de aire/hora (temporada cálida).

5.	Bodegas (2)	1 1/2-2 cambios de aire/hora (temporada fría) 5 cambios de aire/hora (temporada cálida)
6.	Tratamiento de Desechos (2)	4 cambios de aire/hora (temporada fría) 15 cambios de aire/hora (temporada cálida)

Fuentes de referencia:

(1) "Guidelines For Saving Energy in Existing Buildings - Building Owners and Operators Manual", (Guía para el Ahorro de Energía en Edificios Existentes - Manual para propietarios y operadores de edificios), ECM-1

(2) "Instructions for Energy Auditors" (Instrucciones para Auditores de Energía),Vol. 11, DOE/CS-00 41/13.

Nota: El dato de cambios/hora está basado en espacio sin aire acondicionado.

Para reducir la cantidad de pies cúbicos por minuto, (CFM), puede cambiarse la polea del ventilador. Gracias a este cambio, se logran dos clases de economía; en la siguiente forma:

- Reducción de la potencia necesaria para frenar el motor del ventilador.

- Reducción de la pérdida de calor durante el periódo de calefacción.

Para calcular la economía, se utilizan las fórmulas 2-1 y 2-2. La gráfica 2-2 puede también ser utilizada para calcular el ahorro de energía del ventilador, como resultado de la reducción del flujo de aire.

Fórmula (2-1)

$$HP\ (\text{Potencia reducida}) = HP \times \left[\frac{CFM\ (\text{reducidos})}{CFM\ (\text{anterior})} \right]^3$$

Fórmula 2-2

$$Q\ (\text{ahorrados}) = \frac{1.08\ Btu}{h\text{-}CFM\text{-}^{\circ}F} \times CFM\ (\text{ahorrados}) \times T$$

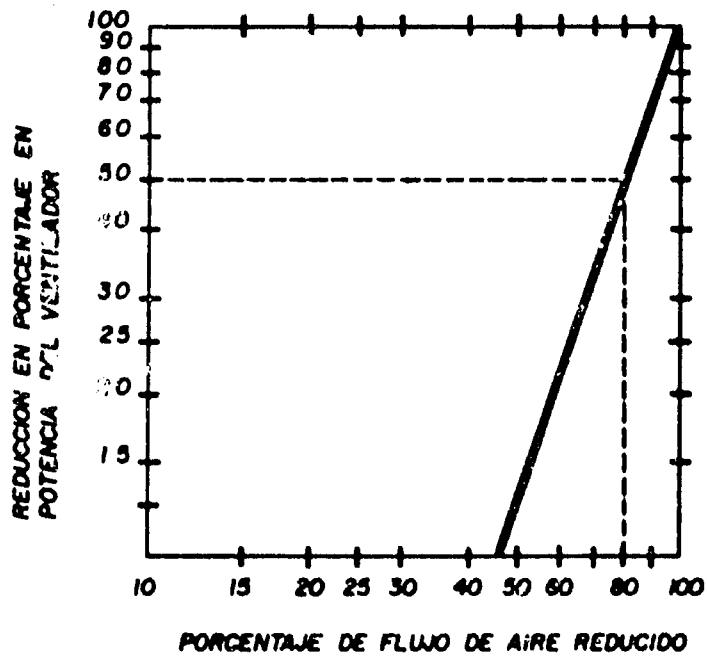
Fórmula 2-3

$$kW = HP\ (0.746/E)$$

En donde:

HP = Caballos de fuerza del motor
CFM = Pies cúbicos por minuto
T = Gradiente promedio de temperatura
kW = Kilovatios del motor (kW = 1 000 W)
E = Eficiencia del motor
Btu = British Thermal Unit (Unidad Térmica Inglesa)

Además de reducir el flujo de aire durante los periódos de utilización se deberá considerar la posibilidad de desconectar el sistema cuando no esté en uso.



Gráfica 2-2

Reducción de la Potencia lograda por medio de la disminución de la velocidad del ventilador (basada en las leyes del del funcionamiento de los ventiladores).

FUENTE: "NBS Handbook 115 Supplement I" (Manual NBS 115, Suplemento I).

Si el ambiente se enfría, se puede lograr una economía adicional.

La cantidad de energía requerida para enfriar y deshumedecer el aire de ventilación hasta hacerlo aceptable para la utilización en interiores se determina por la diferencia entálpica entre el aire exterior y el aire interior. Para calcular el ahorro de energía durante el periódo de enfriamiento, se utiliza la Gráfica 2-3.

CASO 2-1

Una auditoría energética indica que la ventilación en un área de almacenamiento puede ser reducida de cuatro a dos cambios por hora durante la temporada fría (240 días, 4200 días-grado).

Los cálculos del ahorro de energía se basarán en los siguientes datos:

- Dimensiones del edificio = Altura 20 pies x ancho 150 pies x Longitud 100 pies
- Temperatura interior = 70°F
- Potencia del motor = 20 HP
- Eficiencia eléctrica según Placa de Identificación: = 80%
- Costo de la energía = $4/10^6$ Btu, $0.05/kWh
- Horas de operación = 5 760 h/año
- Eficiencia de la caldera = 65%

ANALISIS

Volumen del área de almacenamiento =
20 pies x 150 pies x 100 pies = 300 000 pies^3

Volumen actual de aire =

$$\frac{4 \text{ cambios}}{h} \times 300\,000 \text{ pies}^3 \times \frac{1h}{60 \text{ min}} = 20\,000 \text{ CFM}$$

Volumen reducido de aire =

$$\frac{2 \text{ cambios}}{h} \times 300\,000 \text{ pies}^3 \times \frac{1h}{60 \text{ min}} = 10\,000 \text{ CFM}$$

Ahorro por la Reducción de Potencia:

Potencia reducida =
20 HP x $(2/4)^3$ = 2.5 HP
Ahorro de electricidad =
(20-2.5) HP x 0.746/0.80 x\$0.05/kWh x 5 760 h/año
= \$4 700/año

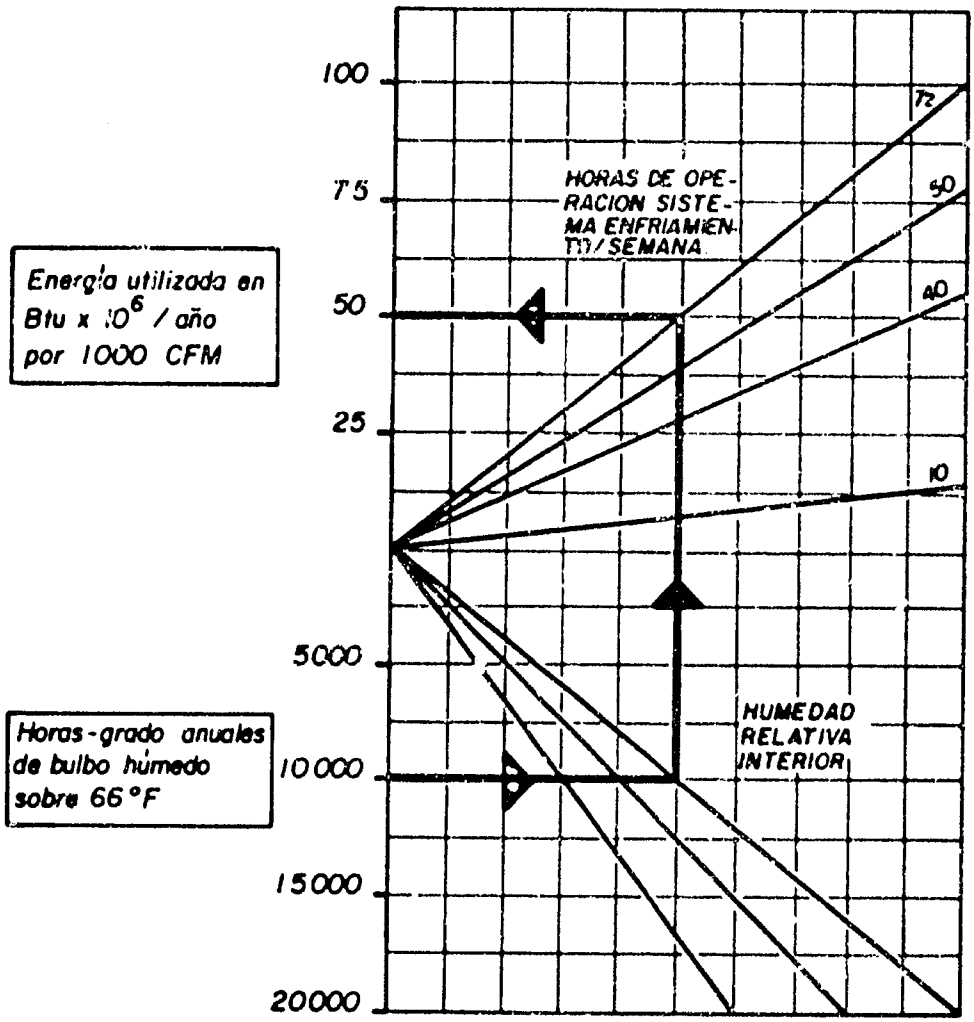
Ahorro por Reducción de la Pérdida de Calor

T promedio = 4 200 días-grado/240 días = 17.5°F
Promedio del exterior = 65 - 17.5 = 47.5°F

Temperatura durante las temporadas de calefacción
Sin calefacción = $\frac{1.08 \text{ Btu}}{\text{h-CFM-°F}}$ x CFM x T =

$$1.08 \frac{\text{Btu}}{\text{h-CFM-°F}} \times (20\,000 - 10\,000) \text{ CFM} \times 17.5°\text{F}$$

= 189 000 Btu/h



Gráfica 2-3 *Energía anual utilizada por cada 1000 CFM para mantener diversas condiciones de humedad.*

FUENTE: "Guidelines for Saving Energy in Existing Buildings - Building Owners and Operating Manual, ECM - 1".

Ahorro = 189 000 Btu/h x $4/10^6$ Btu/0.65 x

$$5\ 760\ \frac{h}{año} = \$\frac{6\ 700}{año}$$

Ahorro total anual = $ (4 700 + 6 700) = $11 400/año

CASO 2-2

Para el edificio del caso 2-1, calcule el ahorro en enfriamiento que resulta al reducir los cambios de aire por hora de 4 a 2.

Información de auditoría:

- Horas-Grado anuales de bulbo húmedo sobre 56°F = 8 000
- Humedad relative = 50%
- Horas de operación por semana del sistema de
- enfriamiento = 40 h
- Costo de electricidad = $0.05/kWh
- Consumo de regrigeración =0.8 kW/Ton-h

ANALISIS

De la Gráfica 2-3

La energía utilizada por año por 1 000 CFM es de 22.5×10^6 Btu

Energía ahorrada =

(20 000 - 10 000) CFM X 22.5×10^6 Btu/1 000 CFM =

$$= 225 \times 10^6\ \frac{Btu}{año}$$

Ahorro =

225 x 106 Btu/año x 0.80 kW/Ton-h x $0.05/kWh

12 000 Btu/Yon-h

= $750/año

2.2 AUDITORIA EN SISTEMAS DE TEMPERATURA

En varios países del área Centroamericana no existen regulaciones para los períodos de invierno y verano, por lo que se tomará como referencia los estipulados en los Estados Unidos, los cuales siguen un buen criterio de "confort", (tomando en cuenta el máximo ahorro), para países que tengan otras especificaciones de "confort" (las cuales serán similares), el cálculo a seguir es el mismo.

Calefacción durante el invierno: Los termostatos deberán fijarse en no más de 65 °F durante el día y no más de 55 °F durante la noche. El uso de calentadores eléctricos portátiles podrán utilizarse sólo si es necesario para mantener estos máximos.

Enfriamiento durante el verano: Los sistemas de aire acondicionado controlados, ya sea central o individualmente, serán operados a no menos de 80°F. También se debe tener cuidado de no dejar abiertas las puertas de las habitaciones con aire acondicionado y desconectar las unidades cuando no estén en uso.

La auditoría de los sistemas de temperatura debe incluir lo siguiente:

- Determinar el nivel de temperatura interior para cada ambiente y temporada.
- Determinar ambientes que están desocupados.
- Verificar si las temperaturas sobrepasan los "Niveles Recomendados de temperatura", Tablas 2-4 y 2-5.
- Modificar los niveles de temperatura, volviendo a fijarse manualmente los termostatos, instalando relojes o controles de ajuste.
- Apagar los sistemas de enfriamiento usados en el verano, durante las horas en que no se utilizan.

- Hacer pruebas para la determinación de la temperatura modificada óptima.
- Bajar los niveles de temperatura de los ambientes ocupados basándose en los "Niveles Recomendados de Temperatura", Tablas 2-4 y 2-5.

Se deberán observar los niveles reglamentados (si existieran) tanto estatales como federales,ya que el cambiar las temperaturas durante los periódos de trabajo podría ocasionar problemas laborales.

Otros aspectos que deberán considerarse al modificar el nivel de la temperatura durante horas hábiles son los siguientes:

1. En las áreas de almacenamiento, donde la presencia de personas es poco frecuente, el principal punto a considerar es la protección contra congelamiento del equipo y de la tubería.

2. Considerar la posibilidad de mantener la temperatura en los espacios superiores de las escaleras aproximadamente en 55°F durante el invierno.

3. Bajar la temperatura durante el invierno en aquellas áreas donde las personas generalmente utilizan ropa de calle (como en las tiendas).

ECONOMIA QUE SE LOGRA CON LA MODIFICACION

La Gráfica 2-6 y Tabla 2-7 pueden usarse para estimar la economía obtenida al modificar los niveles de temperatura durante el invierno y el verano; respectivamente.

TABLA 2-4

TEMPERATURAS INTERIORES RECOMENDAS
PARA LA TEMPORADA FRIA

	A °F Máximos de bulbo seco en horas hábiles	B °F de bulbo seco en horas inhábiles (Reducción)
1. EDIFICIOS DE OFICINAS RESIDENCIAS, ESCUELAS		
Oficinas, aulas, áreas habitadas	68°	55°
Pasillos	62°	52°
Bodegas	50°	50°
Cafeterías	68°	50°
Cuartos de equipo mecánico	55°	50°
Areas habitadas de almacenamiento, gimnasios	55°	50°
Auditorios	68°	50°
Cuartos de computación	65°	Según se requiera
Antesalas	65°	50°
Clínicas	68°	58°
Servicios sanitarios	65°	55°
Estacionamientos	Sin calefac.	Sin calefac.

Continuación Tabla 2-4

2. TIENDAS

Tiendas de departamentos	65°	55°
Supermecados	60°	50°
Farmacias	65°	55°
Carnicerías	60°	50°
Almacenes de ropa (excepto vestidores)	65°	55°
Joyerías, ferreterías, etc.	65°	55°
Bodegas	55°	50°
Muelles y Plataformas	Sin calefac.	Sin calefac.

3. EDIFICIOS RELIGIOSOS

		Menos de 24 horas	Más de 24 horas
Sala[illegible] reunión	68°	55°	50°
Salones de culto	65°	55°	50°
Todos los demás ambientes	Igual a lo incado para edificios de oficinas		

Fuente de Referencia: "Guidelines for Saving Energy in Existing Buildings--Building Owners and Operators Manual, ECM-1"

TABLA 2-5

TEMPERATURAS Y NIVELES DE HUMEDAD INTERIORES RECOMENDADOS PARA LA TEMPORADA CALIDA

1. PASILLOS COMERCIALES	Horas hábiles Temperatura de Bulbo Seco*	Humedad Relativa Mínima
Oficinas	78°	55%
Pasillos	Sin control	Sin control
Cafeterías	75°	55%
Auditoriums	78°	50%
Cuartos de computación	75°	Según necesario
Antesalas	82°	60%
Clínicas	78°	55%
Servicios sanitarios	80°	
Bodegas y cuartos de equipo.	Sin control	Sin control
Estacionamientos	No enfríe ni deshumedezca	

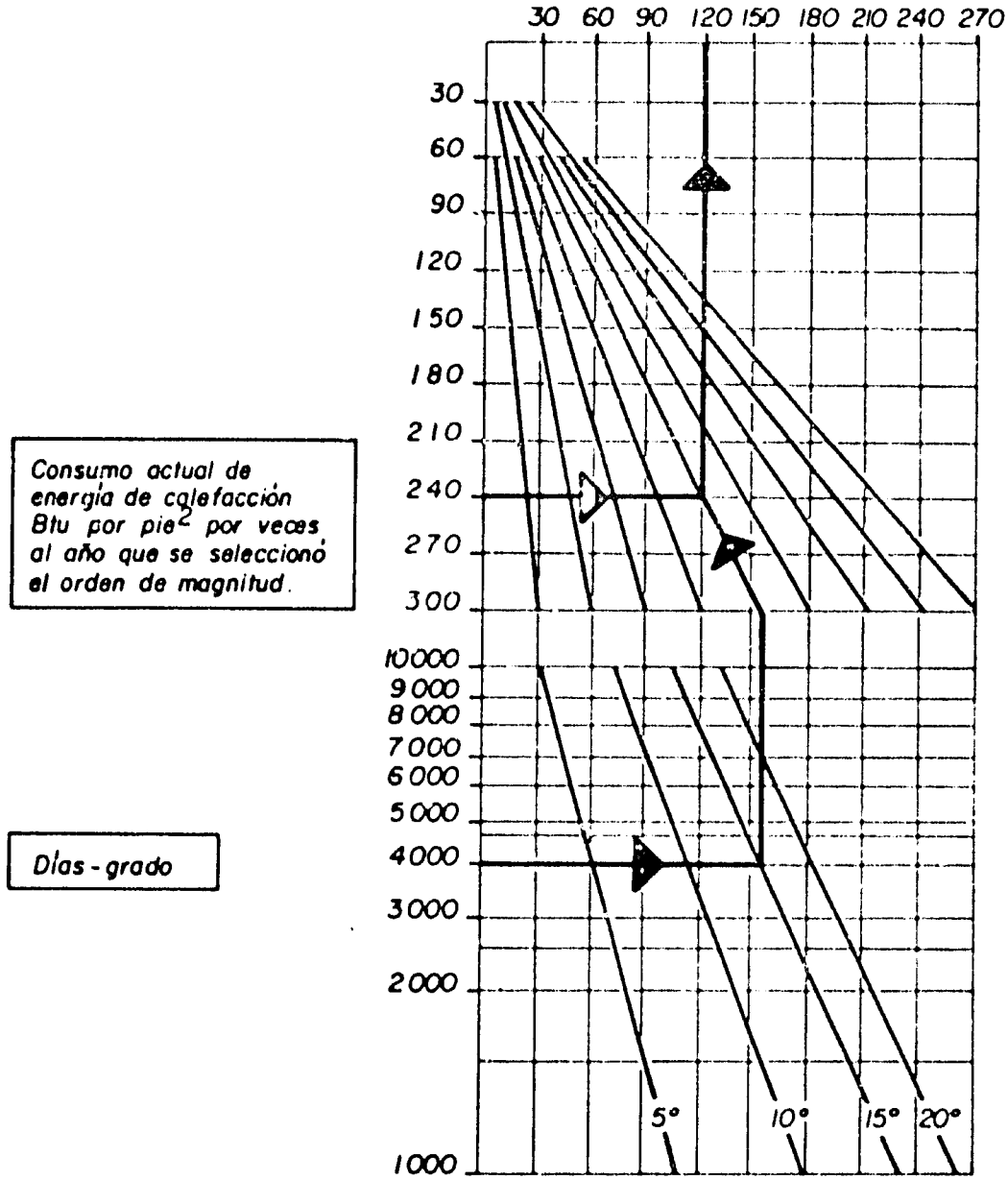
2. TIENDAS	Horas hábiles Temperatura de bulbo seco	Humedad relativa
Tiendas de departamentos	80°	55%
Supermercados	78°	55%
Farmacias	80°	55%

Continuación Tabla 2-5

Carnicerías	78°	55%
Almacenes de ropa	80°	55%
Joyerías	80°	55%
Estacionamientos	No enfríe	

*Excepto en los lugares donde se usan sistemas terminales de recalentamiento. Cuando hay sistemas terminales de recalentamiento, las condiciones de los ambientes interiores deben mantenerse a niveles más bajos para reducir el nivel de recalentamiento. Si no se necesita energía de enfriamiento para mantener las temperaturas, el nivel recomendado es de 74°F en lugar de 78°F.

Fuente de referencia: "Guidelines For Saving Energy in Existing Buildings-Building Owners and Operators Manual, EMC-1."



Gráfica 2-6 Energía Economizada

FUENTE: "Guidelines for Saving Energy in Existing Buildings - Building Owners and Operators Manual, ECM-1".

TABLA 2-7

EFECTO AL AUMENTAR LA TEMPERATURA DE BULBO SECO

Humedad relativa	50%	60%	70%
Temperatura de bulbo seco		Btu/hora/ 1000 CFM	
72°F	0	0	0
73°F	2 700	2 433	3 000
74°F	2 657	2 400	3 257
75°F	3 000	2 572	3 000
76°F	3 000	2 572	3 000
77°F	3 000	2 572	3 429
78°F	3 000	2 572	3 429

Fuente de Referencia: "Guidelines For Saving Energy in Existing Buildings--Building Owners and Operators Manual, ECM-1."

Utilización de la Gráfica 2-6:

1. Determine los días-grado para la localidad

2. Calcule los Btu/pie^2 año utilizados para la calefacción.

3. Trace una línea horizontal desde los días-grado especificados hasta la intersección de la temperatura modificada. Extienda la línea verticalmente y prosiga a lo largo de las líneas oblícuas como se observa en la Gráfica.

4. Trace una línea horizontal desde la especificación de Btu/ pie^2 año en el eje horizontal superior.

Utilización de la Table 2-7

1. Agregue los Btu/h/1000 CFM para cada inicio de temperatura.

2. Inicie con una temperatura por encima del nivel original fijado.

3. Agregue los incrementos para cada nivel fijado de temperatura, hasta que se alcance el nuevo nivel.

CASO 2-3

En una auditoría energética se determinó que el nivel de temperatura en el edificio puede ser modificado en 20°F durante las horas inhábiles. Los cálculos del ahorro de energía se basarán en los siguientes datos:

- Días-grado de calefacción	= 6 000
- Consumo actual de calor	= 60 000 Btu/pie^2-año
- Area	= 100 000 pies^2
- Costo de la energía	= \$4/10^6 Btu
- Eficiencia de caldera	= 0.65

ANALISIS

De la Gráfica 2-6:

El ahorro de energía es de 36 000 Btu/pie^2-año

$$\text{Ahorro} = 36\,000 \frac{\text{Btu}}{\text{pie}^2\text{-año}} \times \$4/10^6 \text{ Btu} \times 10 \text{ pies}2/0.65$$

$$= \$22\,154/\text{año}$$

CASO 2-4

En una auditoría energética se determinó una temperatura interior de bulbo seco de 73°F en el verano. Se determinó elevar el nivel a 78°F. Los cálculos del ahorro de energía se basarán en los siguientes datos:

- Aire total que ingresa del exterior = 15 000 CFM
- Humedad relativa = 50%
- Horas de operación = 40 h/semana
- Temporada cálida = 20 semanas/año
- Horas-grado anuales de bulbo
- húmedo sobre 66°F, BH = 6 000

ANALISIS

De acuerdo a la Tabla 2-7, al elevar la temperatura de 73°F a 78°F se obtendrá el siguiente ahorro total:

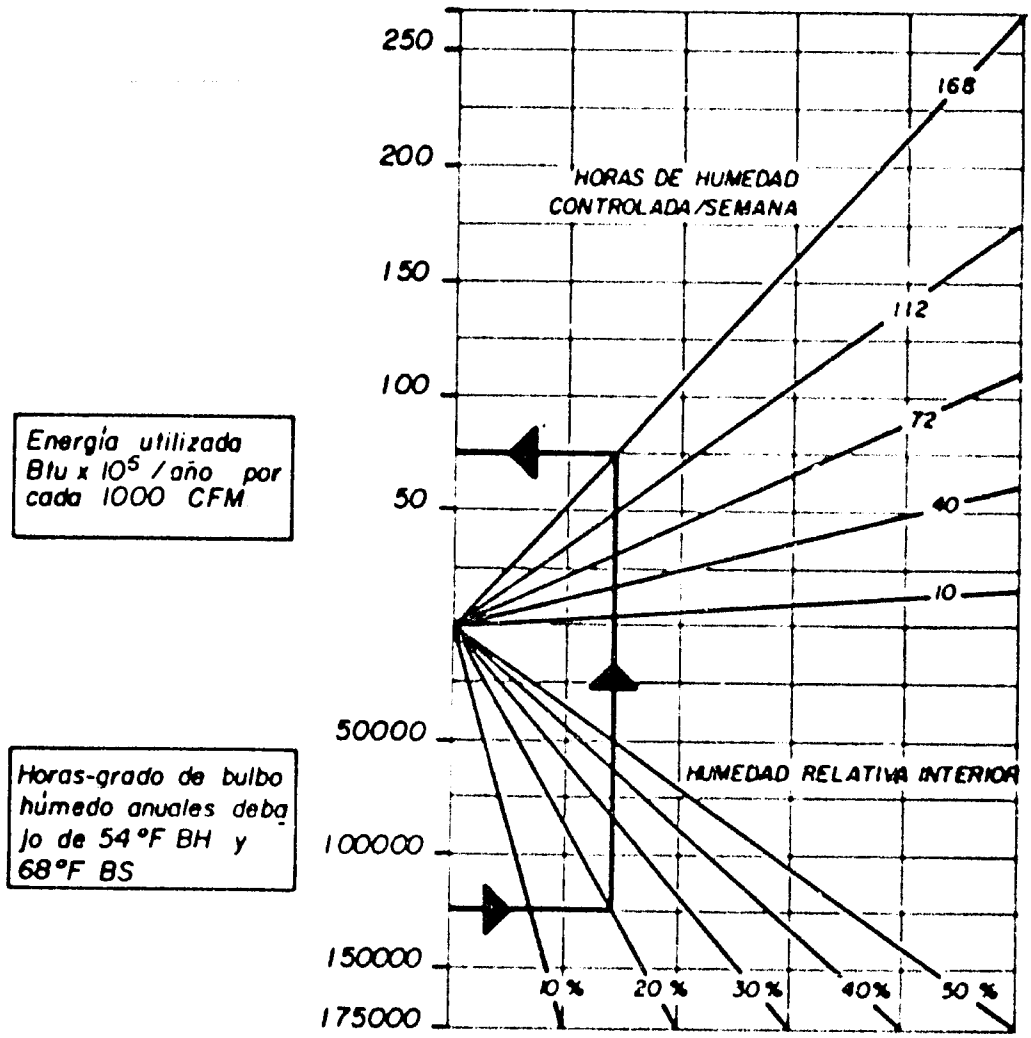
74	2 656
75	3 000
76	3 000
77	3 000
78	3 000
Total	14 656 Btu/h/1 000 CFM

Ahorro= 14 656 Btu/h/1000 CFM x 15 000 CFM x $4/10^6$ Btu/0.65 x 40 horas/semana x 20 semanas/año

= $1 082/año

2.3 AUDITORIA EN LOS SISTEMAS DE HUMIDIFICACION

Los niveles de humedad requeridos se logran por medio de la vaporización de agua en el aire seco de ventilación. Se necesitan aproximadamente 1000 Btu para evaporar una libra de agua. Para ahorrar energía, los sistemas de humidificación no deberán utilizarse durante las horas inhábiles. La mayoría de los sistemas de humidificación se usan para mantener la comodidad y la salud de los ocupantes, evitando que la madera se raje y preservando los materiales. Se sugiere que se mantenga una humedad relativa del 20% en todos los ambientes ocupados por más de cuatro horas al día. Si surgen golpes de estática o si se presentan reclamos, aumente los niveles de humedad en incrementos de 5% hasta determinar el nivel apropiado para cada área. La Gráfica 2-8 puede utilizarse para evaluar el ahorro durante el invierno al bajar los niveles de humedad relativa requerida.



Gráfica 2-8 Energía anual utilizada por cada 1000 CFM para mantener varios niveles de humedad.

FUENTE: "Guidelines for Saving Energy in Existing Buildings - Building Owners and Operators Manual, ECM - 1".

CASO 2-5

En una auditoría de energía en los niveles de humidificación se obtuvieron los siguientes resultados:

- Nivel del aire exterior más infiltración	10 000 CFM
- Horas-grado de bulbo húmedo anuales, debajo de 54°BH y 68°F	65 000
- Costo de combustible	$4/10^6$Btu
- Eficiencia de caldera	65%
- Tipo	Tienda de departamentos 112 horas hábiles por semana.

Determinar la economía al disminuir la humedad relativa del edificio de 50% a 30%, durante la temporada fría.

ANALISIS

De la Gráfica 2-8

Energía utilizada a 50% HR =
65 x 10^6 Btu/año para 1 000 CFM

Energía utilizada a 30% HR =
35 x 10^6 Btu/año para 1 000 CFM

Energía ahorrada =
(65-35)x 10^6x 10 = 300 x 10^6 Btu/año
Ahorro =
$300 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{año}} \times \$4/10^6 \text{ Btu}/0.65 = \$1\ 846/\text{año}$

Para el caso de la temporada cálida revisar si los niveles están de acuerdo con la Tabla 2-5. Los niveles de humidificación más altos de lo requerido durante la temporada cálida desperdician energía. La Gráfica 2-9 podrá utilizarse para estimar el ahorro logrado al mantener un nivel más alto de %HR.

CASO 2-6

Determinar la economía conseguida al aumentar la humedad relativa de 50% a 70% en base a los siguientes datos obtenidas en una auditoría:

- Horas-grado de bulbo húmedo	
- anuales sobre 66°F	8 000
- Operación por semana	40 horas
- CFM del exterior	20 000
- Consumo de refrigeración	0.80 kW/Ton-h
- Costo de electricidad	$0.05/kWh

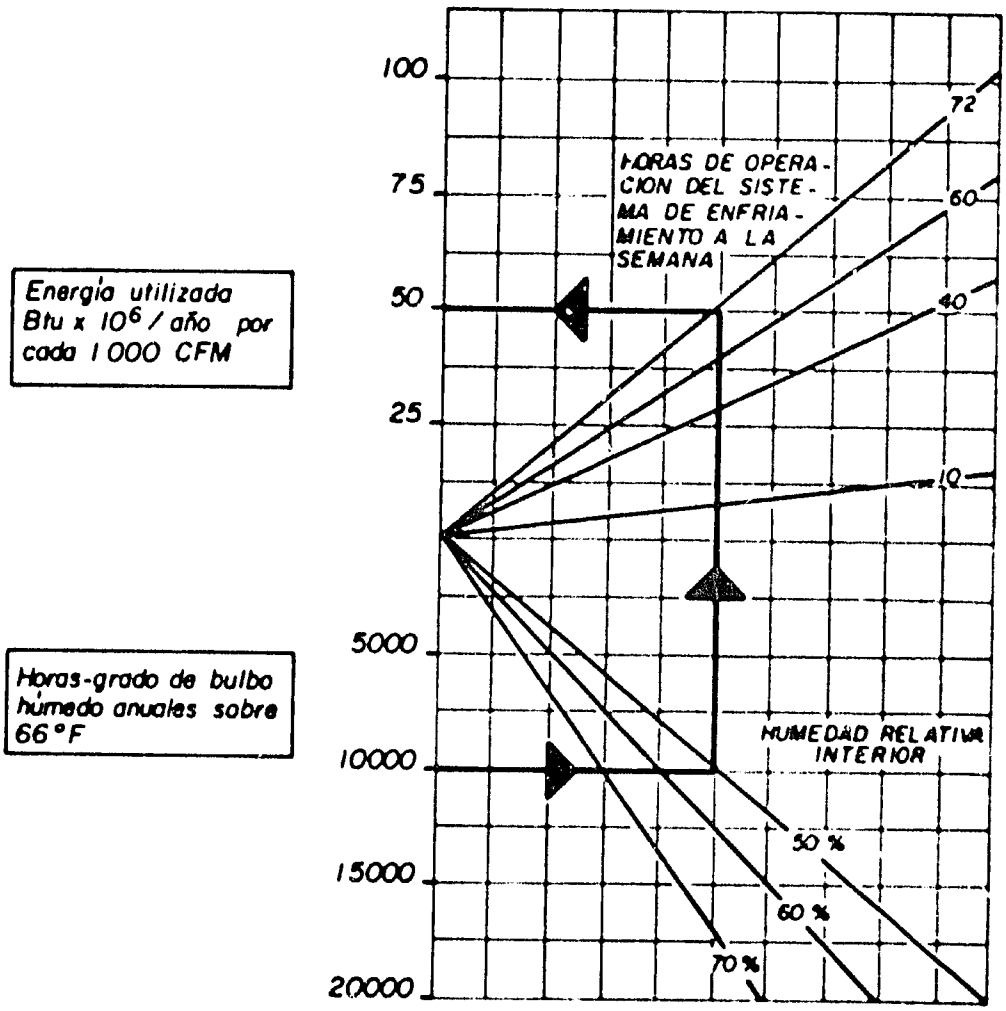
ANALISIS

De la Gráfica 2-9

Energía utilizada con 50% HR =
22.5×10^6 Btu/año por 1 000 CFM

Energía utilizada con 70% HR =
16×10^6 Btu/año por 1 000 CFM

Energía ahorrada =
$(22.5 - 16) \times 10^6 \times 20 = 130 \times 10^6$ Btu/año
Ahorro =
130 x 106 Btu/año x 0.80 kW/Ton-h x $0.05/kWh =
12 000 Btu/Ton-h
$433/año



GRAFICA 2-9 *Energía utilizada anualmente por cada 1000 CFM para mantener varios niveles de humedad.*

FUENTE: "Guidelines for Saving Energy in Existing Buildings - Building Owners and Operators Manual; ECM-1".

2.4 ANALISIS POR MEDIO DE COMPUTADORA

El análisis por computadora es un importante método de diseño dentro del proceso de la auditoría energética. Los cálculos de carga están basados en condiciones estacionarias. Estas generalmente se basan en condiciones máximas o mínimas y proporcionan razonables indicaciones para determinar el tamaño del equipo. Sin embargo, no indican cómo va a funcionar el sistema. Probablemente las mayores posibilidades de ahorro se presentan bajo condiciones de carga parcial.

Los programas de computación simulan el consumo de energía en base a información almacenada sobre el clima; esto permite la elaboración de um amplio informe energético mensual para determinar el funcionamiento óptimo del sistema. Se puede analizar el sistema completo, incluyendo iluminación, calefacción, ventilación, y aire acondicionado y estructura del edificio. Al considerar todos estos parámetros, se pueden investigar las opciones.

Al final de este capítulo se describen en la Tabla 2-10 varios programas que se pueden obtener de: "Professional Services Division, Control Data Corporation, P.O. Box 7090, Sunnyvale, CA 94086".

El programa de computación "Energy Analysis" (Análisis Energético), aprobado por el Gobierno de Canada, se puede obtener de "Ross F. Meriwether & Associates, San Antonio, Texas".

Otro de los programas ampliamente utilizados es el "Trace", distribuido por "Thane Co., La Crosse, WI".

Debe observarse que muchas veces el mismo programa se puede obtener de varias fuentes, como sucede con el programa "NBSLD", que puede adquirirse directamente del "National Bureau of Standards" (Oficina Nacional de Normas).

La Tabla 2-11 (al final del capítulo) menciona una lista de los programas de computación, de acuerdo al tipo de programa, con una breve descripción (o nombre) del programa y nombre del autor de éste.

2.5 RECUPERACIÓN DE CALOR

La auditoría energética de calefacción, ventilación y aire acondicionado debe analizar las posibilidades de recuperar energía. Varios sistemas, como la rueda de calor, los intercambiadores de calor aire a aire, los tubos isotérmicos y la recirculación, pueden utilizarse para recuperar el calor eliminado por el escape de gases. Ejemplos de estos sistemas se muestran en la Figura 2-12.

REGENERADOR ROTATIVO

Es un rotor intercambiador de calor accionado por medio de un motor, con empaquetadura de material absorbente del calor, tal como el material cerámico. Mientras el rotor gira por la acción del motor, el calor es transferido de un ducto a otro.

RECUPERADOR DE PLACAS

El intercambiador de calor de placas está formado por una caja de acero abierto por un extremo, dividida en múltiples canales estrechos. Cada conducto transportará alternadamente aire de salida y aire de entrada. La energía se transfiere por medio de la conducción a través de las paredes de la placa.

TUBOS DE CALOR

Un tubo de calor se instala a través de las paredes adyacentes a los ductos de entrada y salida; consiste de un tubo (serie de tubos) de cobre, sellado en ambos extremos. Dentro de este hay una mecha porosa de forma cilíndrica y una carga refrigerante. Su operación está basada en una diferencia de temperatura entre los dos extremos de la tubería, la cual hace que el líquido de la mecha se traslade

al extremo más caliente, evaporándose, absorbiendo el calor. Cuando el vapor del refrigerante regresa a través del espacio central de la mecha, hacia el extremo más frío, libera el calor, se condensa y el ciclo se repite.

RECIRCULACION DE LOS SERPENTINES

El ciclo de recirculación transfiere energía contínuamente del flujo de salida al flujo de entrada, recirculando un líquido que transfiere calor, como el etilenglicol, entre los dos serpentines de los ductos.

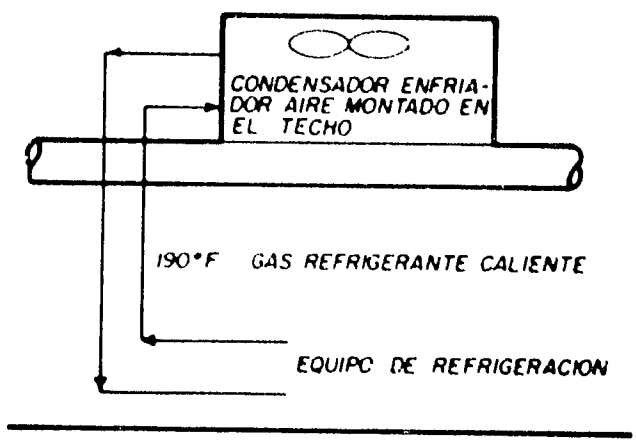
Durante el invierno, el aire caliente de salida pasa a través de los serpentines y transfiere calor al etilenglicol. El fluido es bombeado hacia el serpentín de entrada de aire, donde se precalienta el aire que entra. El sistema es más eficiente durante el invierno, pero alguna recuperación se logra también durante el verano.

2.6 CALOR RECUPERADO EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACION

El calor liberado por los dispositivos de iluminación puede ser recuperado reduciendo las cargas de aire acondicionado, produciendo hasta un 13 por ciento más de iluminación con la misma entrada de energía y proporcionando un medio de calentamiento al aire. En la Figura 2-13 se muestran dos esquemas típicos de recuperación. En el sistema de retorno completo, todo el aire regresa a través de los dispositivos de iluminación. En el sistema de descarga, sólo una porción es llevada a través de los dispositivos de iluminación. Este sistema generalmente es usado cuando se necesitan altos niveles de ventilación.

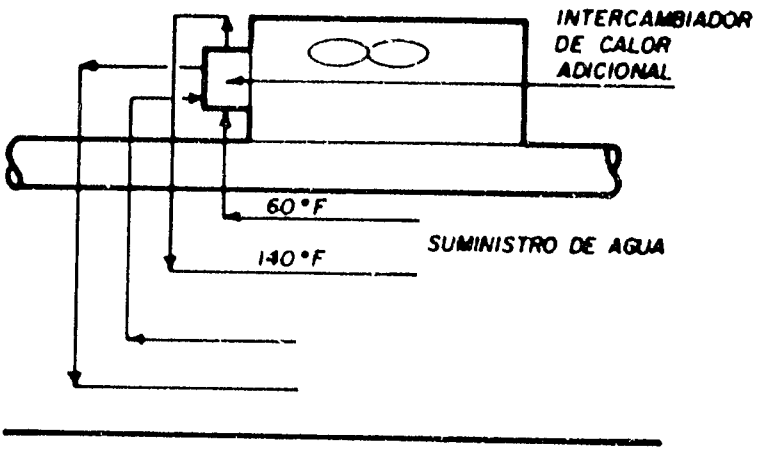
CASO 2-7

Tradicionalmente, para enfriar el gas del equipo de refrigeración, se usan condensadores enfriados por aire, montados sobre el techo. Comente cómo el sistema del siguiente diagrama puede hacerse más eficiente.



ANALISIS

Este ejemplo ilustra una instalación retroactiva, en la cual el calor se recupera agregando un intercambiador de calor para recuperar la energía que previamente se había disipado en la atmósfera. Esta energía puede ser usada para precalentar el agua de entrada para varios procesos.



2.7 CICLO ECONOMIZADOR

Además de considerar las posibilidades de recuperación de calor, la auditoría debe descubrir las modificaciones al sistema que pudieran ahorrar energía, tales como la instalación de un economizador. El economizador utiliza para enfriamiento el aire exterior, cuando está suficientemente frío. Existen dos sistemas adecuados de este tipo:

1. El sistema mantiene un control y responde únicamente a la temperatura de bulbo seco. Este sistema es adecuado cuando las horas-grado de bulbo húmedo son menos de 8 000 al año.

2. El sistema mantiene un control y responde únicamente a la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco (entalpía), siendo más efectivo y económico para localidades con más de 8 000 horas-grado de bulbo húmedo.

SISTEMA 1- ENFRIAMIENTO CON CICLO DE ECONOMIZADOR

Suministre controles, reguladores de aire ("dampers") y seguros para lograr la siguiente secuencia de control:

a) Cuando la temperatura (bulbo seco) del aire exterior sea inferior a la temperatura (bulbo seco) del aire de suministro, requerida para cubrir la carga de enfriamiento, apague el compresor y las bombas de agua de enfriamiento y coloque en posición los reguladores de aire del exterior -aire de retorno- para lograr la temperatura requerida del aire de suministro.

b) Cuando la temperatura (bulbo seco) del aire del exterior sea más alta que la temperatura del aire de suministro requerida para cubrir las cargas, pero sea

inferior a la temperatura del aire de retorno, encienda los compresores y las bombas de agua de enfriamiento y coloque los reguladores de aire en posición para un 100% de aire exterior.

c) Utilice el mínimo de aire exterior cuando la temperatura exterior de bulbo seco sobrepaza la temperatura (bulbo seco) del aire de retorno.

d) Cuando la humedad relativa en el espacio baje a menos de los niveles deseados y se consuma más energía para elevar la HR de lo que se ahorra utilizando el economizador; considere utilizar refrigeración en lugar del enfriamiento por medio del economizador. Esta condición puede presentarse en climas muy fríos y debe ser analizada en detalle.

SISTEMA 2 - ENFRIAMIENTO CON CICLO DE ENTALPIA

Suministre el equipo, los controles, los reguladores de aire y los seguros para llevar a cabo la siguiente secuencia de control:

Los cuatro pasos detallados para el sistema 1 son similares para este sistema, excepto que en lugar de medir las condiciones de bulbo seco se miden las condiciones de entalpía.

Si se detectan cambios a la entrada del aire exterior, revise bien todas las normas relativas a requisitos de ventilación. También deberán observarse todas las normas de seguridad y contra incendios.

APLICACIONES DE LOS SISTEMAS 1 y 2

* Sistemas de volumen constante, de un sólo ducto.
* Sistemas de aire de volumen variable
* Sistemas de inducción
* Sistemas terminales de recalentamiento, sistemas de doble ducto y sistemas para múltiples zonas.

Los sistemas de economizador y de entalpía son menos efectivos cuando se usan combinados con sistemas de recuperación de calor. Los cambios deben ser analizados.

2.8 CONSIDERACIONES DE PRUEBA Y EQUILIBRIO

Posiblemente el más importante requisito de la auditoría energética para bajar costos, muchas veces se ignora, siendo un programa cuidadoso de pruebas, equilibrio y ajuste. Esencialmente, la auditoría debe incluir los siguientes pasos:

1. Pruebas Una determinación cuantitativa de las condiciones que prevalecen dentro de los límites del sistema, incluyendo tasas de flujo, mediciones de temperatura, humedad, presiones, etc.

2. Equilibrio El balance del sistema es importante para la distribución requerida de flujo, manipulando reguladores de aire y válvulas.

3. Ajuste Los niveles prefijados de los instrumentos de control, los dispositivos reguladores y las secuencias de control deben ser ajustados para obtener los patrones de flujo requeridos.

Básicamente, este prorama compara las características de diseño con el funcionamiento efectivo y busca el equilibrio del sistema, ajustándolo para obtener el mejor funcionamiento.

Varias fuentes de referencia para obtener información sobre procedimientos de prueba y equilibrio son:

* El "Construction Specifications Institute (CSI)" (Instituto de Especificaciones para la Construcción), que ofrece una serie de especificaciones conocida como el "Document 15050", cuyo título es "Testing and Balancing of Enviromental Systems" (Pruebas y Equilibrio de los Sistemas Ambientales). Se pueden

obtener copias de esta publicación. Esta guía explica los factores que deben considerarse al usar las especificaciones para diseño de proyectos.

* El "Associated Air Balance Council (AABC)" (Consejo Asociado de Equilibrio del Aire), el cual es la organización que respalda a las entidades independientes.

* La "National Environment Balancing Bureau (NEBB)" (Oficina Nacional de Equilibrio Ambiental), patrocinada por la "Mechanical Contractors Association of America" (Asociación Americana de Contratistas de Instalaciones Mecánicas) y la "Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association" (Asociación Nacional de Contratistas de Instalaciones Métalicas y de Aire Acondicionado), como la organización que respalda a las subsidiarias de los contratistas de instalaciones.

TABLA 2-10

PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN

BLAST

ANALISIS DE CARGAS EN LOS EDIFICIOS Y SISTEMAS TERMODINAMICOS

"BLAST" es un amplio programa de computación para análisis energético, el cual se utiliza en la estimación de requerimiento por hora de calefacción y enfriamiento de ambientes, funcionamiento por hora de plantas convencionales de calefacción y enfriamiento, plantas de energía total y/o sistemas energéticos solares. Fue desarrollado por el "U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory" (Laboratorio para la Ingeniería de la Construcción del Ejército de los Estados Unidos de América) en Champaign, Illinois.

CCB/CALERDA

"CCB/CALERDA" es un programa de análisis energético para edificios desarrollado por "Consultants Computation Bureau of Oakland, California" (Oficina de Computación para Consultores de Oakland, California), para asistir en el diseño y construcción de edificios y en el cumplimiento de las normas para la planificación y práctica de la conservación de energía. CALERDA permite a los arquitectos e ingenieros computarizar el

consumo de energía en edificios y se puede obtener en los Estados Unidos y Canadá a través del "Control Data Corporation's CYBERNET Services".

CALERDA ha contribuido a elevar el nivel del arte del análisis energético por medio de varias características únicas: un Lenguaje de Descripción de Edificios ("BDL") de su nombre en inglés "Building Description Language") que simplifica el ingreso de datos; la capacidad de simular una gran variedad de sistemas convencionales y de energía solar, que pueden ser operados en la mejor forma, o de acuerdo con normas especificadas por el usuario, y una estructura de programa que utiliza eficientemente los recursos de computación. El programa ejecuta una simulación por hora de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado de acuerdo con las respuestas de éstos a los cambios en el clima y en las cargas internas de calor. Los cálculos incorporan la inercia térmica producida por la construcción de la estructura del edificio.

PROGRAMAS ENERGETICOS "EP"

Los programas energéticos ("EP" de su nombre en inglés: "Energy Programs") analizan el consumo de energía de los edificios nuevos o ya existentes. El

programa "EP" se divide en dos secciones: cargas y análisis energético. La sección de cargas del programa permite al ingeniero mecánico calcular las cargas de calefacción y de enfriamiento de un edificio a través de un año completo de operación.

El ingeniero puede calcular las cargas de calefacción y enfriamiento del edificio a partir de conceptos iniciales de diseño, y luego, por medio de la acumulación sobre esta base de datos, formar un banco de información para un análisis energético simulado.

La creación del prototipo de edificios se logra a través de la flexibilidad del programa. Los cálculos computarizados pueden verificarse solicitando cálculos muestra por períodos seleccionados. El usuario y el programa se comunican entre sí; el usuario responde a las preguntas del programa sobre el sistema, selección de material, parámetros y opciones de salida de información. El programa "EP" se puede obtener en versiones de lote o interactivas, por medio de la red de servicios de información mundial de "Control Data's CYBERNET Services".

NBSLD

PROGRAMA DE DETERMINACION DE CARGAS DE LA "NATIONAL BUREAU OF STANDARDS" (OFICINA REGIONAL DE NORMAS).

El programa computarizado NBSLD estima la cantidad de energía usada para la calefacción y enfriamiento de edificios. Este programa usa algoritmos nuevos, recomendados por la "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)" (Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), División de Requerimientos Energéticos.

El Programa NBSLD computa el consumo de energía resolviendo ecuaciones simultáneas de equilibrio calorífico de la superficie interior de una habitación o ambiente. Las funciones de transferencia por conducción son usadas para calcular la conducción transitoria de calor a través de paredes exteriores y del interior de las estructuras. A pesar de que los cálculos por ecuaciones de equilibrio de calor son más lentos que la apreciación basada en factores de ponderación, son en sí más precisos.

En los Estados Unidos y Canadá se pueden obtener versiones de lotes e interactivas del programa NBSLD, a través de

la red de servicios informativos de "Control Data's CYBERNET Services".

"ENERGY ANALYST"
ANALISTA DE ENERGÍA

El programa "ENERGY ANALYST" es un patrón de edificio diseñado por "American Energy Services, Inc." expresamente para las auditorías energéticas. Este programa permite al usuario, rápida y eficientemente, crear un modelo de las características de consumo de energía de un edificio y comparar los ahorros que podrían lograrse por medio de varias alternativas para conservación de energía. Está diseñado para presentar patrones de la mayoría de tipos de edificios; estructuras comerciales, escuelas, apartamentos.

El programa "ENERGY ANALYST" divide el consumo de energía en un número de componentes, tales como la infiltración a través de una ventana, la operación del ventilador, la ventilación exterior y el consumo doméstico de agua caliente. Imprime una comparación entre el modelo base y las alternativas de conservación de energía. Finalmente, computa los costos permanentes para las alternativas seleccionadas.

ECUBE 75

"ENERGY CONSERVATION USING BETTER ENGINEERING" (CONSERVACION DE ENERGÍA A TRAVES DE UN MEJOR DISEÑO)

El programa ECUBE 75 es una serie integrada de programas computarizados para el análisis de energía. Evalúa los sistemas energéticos para determinar qué equipos satisfacen con mayor economía los requerimientos energéticos de una estructura en particular. Este programa proporciona a las personas que deciden sobre sistemas energéticos un método eficiente y económico durante las primeras etapas de la planificación para construir, así como un medio de efectuar una evaluación realista de medidas de conservación propuestas para edificios existentes. El programa considera los efectos en el sistema de clima, orientación, perfiles de uso, luces, motores y diversos requisitos de ventilación, y genera informes que indican las cantidades de energía que el lugar consumirá utilizando diferentes tipos de equipo. También suministra datos de comparación económica, basados en factores tales como características del equipo, perfiles climatológicos locales, cargos de intereses y costos de combustible y electricidad. El programa se ha ampliado recientemente con la adición de un módulo de cálculo de carga solar, que incluye los efectos de la

construcción de elementos de sombra, y ahora abarca un módulo mejorado de simulación del lado de aire.

El ECUBE 75 es un programa de lote que opera con los sistemas de computación de las series "CYBER 70" y 6 000 de "Control Data". Se puede obtener exclusivamente a través de la red nacional de servicios de computación "CYBERNET". A pesar de que anteriormente el uso del programa ECUBE 75 estaba limitado a los miembros de una lista autorizada, ahora puede ser utilizado por cualquiera que se registre en la "American Gas Association" (Asociación Americana de Gas).

ECHAR

"INTERACTIVE SOLAR HEATING DESIGN PROGRAM"
(PROGRAMA DE DISEÑO DE CALEFACCIÓN SOLAR)

El programa ECHAR ofrece un método rápido y eficiente para el diseño de sistemas de calefacción solar. El método desarrollado en el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad de Wisconsin, está basado en las configuraciones estándar de un sistema que utiliza líquido o aire como medio de transferencia de calor. Considera el área del colector como la principal variable de diseño; también se toman en cuenta variables secundarias de diseño, tales como la capacidad de la unidad de

almacenamiento. El nombre del método "F-Chart" (Tabulación F) se deriva de las tabulaciones basadas en la correlación de cientos de simulaciones detalladas de sistemas de calefacción solar. Para configuraciones estándar, el programa F-Chart elimina la necesidad de simulaciones detalladas, que requieren información meteorológica por hora. La información meteorológica requerida para usar el método F-Chart incluye el promedio mensual a largo plazo de:

* Total diario de radiación solar sobre una superficie horizontal.
* Temperatura del ambiente
* Días-grado de calentamiento (base de 65° F).

SOLCOST

"SOLAR ENERGY DESIGN PROGRAM"
PROGRAMA DE DISEÑO DE ENERGIA SOLAR

El programa SOLCOST ayuda al diseño de sistemas de energía solar para calefacción y agua caliente en construcciones residenciales y comerciales livianas. Este programa estima el rendimiento térmico, así como la recuperación económica y la tasa de esta recuperación, que se obtienen a través de un proyecto de energía solar. El programa SOLCOST determina el tamaño del

sistema de energía solar como base en comparaciones de costos de energía solar con los de energía convencional.

El método SOLCOST fue desarrollado por Martin Marietta para el "U.S. Department of Energy (DOE)" (Departamento de Energía de los Estados Unidos de América) y es un efectivo auxiliar para aquellos diseñadores que no cuentan con experiencia previa en el campo de la ingeniería térmica. Es un sistema interactivo que se puede obtener a través de "Control Data's CYBERNET Services" en los Estados Unidos de América y en Canadá.

TABLA 2-11

ALGUNOS PROGRAMAS DE COMPUTACION DISPONIBLES
PROGRAMA DE DISEÑO

TIPO	NOMBRE	AUTOR
Forma del edificio		
Generación de Forma	"Form Generation" (Generación de Forma)	University of Southern California
Análisis de Sombra	"SHADOW" (SOMBRA)	University of Texas
	"SUNNY" (SOLEADO)	University of Texas
Análisis de incremento Solar	"SUNSET" (CREPUSCULO)	Dubin-Mindell-Bloome Associates
Estructura exterior del Edificio		
Comparación de Cristales	"Glass Comparison" (Comparación de Cristales)	Libbey-Owens-Ford
Planificación Interior del Edificio		
Optimización	"ARK-2"	Perry, Dean & Stewart
	B.O.P.	Skidmore, Owings & Merrill

Continuación...

Iluminación

Convencional	"Lighting II" (Iluminación II)	APEC
	"Lighting" (Iluminación)	Dalton, Dalton, Little & Newport Giffels Associates, Inc.
	"Interior Lighting Analysis & Design" (Análisis y Diseño de Iluminación Interior)	
ESI	"Lighting Program" (Programa de Iluminación)	Isaac Goodbar
	"Lighting Program"	Illumination Computing Service
	"Lighting Program"	Ian Lewen
	Lumen II	Smith, Hindchman & Grylls
Iluminación de Día	"Daylighting" (Iluminación de Día)	Libbey-Owens-Ford

Electricidad

Red de Distribución	"Electrical Feeder II" (Circuito de Alimentación Eléctrica II)	APEC
	"Electrical Feeder Sizing" (Dimensión del Circuito de Alimentación Eléctrica)	Dalton, Dalton, Little & Newport
	"Three Phase Fault Analysis" (Análisis de Fallas en Circuitos Trifásicos)	Giffels Associates, Inc.
Estudio de Demanda	"Electrical Demand Load Study" (Estudio de Carga de Demanda Eléctrica)	Giffels Associates, Inc.

HVAC

Selección de Equipo	"HCC-III (Mini-Deck)"	APEC
	"Equipment Selection" (Selección de Equipo)	Carrier Air Conditioning Co.
	"Equipment Selection"	Trane Co.
Diseño de Ductos	"Duct Program" (Programa de Ductos)	APEC
	Varios	Dalton, Dalton, Little & Newport
	Varios	Giffels Associates, Inc.
Diseño de la Unidad	"Fan Static Calculations" (Cálculos de Estática de Ventilador)	Giffels Associates, Inc.

Agua

Diseño de Tuberías	"Piping Program" (Programa de tubería)	APEC

	Varios	Dalton, Dalton Little & Newport
	Varios	Giffels Associates, Inc.
<u>Transporte Vertical</u>		
Diseño de elevadores	"Elevator Design" (Diseño de Elevadores)	Dover Corporation
	"Elevator Design"	Otis Elevator
<u>Operación y Mantenimiento</u>		
Sistemas Automáticos de Control		Honeywell, Inc Johnson Control Service Powers Regulator Company Robertshaw Controls
<u>Sistemas de Energía Solar</u>		
Modelos de Colector Solar (Colector de Placa Plana)	"Flate Plate Collector"	Honeywell, Inc.
	"Parabolic Trough Collector" (Colector de Conducto Parabólico)	Honeywell, Inc.
	"Flat Plate Collector)	Westinghouse

PROGRAMAS ENERGETICOS

Programas Comerciales

ECUBE
HHC-III
"Energy Analysis" (Análisis Energético)
AXCESS
"Glass Comparison" (Comparación de Cristales"
"Energy Program" (Programa Energético)
"Energy Analysis
"Building Cost Analysis" (Análisis de Costos de Edificios)
"TRACE"
"Energy Program"
"HACE"

American Gas Association
APEC
Caudill Rowlett Scott
Electric Energy Association
Libbey-Owens-Ford
MEDSI
Meriwether & Associates

PPG Industries
TRANE Company
Westinghouse Corp.
WTA Computer Services, Inc.

Programas de Investigación/Negociables

"CADS"	UCLA
"SIMSHAC"	Colorado State University
"FINAL"	Dalton, Dalton, Little & Newport
"HVAC Load" (Carga de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado)	Giffels Associates, Inc.
"Energy Program"	Honeywell, Inc.
"NBSLD (Honeywell)"	Honeywell, Inc.
"Energy Program"	University of Michigan
"NBSLD"	National Bureau of Standards
"B.E.A.P."	Pennsylvania State University

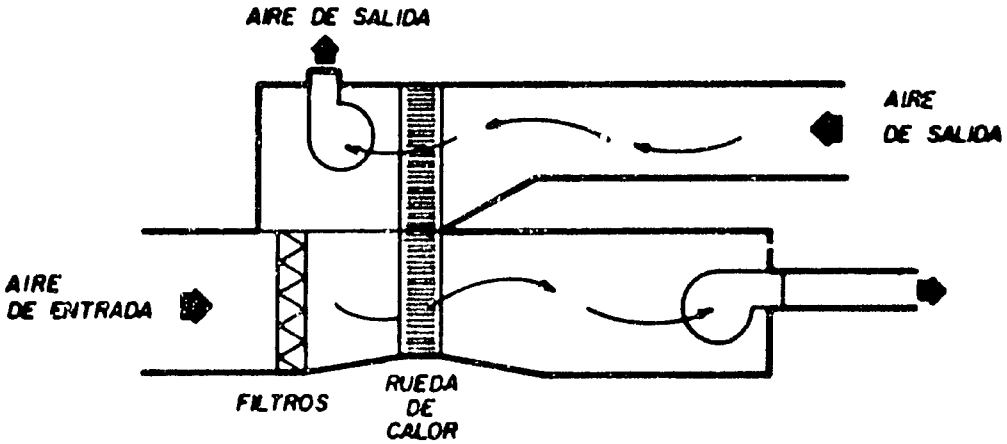
Programas de la oficina postal

"DEROB"	University of Texas
"TRANSYS"	University of Wisconsin

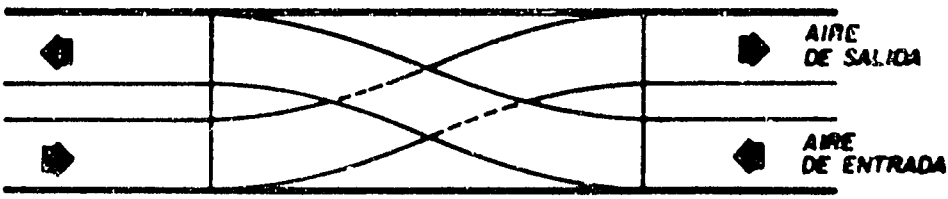
Programas Domésticos/patentados

"Energy Program"	General Electric Company
"Residential & Small Comercial" (Residencias y Comercios Pequeños)	Honeywell, Inc.
"Energy Program"	IBM

Fuente de Referencia: "Guidelines for Saving Energy in Existing Buildings -- Building Owners and Operators Manual --ECM-1."



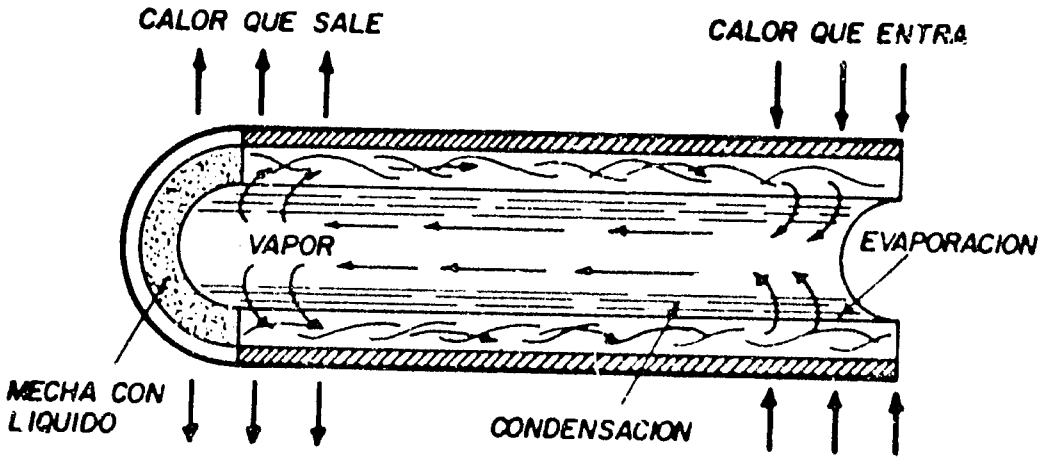
Regenerador Rotativo



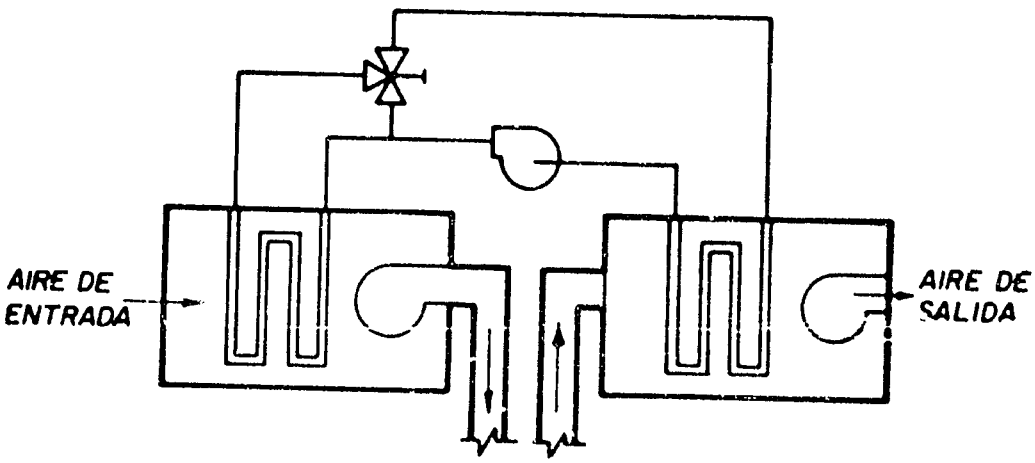
Recuperador de Placas

Figura 2-12 Recuperación de calor en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Continuación Gráfica 2-12



Tubos de Calor



Ciclo de Recirculación

Recuperación de calor en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

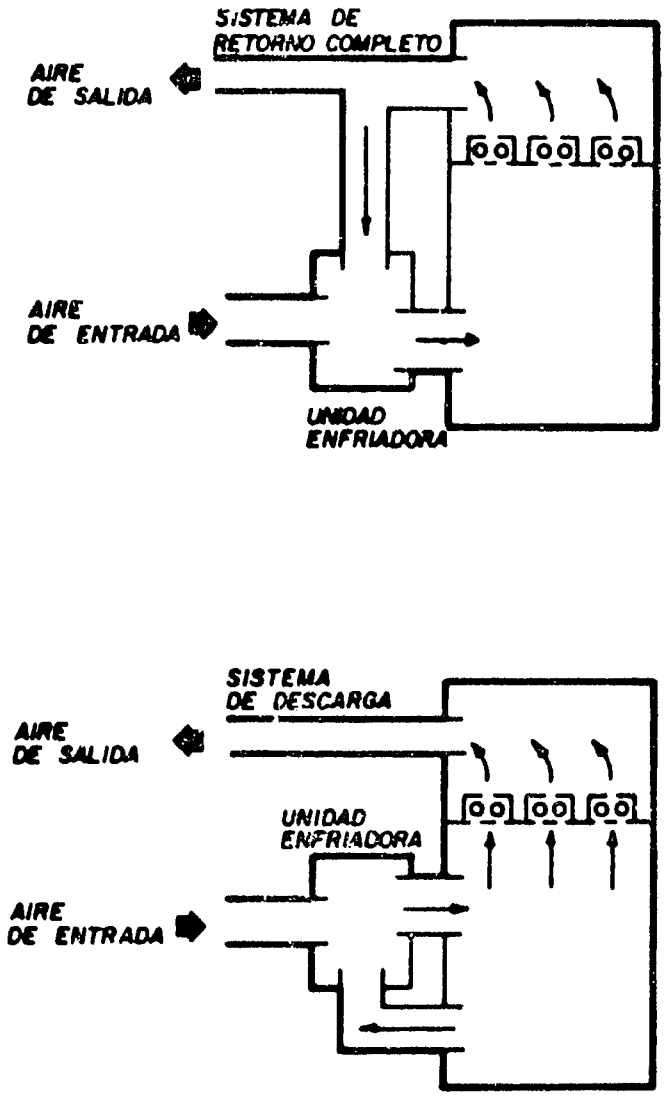


Figura 2-13 **Recuperación en dispositivos de iluminación.**

CAPITULO 3

AUDITORIA EN SISTEMAS DE VAPOR

La energía consumida en los hoteles, hospitales, clubes y edificios comerciales utilizando vapor como medio de transferencia es de gran importancia en este sector.

En este capítulo se consideran las diferentes posibilidades de ahorro en el sistema generador de vapor - "caldera", las diferentes posibilidades de ahorro en la distribución de éste y en su consumo

Además se involucran cálculos de ahorro obtenidos al aislar las diferentes líneas de distribución de vapor. En la última sección de este capítulo se determinan posibilidades de ahorro, debido a la temperatura de utilización del agua caliente y debido a su consumo.

3.1 Sistema de Combustión

La combustión o quemado de combustibles más comunes (aceite combustible, gas, carbón y madera) consiste en la reacción del carbono y del hidrógeno con el oxígeno para producir dióxido de carbono y vapor de agua, y la consecuente liberación de la energía química de enlace en forma de luz y calor.

Se denomina combustión perfecta a la que se realiza totalmente con la cantidad exacta (estequiométrica) de aire necesario para la combinación química. Esta es una situación ideal que no se da en la práctica, debiéndose utilizar, corrientemente, un exceso de aire, que varía de acuerdo al sistema de quemado y al combustible utilizado.

Una buena combustión requiere:

a) Proporción adecuada en la relación aire-combustible
b) Buen mezclado del combustible y el aire
c) Ignición inicial y sostenida de la mezcla.

La función del sistema quemador es satisfacer estas necesidades.

a) Proporción adecuada entre aire y combustible

El sistema debe suministrar las cantidades de aire y combustible adecuados para el funcionamiento correcto del equipo (horno, caldera, etc.), a distintas cargas de trabajo. Si el aire entregado es insuficiente, algunas materias combustibles salen sin quemarse reduciendo así el rendimiento del proceso. Tales materias son hidrógeno, hidrocarburos, monóxido de carbono, hollín (carbono arrastrado) y carbono en las cenizas (cuando se quema carbón).

Si se suministra demasiado aire, el rendimiento disminuye en proporción al exceso de aire, ya que se consume calor para elevar el exceso de aire a la temperatura de los gases de combustión.

El exceso de aire para asegurar una mezcla apropiada de aire combustible varía entre 15-20% para aceites combustibles.

El combustible puede ser controlado mediante la regulación de la cantidad alimentada y el tamaño de las partículas de combustibles obtenidas en la atomización.

b) Buena mezcla del combustible y el aire

Una buena mezcla del combustible y el aire es importante, de modo que la distribución sea uniforme para que cada partícula de combustible encuentre el aire necesario para quemarse. El quemado de la mayoría de los combustibles se realiza en forma de gas, debiéndose producir la gasificación del combustible antes de la combustión. Un barrido altamente turbulento ayuda a esta conversión a gas y la mezcla de éste con el aire.

Los combustibles líquidos son evaporados corrientemente y los vapores combustibles resultantes son quemados como gases. La atomización del líquido acelera la evaporación. El calor de la llama adyacente causará a veces la descomposición térmica del combustible, antes de evaporarse. Esta desintegración térmica, generalmente, produce un hidrocarburo más liviano que arde como un gas y un hidrocarburo más pesado que puede arder como carbono sólido que produce una llama amarilla muy luminosa.

Cuando existe exceso de aire, lo que en general es una condición necesaria para tener una combustión completa, la

llama tiende a ser más corta y luminosa. En el caso contrario, la llama tiende a ser más larga y, en general, humea (combustión incompleta).

Se denomina aire primario a la parte del aire de combustión que se mezcla con el combustible dentro del quemador, o afuera. El aire secundario se suministra corrientemente alrededor del quemador. El aire terciario es aquel que se suministra "aguas abajo" del aire secundario o a través de otras aberturas en el hogar. Este aire terciario se utiliza sólo en algunos equipos.

c. Ignición inicial y sostenida de la mezcla

La combinación química de combustible con el aire ocurre a temperatura ambiente pero muy lentamente.
En los casos en que se desea encender rápidamente una mezcla combustible-aire, es necesario aplicar mucho calor a un área localizada, con el fin de acelerar la reacción de oxidación, hasta que ésta entregue calor más rápidamente que el que se pierde hacia los alrededores; ocurrido esto, continuará encendiéndose por sí misma sin necesidad de una fuente exterior. "La mínima temperatura a la cual esto es posible, se denomina temperatura mínima de ignición de la mezcla".

Un soplo de aire frío o el contacto de una muralla fría puede enfriar algunas partes de la llama a un nivel más bajo que la temperatura de ignición, de modo que algo del combustible no se queme. Así, es posible tener combustión incompleta, aún cuando todos los requerimientos para la combustión fueran satisfactorios en la raíz de la llama.

El ingeniero auditor para evaluar la eficiencia de combustión de cualquier equipo deberá:

- Hacer un análisis de gases de escape (%CO_2, % O_2, temperatura)
- Determinar las pérdidas asociadas a la combustión.

La eficiencia total de combustión para cualquier horno o caldera es:

$$\text{Eficiencia, \%} = \left(\frac{\text{energía que entra} - \text{pérdidas totales}}{\text{energía que entra}}\right) \times 100$$

Entre las pérdidas totales se encuentran:

- Pérdidas en gases de escape
- Pérdidas por radiación y convección (paredes, aberturas, transporte). Por lo general estas pérdidas no exceden del 3% en calderas de aceite combustible.
- Almacenamiento de calor en muros y fijaciones (sólo en hornos para procesos por lotes).

En esta sección se presentan tres casos de combustión: "Mejorar la eficiencia de combustión mediante un ajuste de la relación aire/combustión", "Calentamiento de aire" y "Cambiar combustibles". La primera y la segunda posibilidad de ahorro se ocupan de la mayor pérdida térmica que se puede hallar en sistemas de combustión mientras que en la tercera se obtiene un ahorro monetario debido a un cambio de una fuente de energía más cara a una más barata.

3.1.1 Mejorar la eficiencia de combustión mediante un ajuste de la relación aire/combustible

La eficiencia de combustión es una función de la relación de aire/combustible. Una mezcla con deficiencia de aire da como resultado una combustión con humo. Una mezcla con aire en exceso trae como consecuencia mayor pérdida de calor en los gases de escape.

La relación aire/combustible óptima se puede mantener:

- Ajustando los controles existentes, o
- Instalando un control de oxígeno (O_2) para ajustarla continuamente.

En la Tabla 3-1, se presenta el porcentaje de exceso de aire óptimo de acuerdo al tipo de combustible.

Aplicaciones

Se aplica a cualquier equipo que quema combustibles para producir calor, tales como calderas, hornos y marmitas.

Cálculos

1) Si se utilizan las temperaturas y porcentajes de O_2 y CO_2 se encuentra la eficiencia de combustión en las gráficas 4 ó 5.

   Eficiencia de combustión original = _____%

2) Si se utilizan las mismas temperaturas (gráficas 3-2 ó 3-3) y 3-4% de O_2 ó 13-13.5% de CO_2, se encuentra la eficiencia con 15-20% de exceso de aire, o sea, el nivel considerado óptimo, dependiendo de la edad y tipo de control del equipo. Para aceite combustible, con un 3% de O_2 y 13.5% de CO_2 corresponde un 15% de

exceso de aire. Para otros combustibles u otros intervalos de exceso de aire, véase el manual "Mejoramiento de la eficiencia de operación de calderas de vapor"

Eficiencia de combustión mejorada = _____ %

3) Calcular ahorro

$$\text{Ahorro} = C \times HHV \times \left(1 - \frac{E_o}{E_m}\right)$$

Donde:

C = Unidades de combustible consumidas por año

HHV = Entalpía por unidad de combustible

E_o = Eficiencia original

E_m = Eficiencia mejorada

CASO 3-1

Una caldera de 200 BHP consume 80 490 galones de bunker por año. Los gases de chimenea salen de la caldera a 590°F con un porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono de 9.5% y 8.5% respectivamente. La temperatura ambiente es de 90°F. Pudiéndose reducir el exceso de aire hasta 15%, ¿Cuál sería el ahorro en energía y costo?

Con las mediciones realizadas en los gases de escape y de las gráficas 3-2 y 3-3, la eficiencia de combustión original es 76%. De la gráfica 3-4, si se reduce el exceso de aire hasta 15%, proporciona los nuevos porcentajes (O_2 y CO_2) que tendrán los gases de escape o sea 3% O_2 y 13.5% CO_2, los que corresponden a una eficiencia mejorada de 82%, si la temperatura de gases de escape se mantiene constante (usualmente la temperatura baja, aumentando la eficiencia obtenida mediante estos cálculos).

$$\text{Ahorro} = C \times HHV \times \left(1 - \frac{E_o}{E_m}\right)$$

$$= 80\ 490\ \text{gal/año} \times 150\ 000\ \text{Btu/gal} \times (1 - 76\%/82\%)$$

$$= 883\ \text{MBtu/año}$$

Si el costo de energía es de $6.00/MBtu el ahorro monetario es:

Ahorro = Ahorro energético x costo de energía
= 883 MBtu/año x $ 6.00/MBtu
= $5 300/año

Análisis económico

- Costo de equipo de análisis si la empresa lo comprara
- Costo de las varias opciones para mejorar la relación aire/combustible

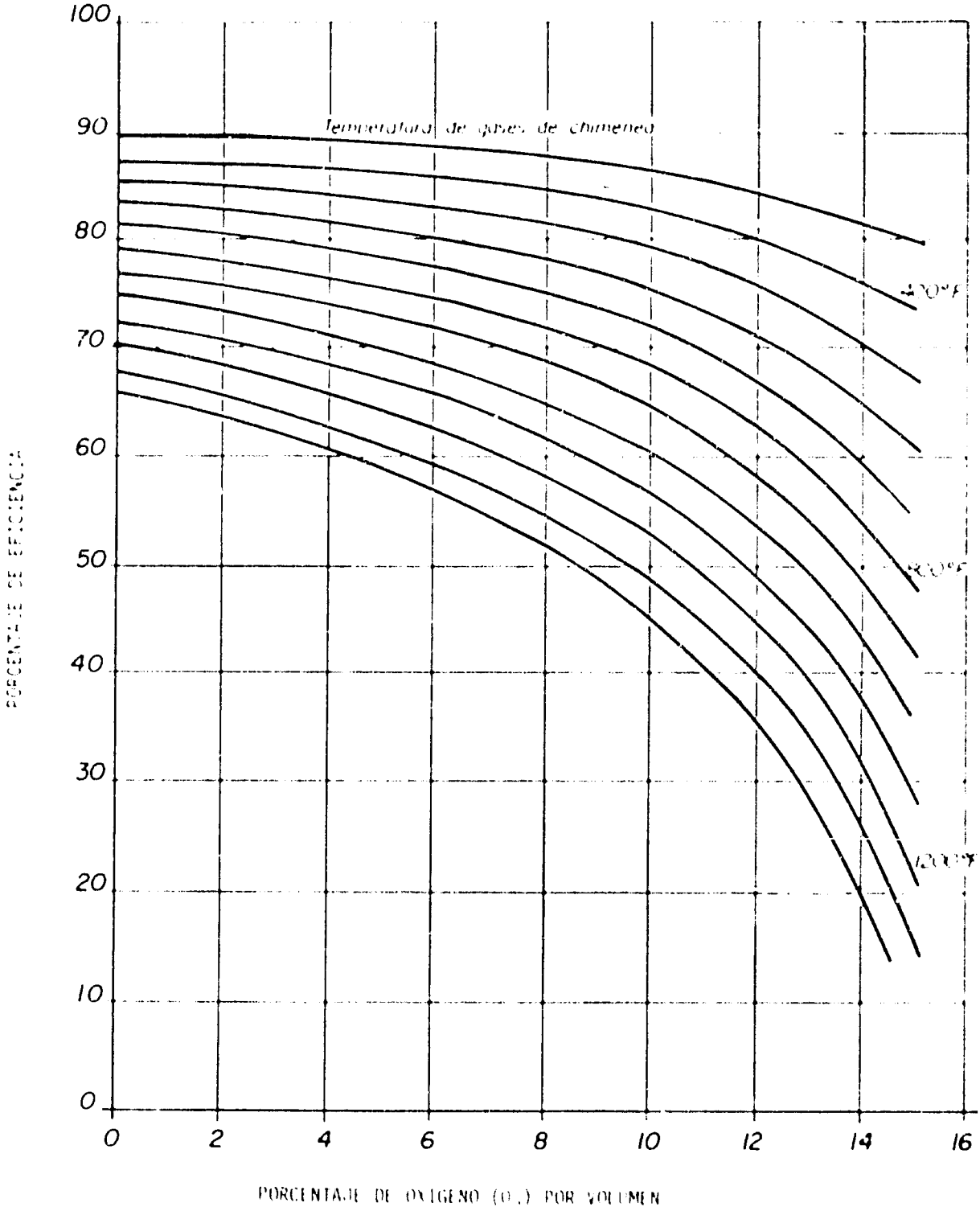
  - Ajuste a los controles existentes
  - Sensor de oxígeno instalado en la chimenea
  - Combinación sensor/controlador de oxígeno
  - Controlador de oxígeno
  - Nuevo quemador

TABLA 3-1

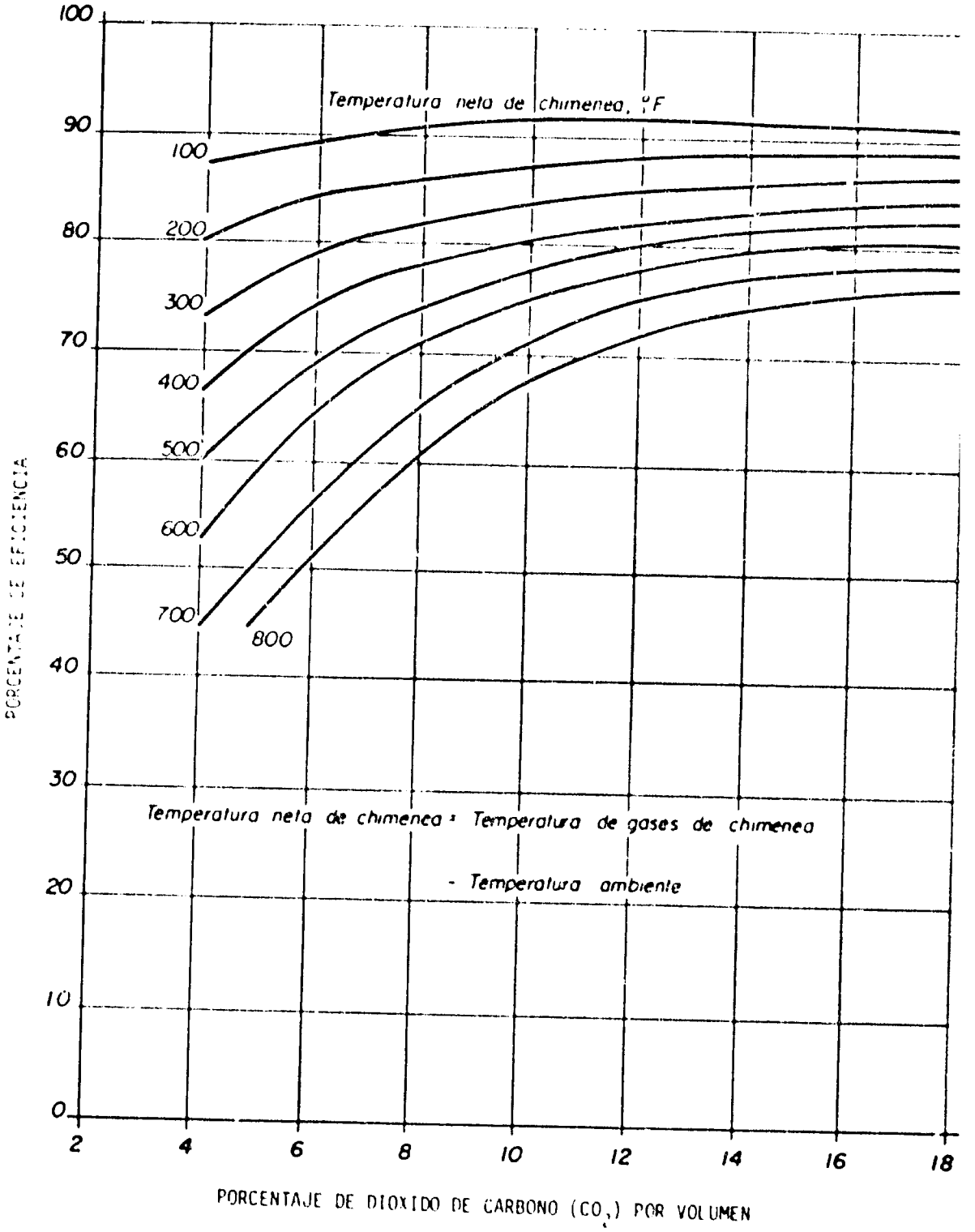
NIVELES TIPICOS OPTIMOS DE EXCESO DE AIRE

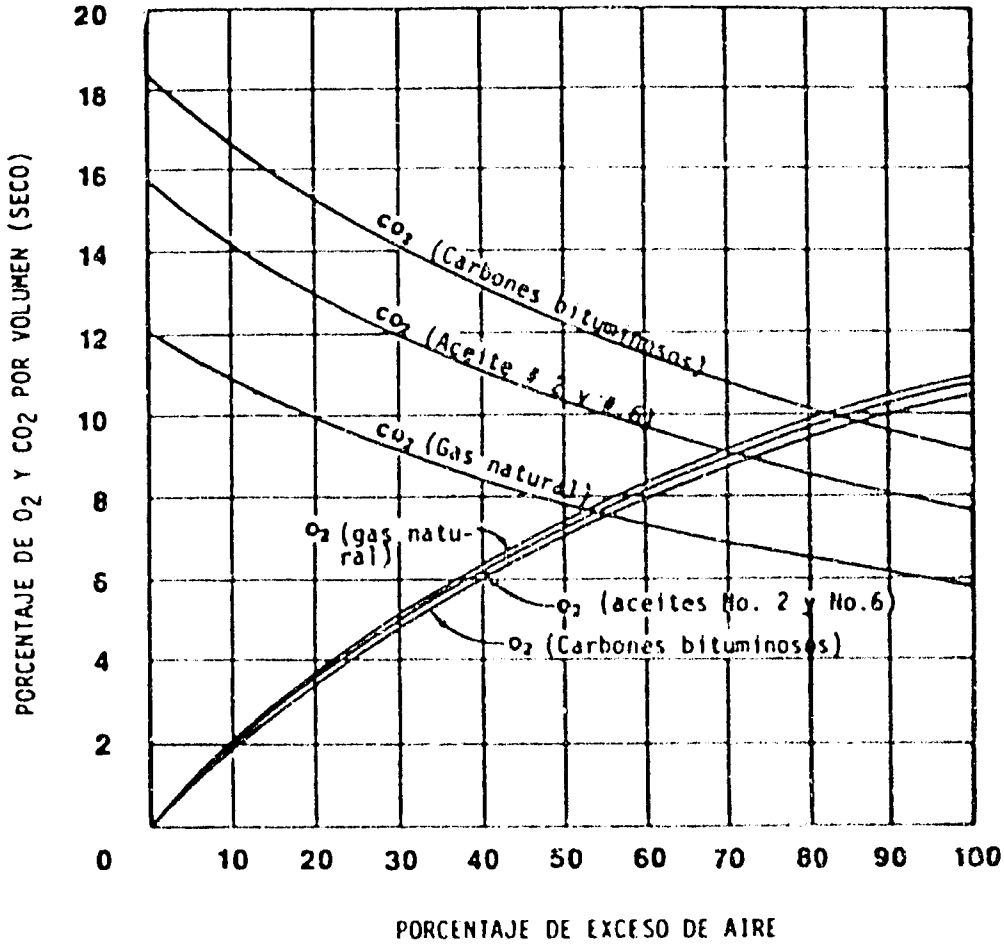
Tipo de combustible	Método de quemado	Exceso de aire óptimo %	SO_2 (por volumen) equivalente
Gas natural	--	5 - 10	1 - 2
Propano	--	5 - 10	1 - 2
Horno de carbón para gas	--	5 - 10	1 - 2
Aceite No. 2	Vapor atomizante	10 - 15	2 - 3
Aceite No. 6	Vapor atomizante	15 - 20	3 - 3.5
Carbón	Pulverizador	15 - 20	3 - 3.5
Carbón	Por alimentador	20 - 30	3.5-5

Gráfica 3-2 Eficiencia de unidades de aceite combustible



Gráfica 3-3 Eficiencia de unidades de aceite combustible





Gráfica 3-4 ***Relación entre el exceso de aire de la caldera y las concentraciones de exceso de oxigeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2) en los gases de chimenea para combustibles de composición típica.***

3.1.2 Mejorar la eficiencia de combustión mediante calentamiento de aire

La eficiencia de combustión es una función de la relación aire/combustible.

En la Tabla 3-1 se presenta el porcentaje de exceso de aire óptimo de acuerdo al tipo de combustible. Este porcentaje de aire en exceso nos indica que el nitrógeno contenido en el aire y parte del oxígeno no reaccionará en el proceso de combustión, o sea que actuarán como elementos inertes, absorbiendo parte del calor producido en el proceso. O sea que inyectar aire caliente al proceso involucra un ahorro en energía y se utiliza de esta manera menos combustible para producir la misma cantidad de vapor, lo cual aumenta la eficiencia de combustión.

Aplicaciones

Se aplica a cualquier equipo que quema combustibles para producir calor, tales como calderas, hornos y marmitas.

Cálculos

1. Si se utiliza la temperatura neta y el porcentaje de CO_2 se encuentra la eficiencia de combustión en la Gráfica 3-3

   Eficiencia de combustión original = _____ %

2. Si se precalienta el aire, la temperatura neta de chimenea disminuirá, debido al incremento en la temperatura del aire. Este descenso en la temperatura neta de chimenea ocasionará un incremento en la

eficiencia de combustión, leyéndose esta nueva eficiencia en la gráfica 3-3.

Eficiencia de combustión mejorada = _____ %

3. Calcular el ahorro

$$\text{Ahorro} = C \times HHV \times \left(1 - \frac{E_o}{E_m}\right)$$

Donde:

C = Unidades de combustible consumidas por año
HHV = Entalpía por unidad de combustible
E_o = Eficiencia original
E_m = Eficiencia mejorada

CASO 3-2

Una caldera consume 101 270 galones de bunker por año. Los gases de chimenea salen de la caldera a 600°F con un porcentaje de dióxido de carbono de 9.2%. La temperatura ambiente es de 80%. Si el aire se precalienta a 180°F, ¿Cuál sería el ahorro de energía y costo?

Con las mediciones realizadas en los gases de escape y la temperatura ambiente, de la gráfica 3-3 se determina la eficiencia de combustión sin y con precalentamiento de aire, obteniéndose una eficiencia del 75% antes del precalentamiento y del 78% después del precalentamiento, manteniéndose constante la temperatura de los gases de escape y el porcentaje de CO_2.

$$\text{Ahorro} = C \times HHV \times \left(1 - \frac{E_o}{E_m}\right)$$

$$= 101\ 270\ \text{gal/año} \times 150\ 000\ \text{Btu/gal} \times \left(1 - \frac{75\%}{78\%}\right)$$

$$= 584\ \text{MBtu/año}$$

Si el costo de energía es de $6.00/MBtu el ahorro monetario es:

Ahorro = Ahorro energético x costo de energía
= 584 MBtu/año x $6.00/MBtu = $3 500/año

<u>Análisis económico</u>

El análisis debe tomar en cuenta lo siguiente:

- costo de equipo de precalentamiento de aire

3.1.3 Cambiar combustibles

El costo por unidad de energía varía entre combustibles. Al cambiar un combustible por otro más barato por unidad de energía (por ejemplo, diesel por bunker) se pueden obtener ahorros significativos.

Cuando se va a utilizar un combustible opcional, es importante analizar varios aspectos que influyen en la conveniencia de hacer el cambio; tales como:

- El rendimiento asociado al equipo liberador de calor para cada energético; exceso del aire necesario para su funcionamiento, quemador apropiado, influencia de cenizas y gases de escape en el producto, humedad en el combustible, viscosidad, formación de depósitos, estabilidad térmica, etc.

- Equipos anexos necesarios para el funcionamiento adecuado del sistema; por ejemplo: al trabajar con carbón o leña se requerirá en la generalidad de los casos, equipo de control de emisiones para evitar contaminación lo que se traduce en costos indirectos que normalmente no se tienen si se utiliza petróleo o electricidad.

- Influye también en la comparación la variación de la capacidad de la instalación. También constituye esto un costo indirecto que es absolutamente necesario considerar.

Aplicación

Se puede aplicar la metodología presentada aquí a cualquier equipo de proceso que queme combustible para liberar calor, tal como: calderas, hornos, secadores y marmitas. No obstante, se deben considerar los aspectos anteriores.

Cálculos

Debido a que el ahorro sólo es un ahorro en el costo de combustible, no se trata aquí un ahorro energético.

$$\text{Ahorro} = \text{Costo de combustible actual por año} - \text{Costo de combustible recomendado por año}$$

$$= (C_a \times K_a) - \frac{(C_a \times HHV_a \times K_r)}{HHV_r}$$

Donde:

C_a = Consumo anual del combustible actual

K_a = Costo por unidad del combustible actual

K_r = Costo por unidad del combustible recomendado

HHV_a = Poder calorífico del combustible actual

HHV_r = Poder calorífico del combustible recomendado

E_a = Eficiencia de caldera con combustible actual

E_r = Eficiencia de caldera con combustible recomendado

NOTA: $E_a = E_r$ excepto cuando hay un cambio en eficiencia debido a limpieza de la caldera, mejoramiento de la relación aire/combustible o un cambio en quemadores.

CASO 3-3

Una compañía quiere cambiar combustible diesel a bunker, si el consumo es suficiente para el cambio. Los costos por galón de diesel y bunker son de \$1.08/gal y \$0.72/gal, respectivamente. El consumo anual de diesel es de 41 379 galones. ¿Cuál sería el ahorro en costo al hacer el cambio?

$$\text{Ahorro} = (C_a \times K_a) - \frac{(C_a \times HHVa \times Kr)}{HHV_r}$$

HHV_a = 140 000 Btu/gal

HVV_r = 150 000 Btu/gal

E_a = E_r

$$\text{Ahorro} = (41\ 379\ \text{gal/año} \times 1.08/\text{gal}) - \frac{41\ 379\ \text{gal/año} \times 140\ 000\ \text{Btu/gal}}{150\ 000\ \text{Btu/gal}} \times \$0.72/\text{gal})$$

= \$16 880/año

Análisis económico:

El análisis económico debe incluir una evaluación de los costos asociados con los siguientes puntos técnicos:

- Cambios del sistema de entrega existente si el sistema no es apropiado para el cambio de combustible, por ejemplo, en el caso de un cambio de diesel a bunker.

- Nuevo quemador si el existente no es apropiado para el nuevo combustible

- Precalentamiento de bunker, purga, filtros, bombeo, aislamiento, tubería, controles, ubicación, depósito principal, etc.

3.2 Aislamiento

El aislamiento térmico tiene como función principal la conservación de energía. Para este efecto se utiliza el material aislante. Este material se utiliza para proveer resistencia al flujo de calor, lo que reduce estas pérdidas en los elementos que integran el sistema de vapor, tales como: calderas, tuberías, accesorios, tanques y marmitas.

Antes de aislar un sistema se deben resolver dos incógnitas: ¿Qué clase de aislamiento es necesario y en qué cantidad? Al instalar aislamiento se ahorran gastos de inversión, ya que de esta manera se reduce el tamaño y la capacidad del equipo de calentamiento.
El aislamiento térmico se utiliza para:

1. Mantener la temperatura del sistema.
2. Controlar la condensación en las tuberías de vapor.
3. Protección del personal

Dos factores que deben tomarse en cuenta en el aislamiento del sistema son un buen mantenimiento y un diseño adecuado.

Para aislar un sistema adecuado se debe tomar en cuenta:

- El costo del combustible
- La eficiencia de la caldera
- La temperatura de operación
- La localización
- El diámetro de la tubería
- El largo de la tubería

Otro factor de importancia que debe tomarse en cuenta es la eficiencia del aislamiento, la cual aparece especificada en catálogos de los fabricantes. Se define como la diferencia entre la pérdida de calor a través del tubo desnudo y la que se tiene en el mismo tubo aislado, dividida entre la pérdida de calor a través del tubo sin aislar.

Los fabricantes dan tablas de estas eficiencias para varios tamaños y espesores de aislamientos. Sin embargo, estos valores son engañosos, ya que son altos, y lo que parece ser una diferencia pequeña en eficiencia, de únicamente 2% (96 y 94), puede representar un aumento en pérdidas de calor de:

$$(96 - 94/100 - 96)\ (100) = 50\%$$

Las tablas de pérdidas de calor como se observará en esta sección son mucho más útiles para comparar diversos espesores y clases de aislamiento.

3.2.1 Aislamiento en tubería caliente

Se pierden grandes cantidades de calor en tuberías calientes sin aislante. El aislamiento de estas superficies puede evitar hasta el 95% de la pérdida térmica sin ser muy costoso.

Aplicaciones

Este caso se aplica a tuberías de vapor, condensado, aceite, líquido de proceso, etc. Usualmente, se justifica el uso del aislante cuando la tubería tiene una temperatura mayor de 120°F (50°C), dependiendo de las horas de operación.

Cálculos

Primero se calcula el valor de U (coeficiente de transmisión de calor total) de la Tabla 3-5, usando el diámetro de tubería y la temperatura diferencial entre la temperatura de la tubería y el ambiente.

Se calcula el área de la tubería como producto del factor de área lineal y la longitud.

Pérdida sin aislante:

$$Q_s = UA\,\Delta TH$$

Donde:

U	=	Coeficiente de transmisión de calor
A	=	Area
ΔT	=	Diferencia de temperatura entre la tubería y el ambiente
H	=	Número de horas de operación

Pérdida con aislante:

Para el cálculo de la pérdida de calor con aislante se determina el radio exterior del tubo a partir de la Tabla 3-5.

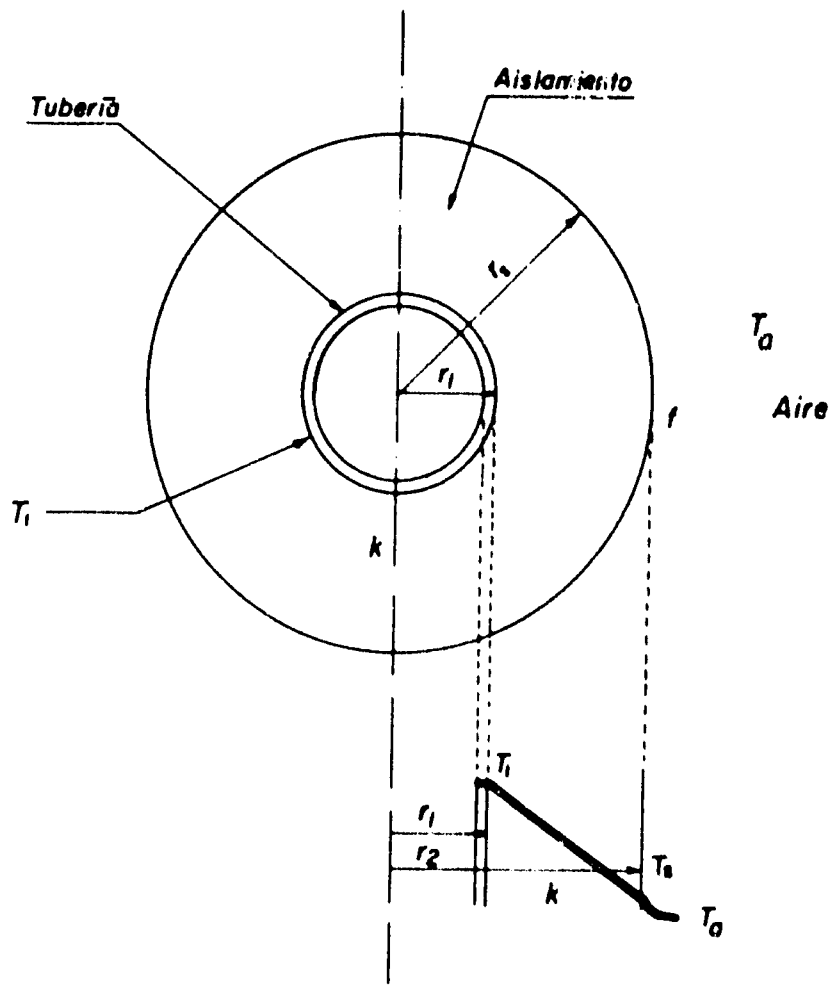
$$Q_c = \frac{(T_1 - T_a)}{\frac{r_s}{K} \ln\left(\frac{r_s}{r_1}\right) + \frac{1}{f}} \times A \times H$$

Donde:

A	=	Area exterior con aislante
T_1	=	Temperatura de la tubería
T_a	=	Temperatura ambiente
r_s	=	Radio externo con aislante
r_1	=	Radio externo de la tubería
K	=	Conductividad del aislante
f	=	Coeficiente de conductividad de película (Ver Tabla 3-6)
H	=	Número de horas de operación

Ahorro debido a aislante:

Ahorro = Pérdida sin aislante - Pérdida con aislante



CASO 3-4

Trescientos treinta pies de tubería de una pulgada de diámetro transporta condensado y está descubierta. La temperatura promedio es de 194°F (203°F del proceso y 185°F a las calderas), y la temperatura ambiente es de 81°F. El condensado es retornado 8000 horas por año. ¿Qué ahorros en energía y costo se obtendrían al aislar la tubería contra la humedad con fibra de vidrio con forro metálico? El aislante tiene una pulgada de espesor.

De gráfica 3-7 la conductividad térmica de la fibra de vidrio a 147°F = (194 + 100)/2, es de 0.28 Btu pulg esp./h pie^2 °F.

Q_s = U A ΔT H

U = 2.46 Btu/h pie^2 °F

A = 0.344 pie^2/pie x 330 pie = 113.5 pie^2

ΔT = 194°F - 81°F = 113 °F

H = 8 000 h/año

Q_s = 2.46 Btu/h pie^2°F x 113.5 pie^2 x 113°F x 8 000 h/año

= 252 MBtu/año

Cálculo de pérdidas de calor con aislante:

$$Q_c = \frac{T_1 - T_a}{\frac{r_s}{K} \ln (r_s/r_1) + \frac{1}{f}}$$

$$r_s = \frac{\text{Día exterior de tubería}}{2} + \text{espesor de aislamiento}$$

$$= \frac{1.315 \text{ pulg}}{2} + 1 \text{ pulg}$$

$$= 1.6575 \text{ pulg}$$

$$A = \frac{2\pi r_s}{12} \times \text{longitud}$$

$$= \frac{2 \times 3.1416}{12 \text{ pulg/pie}} \times 1.6575 \text{ pulg} \times 330 \text{ pies}$$

$$= 286 \text{ pie}^2$$

$$f = 1.65 \frac{\text{Btu}}{\text{h pie}^2\ {}^\circ\text{F}} \qquad \text{(de Tabla 3-6)}$$

$$Q_C = \frac{(194^\circ\text{F} - 81\ {}^\circ\text{F})}{(1.6575 \text{ pulg}) \ln \frac{1.6575 \text{ pulg}}{0.6575 \text{ pulg}} + \frac{1}{1.65 \frac{\text{Btu}}{\text{h pie}^2\,{}^\circ\text{F}}}}{0.28 \frac{\text{Btu pulg esp.}}{\text{h pie}^2\,{}^\circ\text{F}}}$$

$$\times \quad 286 \text{ pie}^2 \times 8\,000 \frac{\text{h}}{\text{año}}$$

$$= 43 \text{ MBtu/año}$$

$$\text{Ahorro} = Q_s - Q_C$$

$$= (252 - 43) \text{ MBtu/año}$$

$$= 209 \text{ MBtu/año}$$

Si el costo de energía es de \$6.00/MBtu el ahorro monetario es:

$$\text{Ahorro} = \text{Ahorro en MBtu/año} \times \text{costo por MBtu}$$

$$= 209 \text{ MBtu/año} \times \$6.00/\text{MBtu}$$

$$= \$1\ 250/\text{año}$$

Análisis económico

El análisis económico tiene que tomar en cuenta lo siguiente:

Ahorro debido a diferentes materiales aislantes
Ahorro debido a diferentes espesores de aislamiento
Costo de los diferentes materiales y espesores
Costo de instalación de aislamiento

Como punto de referencia para empezar los cálculos, se presenta en la Tabla 3-8 espesores recomendados para fibra de vidrio, relacionados con el diámetro de la tubería y la temperatura. En la Tabla 3-9, se presentan valores de K para varios aislantes.

TABLA 3-5

PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS DE ACERO DESNUDAS Y EN SUPERFICIES PLANAS (Btu/hora-pie cuadrado-grado Farenheit)

TAMAÑO TUBERIA plgs	PIES LINEALES FACTOR	DIAMETRO EXTERNO plgs	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (GRADOS FAHRENHEIT) ENTRE SUPERFICIE DE TUBERIA Y AIRE AMBIENTE (AIRE A 80 GRADOS FAHRENHEIT)																			
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
0.50	0.220	0.840	2.12	2.48	2.80	3.10	3.42	3.74	4.07	4.47	4.86	5.28	5.72	6.19	6.69	7.22	7.79	8.39	9.03	9.70	10.42	11.18
0.75	0.275	1.050	2.08	2.43	2.74	3.04	3.35	3.67	4.00	4.40	4.79	5.21	5.65	6.12	6.61	7.15	7.71	8.31	8.95	9.62	10.34	11.09
1.00	0.344	1.315	2.04	2.38	2.69	2.99	3.30	3.61	3.94	4.33	4.72	5.14	5.58	6.05	6.54	7.07	7.64	8.23	8.87	9.55	10.26	11.02
1.25	0.435	1.660	2.00	2.34	2.64	2.93	3.24	3.55	3.88	4.27	4.66	5.07	5.51	5.97	6.47	7.00	7.56	8.16	8.79	9.47	10.18	10.98
1.50	0.497	1.900	1.98	2.31	2.61	2.90	3.20	3.52	3.84	4.23	4.62	5.03	5.47	5.93	6.43	6.96	7.52	8.12	8.75	9.43	10.14	10.89
2.00	0.622	2.375	1.95	2.27	2.56	2.85	3.15	3.46	3.78	4.17	4.56	4.97	5.41	5.87	6.37	6.89	7.45	8.05	8.68	9.36	10.07	10.82
2.50	0.753	2.875	1.92	2.23	2.52	2.81	3.11	3.42	3.74	4.12	4.51	4.92	5.36	5.82	6.31	6.84	7.40	7.99	8.63	9.30	10.01	10.77
3.00	0.916	3.500	1.89	2.20	2.49	2.77	3.07	3.37	3.69	4.08	4.46	4.87	5.31	5.77	6.26	6.79	7.35	7.94	8.57	9.25	9.96	10.71
3.50	1.047	4.000	1.87	2.18	2.46	2.74	3.04	3.34	3.66	4.05	4.43	4.84	5.27	5.73	6.23	6.75	7.31	7.91	8.54	9.21	9.92	10.67
4.00	1.178	4.500	1.85	2.16	2.44	2.72	3.01	3.32	3.64	4.02	4.40	4.81	5.25	5.71	6.20	6.72	7.28	7.87	8.51	9.18	9.89	10.64
4.50	1.309	5.000	1.84	2.14	2.42	2.70	2.99	3.30	3.61	4.00	4.38	4.79	5.22	5.68	6.17	6.69	7.25	7.85	8.48	9.15	9.86	10.61
5.00	1.456	5.563	1.83	2.13	2.40	2.68	2.97	3.28	3.59	3.97	4.35	4.76	5.20	5.65	6.15	6.68	7.23	7.82	8.45	9.12	9.83	10.58
6.00	1.734	6.625	1.80	2.10	2.37	2.65	2.94	3.24	3.55	3.94	4.32	4.72	5.16	5.61	6.10	6.63	7.19	7.78	8.41	9.08	9.79	10.54
7.00	1.936	7.625	1.79	2.08	2.35	2.63	2.91	3.21	3.53	3.91	4.29	4.69	5.13	5.58	6.07	6.60	7.15	7.75	8.38	9.05	9.76	10.51
8.00	2.258	8.625	1.77	2.06	2.33	2.60	2.89	3.19	3.50	3.88	4.26	4.67	5.10	5.55	6.05	6.57	7.12	7.72	8.35	9.02	9.73	10.48
9.00	2.579	9.625	1.76	2.05	2.31	2.59	2.87	3.17	3.48	3.85	4.24	4.65	5.08	5.53	6.02	6.54	7.10	7.69	8.32	8.99	9.70	10.45
10.00	2.814	10.750	1.75	2.03	2.30	2.57	2.85	3.15	3.46	3.84	4.22	4.62	5.05	5.51	6.00	6.52	7.08	7.67	8.30	8.97	9.68	10.43
12.00	3.335	12.750	1.73	2.01	2.27	2.54	2.83	3.12	3.43	3.81	4.19	4.59	5.02	5.48	5.96	6.48	7.04	7.63	8.26	8.93	9.64	10.39
14.00	3.665	14.000	1.72	2.00	2.26	2.53	2.81	3.11	3.41	3.79	4.17	4.57	5.00	5.46	5.94	6.47	7.02	7.61	8.24	8.91	9.62	10.37
16.00	4.189	16.000	1.70	1.98	2.24	2.51	2.79	3.08	3.39	3.77	4.14	4.55	4.98	5.43	5.92	6.44	6.99	7.59	8.21	8.88	9.59	10.34
18.00	4.717	18.000	1.69	1.96	2.22	2.49	2.77	3.07	3.37	3.75	4.12	4.53	4.96	5.41	5.90	6.42	6.97	7.56	8.19	8.86	9.57	10.32
20.00	5.236	20.000	1.68	1.95	2.21	2.47	2.75	3.05	3.36	3.73	4.11	4.51	4.94	5.39	5.88	6.40	6.95	7.54	8.17	8.84	9.55	10.29
24.00	6.283	24.000	1.66	1.93	2.19	2.45	2.73	3.02	3.33	3.70	3.87	4.48	4.90	5.36	5.84	6.36	6.92	7.51	8.14	8.80	9.51	10.26
SUPERFICIE VERTICAL			1.84	2.14	2.42	2.70	3.00	3.30	3.62	4.00	4.38	4.79	5.22	5.68	6.17	6.70	7.26	7.85	8.48	9.15	9.86	10.62
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSFERENCIA HACIA ABAJO			2.02	2.37	2.67	2.97	3.28	3.59	3.92	4.31	4.70	5.12	5.56	6.02	6.52	7.05	7.61	8.21	8.85	9.52	10.24	10.99
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSFERENCIA HACIA ARRIBA			1.61	1.86	2.11	2.36	2.64	2.93	3.23	3.60	3.97	4.37	4.80	5.25	5.73	6.25	6.80	7.39	8.02	8.69	9.39	10.14

TABLA 3-6

COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD DE PELÍCULA DE AIRE - f

Superficie	$\frac{Btu}{h\ pie^2\ °F}$
Superficie vertical	1.46
Superficie horizontal	
Transmisión hacia abajo	1.08
Superficie horizontal	
Transmisión hacia arriba	1.63
Tubería	1.65

Todos los valores son para aire sin movimiento y no incluyen pérdidas por radiación. Son válidos para superficies que se encuentran en edificios y cerca de la temperatura ambiente. Para instalaciones exteriores, se pueden multiplicar los valores del cuadro por 3 para una estimación de f.

Gráfica 3-7 *Conductividad térmica contra temperatura media para aislamiento de fibra de vidrio para tubería*

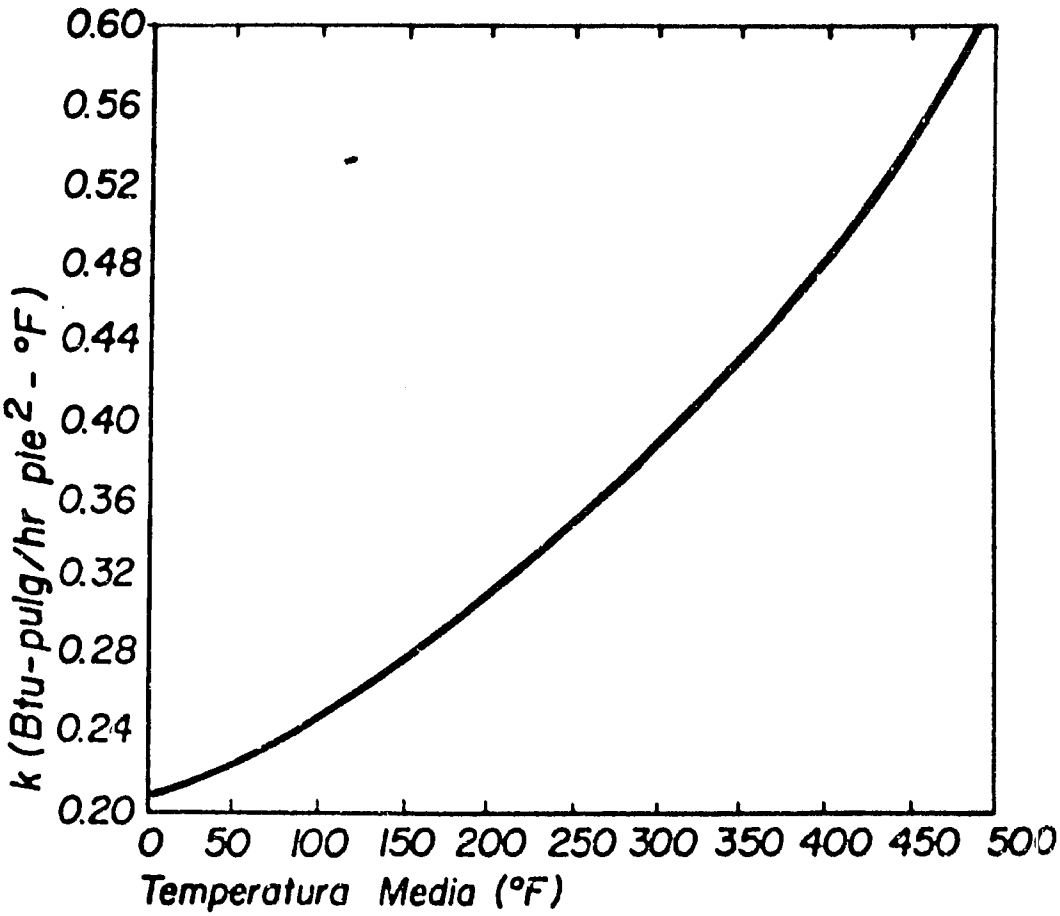


TABLA 3-8

ESPESOR RECOMENDADO (pulgadas) POR TIMA-ETI PARA
AISLAMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO
5 400 HORAS DE OPERACION/AÑO

Diámetro Nominal	Temperatura de operación (°F) 100-199	200-299	300-339	400-499	500-599	600-650
0.50	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0.75	1.0	1.5	.0	2.5	3.0	3.0
1.00	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0
1.50	1.0	1.5	2.5	3.0	3.0	3.0
2.00	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2.50	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.5
3.00	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.5
4.00	1.5	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0
5.00	1.5	2.5	3.0	3.0	4.0	4.5
6.00	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
8.00	1.5	3.0	3.0	3.5	4.5	5.0
10.00	1.5	3.0	3.0	4.0	4.5	5.5
12.00	1.5	3.0	3.0	4.0	5.0	5.5
14.00	1.5	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5
16.00	1.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
18.00	1.5	3.0	3.5	4.5	5.0	6.0
20.00	2.0	3.0	3.5	4.5	5.0	6.0
24.00	2.0	3.0	3.5	4.5	5.0	6.0
30.00	2.0	3.0	4.0	4.5	5.5	6.0
36.00	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0
Plano	2.5	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5

TABLA 3-9

CONDUCTIVIDAD TERMICA Y DENSIDAD DE AISLANTES

Materiales de Aislantes	Intervalo de temperatura °F	Conductividad Btu/(h)(pie^2)(°F/pulg)	Densidad lb/pie^3	Aplicaciones
Espuma de Uretano	-270 a 225	0.11 a 0.14	2.0	Tanques y recipientes
Manta de fibra de vidrio	-270 a 450	0.17 a 0.60	0.60 a 3.0	Enfriadores, tanques (calientes y fríos) equipo de proceso
Láminas de elastoméricas	- 40 a 220	0.25 a 0.27	4.5 a 6.0	Calderas, tanques e intercambiadores
Tablas y bloques de Silicato de calcio	-450 a 1 200	0.22 a 0.59	6.0 a 10.0	Calderas, tragantes revestimiento de chimeneas
Bloques de fibra mineral	hasta 1 900	0.36 a 0.90	10.0 a 13.0	Calderas y tanques
Cañuela de fibra de vidrio	-120 a 850	0.20 a 0.51	1.5 a 3.0	Tuberías

3.3 Sistemas de vapor

Ya que el vapor es agua en la fase de vapor, el primer requerimiento para producirlo es transmitir calor al agua hasta que alcance el punto de ebullición. El vapor es transportado usualmente de la fuente de calor o caldera al proceso final donde tiene lugar la transmisión de calor. Generalmente el agua de alimentación está compuesta por agua fresca (a temperatura ambiente) que entra a un precalentador (o desaireador) donde es calentada cerca de su punto de ebullición, lo que reduce el oxígeno disuelto y el choque térmico cuando entra a la caldera, y por el condensado que retorna del proceso una vez que el vapor ha cedido su calor al mismo. Este condensado cuando es recuperado se mezcla en el desaireador para calentarse junto con el agua fresca.

La calidad del agua empleada en las calderas u otras instalaciones industriales es de gran importancia, ya que las impurezas pueden causar averías tales como: formación de incrustaciones (superficies de transmisión), corrosión (superficies de transmisión de calor y tubería) y arrastre de agua e impurezas con el vapor, lo que reduce la eficiencia de la cadlera.

Para mantener el nivel adecuado de impurezas, es necesario tratar el agua con agentes químicos, lo que se complementa con evaporación y cambio de iones donde se requiere el máximo grado de pureza.

La concentración de sólidos suspendidos y disueltos en el agua de calderas se controla por la remoción de agua con un alto contenido de sólidos y su reemplazo con agua de alimentación con bajo contenido de sólidos. Este proceso que se conoce con el nombre de purga puede ser intermitente, en el fondo de la caldera o continuo. La purga de fondo o

purga de lodos es necesaria para remover cualquier lodo acumulado en la parte más baja del sistema de la caldera. La purga continua es tomada en el punto más alto del domo de separación de vapor o del cuerpo de la caldera (según el tipo de la caldera).

La razón de purga, que se define como la relación de agua purgada respecto a la cantidad de agua alimentada, puede variar hasta un 10 por ciento dependiendo del contenido de impurezas en el agua de alimentación y de la concentración permitida para el agua de la caldera. Por ejemplo, la concentración máxima permitida de sólidos disueltos en el agua de calderas es de 3 500 ppm a 300 psig o presiones de operación más bajas. Si el agua de alimentación contiene 350 ppm de sólidos totales, se necesitará mantener una razón de purga de un 10 por ciento para mantener el nivel de sólidos en la caldera a 3 500 ppm. El calor perdido asociado con la purga de un 10 por ciento, es aproximadamente el 3 por ciento si no se recuperara parte del calor sensible que contiene el agua purgada.

El vapor generado se entrega al proceso por medio del sistema de distribución de vapor, cuyos elementos más importantes son:

- Tubería y accesorios (incluso uniones, codos, válvulas, etc.)
- Trampas de vapor
- Sistema de retorno de condensado

El ingeniero auditor para calcular la eficiencia de un sistema completo de vapor, deberá considerar en su estudio los aspectos anteriores desde el siguiente punto de vista:

- En la tubería de distribución de vapor y de retorno de condensado, válvulas y accesorios, se encuentran a menudo grandes pérdidas de calor, ya sea por falta de aislamiento, aislamiento defectuoso o fugas de vapor vivo (ver sección 3-2 de aislamiento)

Las trampas de vapor, según su modo de operación, se pueden dividir en tres grupos:

- mecánicas (accionadas por diferencia de densidad)
- termostáticas (accionadas por diferencia de temperatura)
- termodinámicas (accionadas por energía cinética)

Las funciones principales de las trampas son remover el condensado sin dejar escapar vapor vivo, remover el aire y el CO_2 tan rápido como se acumulen. Estas tienen un desgaste de sus partes llevándolas después de un periódo de de operación a la deficiencia con la consiguiente pérdida de energía. Es necesario probarlas para determinar si se deben reemplazar, reparar o limpiar.

El sistema de retorno de condensado es el elemento final en el sistema de vapor. Se regresa el condensado al tanque de condensado de la caldera a través de la tubería de condensado. El retorno de condensado puede ahorrar hasta 10% de la energía total consumida para producir vapor e implica ahorro adicional en los químicos para tratamiento de agua fresca y bombeo.

En esta sección se incluyen los casos en las áreas más comunes. Las cuales son:

- reducir la cantidad de purga
- eliminar fugas de vapor
- reparar las trampas de vapor

- retornar el condensado a la caldera
- bajar la presión de operación en el equipo generador de vapor
- bajar la presión de operación en el equipo consumidor de vapor.

3.3.1 Reducir la cantidad de purga

Para mantener un nivel aceptado de sólidos disueltos (3 000 ppm) en el agua de la caldera es necesario purgarla. Parte de la energía que se desperdicia en esta operación se puede economizar, ya que la purga está a la misma temperatura que la del vapor generado en la caldera. Reduciendo al mínimo la purga, se disminuyen las pérdidas de energía y se mejora la eficiencia de la caldera.

Aplicaciones

Se aplica a calderas con presiones menores de 300 psig. Para calderas con presiones mayores de 300 psig, el nivel de STD permisible disminuye de acuerdo con los estándares del "Américan Boiler Manufacturers' Association".

Cálculos

Porcentaje de purga inicial

$$\% P_o = \frac{STDaa}{STDc} \times 100$$

%P = Porcentaje de purga inicial

STDaa = Sólidos totales disueltos en el agua de alimentación

STDc = Sólidos totales disueltos en el agua de caldera

Sufijo o = al inicio

Sufijo f = al final

Vapor producido

$$Vtp = \frac{G \times HHV \times E\ (1-\%P)}{(Ctp - Csaa)} = \frac{CA}{CNPV} \times (1-\%Po)$$

Vt = Vapor total producido

HHV = Contenido calorífico del combustible, Btu/gal

G = Consumo de combustible por año, gal/año

E = Eficiencia de la caldera, en decimales

%V = Porcentaje de vapor producido = 1.00-% P, en decimales

Ctp = Calor total del vapor a la presión de la caldera, Btu/lb

Csaa= Calor sensible del agua de alimentación, Btu/lb

%P = Porcentaje de purga, en decimales

Csar= Calor sensible del agua de reposición, Btu/lb

% AR= Porcentaje de agua de reposición, Btu/lb

CA = Calor aprovechado, MBtu/año

CNPV= Calor necesario para producir una libra de vapor, Btu/lb

Purga inicial (Po)

$$Po = \frac{Vt \times \%\ Po}{(1-\%\ Po)}$$

Purga final (Pf)

$$Pf = Po \times \frac{\%\ Pf}{\%\ Po}$$

Ahorro de purga (Ap)

$$Ap = Po - Pf$$

Ahorro de combustible por reducción de purga

$$\text{Ahorro} = \frac{Ap \times (Ctp - Csar) \times K}{HHV \times E}$$

K = Costo del combustible, $/gal

CASO 3-5

En un sistema de vapor se retorna el 60% del condensado. La caldera opera con una eficiencia del 80%, a una presión de 100 psig, y consume 130 450 gal/año de bunker C (150 000 Btu/gal). Se suministra agua fresca a 77°F y agua de alimentación a 178°F. El STD del agua de alimentación es de 200 ppm y el de agua de caldera 3 000 ppm. ¿Qué ahorro se obtendrá al reducir la purga a 5%?

Condiciones iniciales:

$$\% Po = \frac{STDaa}{STDac} \times 100$$

$$\% Po = \frac{200}{2\ 000} \times 100 = 10\% = 0.10 \text{ en decimales}$$

Vapor producido

$$Vtp = \frac{G \times HHV \times E \ (1-\% Po)}{(Ctp-Csaa)}$$

$$Vtp = \frac{150\ 000\ Btu/gal \times 130\ 450\ gal/año \times 0.80\ (1-0.10)}{(1\ 190-106)\ Btu/lb}$$

$$Vtp = 12.99\ Mlb/año$$

Purga inicial (Po)

$$Po = \frac{Vtp \times \%\ Po}{(1-\%\ Po)}$$

$$Po = \frac{12.99\ Mlb/año \times 0.10}{(1-0.10)}$$

$$Po = 1.44\ Mlb/año$$

Purga final (Pf)

$$Pf = Po \times \frac{\%\ Pf}{\%\ Po}$$

$$Pf = 1.44\ \frac{Mlb}{año} \times \frac{0.05}{0.10}$$

$$Pf = 0.72\ Mlb/año$$

Ahorro de purga (Ap)

$$Ap = Pf - Po$$

$$Ap = (1.44 - 0.72)\ Mlb/año$$

$$Ap = 0.72\ Mlb/año$$

Ahorro de combustible por reducción de purga

$$Ahorro = \frac{Ap \times (Ctp - Car) \times K}{HHV \times E}$$

$$= \frac{0.72\ Mlb/año\ (309-45)\ Btu/lb \times \$\ 0.72/gal}{150\ 000\ Btu/gal \times 0.80}$$

$$Ahorro = \$\ 1\ 140/año$$

Análisis económico

El costo de ejecución sería el control de niveles del STD en el agua de calderas en intervalos regulares.

3.3.2 Eliminar fugas de vapor

Las fugas de vapor en juntas de tubos, válvulas, uniones, etc., representan un considerable desperdicio de energía que se podría eliminar sellándolas o reparando accesorios.

Aplicaciones

La metodología empleada aquí se aplica a fugas de vapor que tienen una longitud de pluma de más de 1 pie.

Cálculos

Costo de vapor por 1 000 libras:

$$\text{Costo} = \frac{K}{HHV \times E} \times (Ct_p - Csaa) \times 1\,000$$

K = Costo de energía por MBtu

Ct_p = Calor total del vapor a presión de vapor de la caldera.

Csaa = Calor sensible del agua de alimentación de la caldera.

Costo anual de energía por fuga:

Determine la longitud de la pluma de vapor o la distancia aproximada a la cual el vapor se condensa en su mano (corriente más allá de la pluma visible). Encuentre en

la coordenada de la gráfica 3-10 la longitud de pluma correspondiente y siga una trayectoria horizontal hasta la respectiva curva de costo de vapor. Luego lea el costo anual de energía en la abscisa. Recuerde que el costo de la gráfica se basa en 8 760 horas de operación por año. Para modificarlo en plantas con diferentes horas de operación:

$$\text{Costo anual actual} = \text{costo anual de la gráfica} \times \frac{(\text{horas actuales})}{8\ 760}$$

CASO 3-6

Existe una fuga de 4 pies de longitud de pluma en una brida de conexión de equipo. El equipo opera 6 600 horas por año. El costo de energía es $6.00/MBtu . La presión del sistema es 110 psig. Se suministra agua de alimentación a la caldera a 138°F. ¿Cuál sería el ahorro de energía y costo al sellar esta fuga?

$$\text{Costo por 1 000 lb vapor} = \frac{K}{HHV \times E} \times (Ctp - Csaa) \times 1000$$

Ctp = Entalpía de vapor a 110 psig
= 1 191 Btu/lb
Csar= Entalpía del agua de alimentación a 138°F
= 106 Btu/lb
Costo= $6.00/MBtu x (1 191 - 106) Btu/lb x 1000
= $6.51 por 1 000 libras de vapor

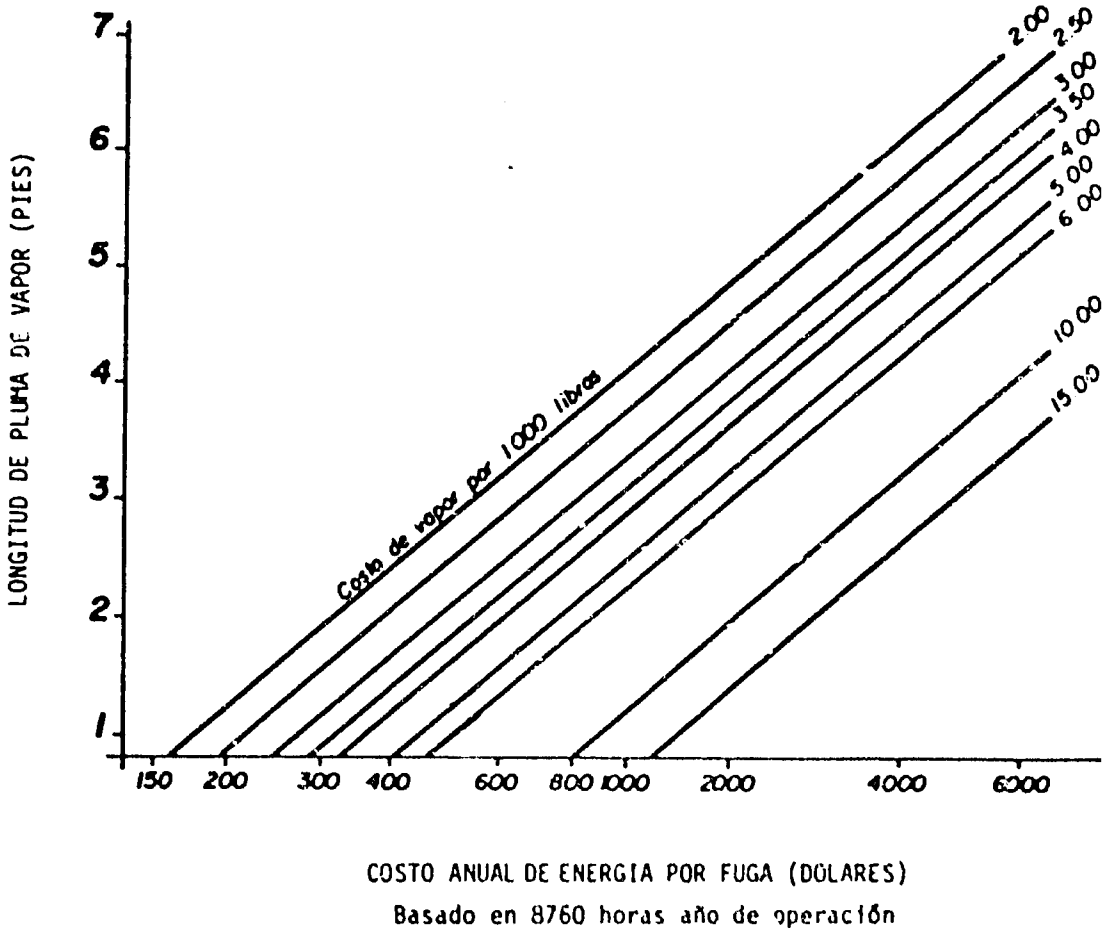
De la Gráfica 3-10, el costo anual de la fuga es de $4200. Siendo las horas de operación anual del equipo de 6600, el costo real de la fuga será:

$$3\ 600 \times \frac{(6\ 600)}{8\ 760}$$

$$= \$2\ 712/\text{año}$$

Análisis económico

En el análisis económico se debe tomar en cuenta el costo de sellar las fugas (cambio de accesorios, válvulas, etc.).



Gráfica 3-10 ***Costo anual de energía por fuga de vapor***

3.3.3 Reparar trampas de vapor

Las trampas de vapor se instalan para remover del sistema de vapor el condensado y gases no condensables sin perder vapor. En una planta típica hasta 40% de las trampas necesitan mantenimiento tanto preventivo como correctivo. Las trampas que fallan o funcionan incorrectamente desperdician grandes cantidades de energía por año.

Aplicaciones

Debido al alto número de trampas y tipos de trampas en una planta típica, este caso enfoca las trampas en general como si fuesen un grupo homogéneo. Entonces, este caso se aplica a cualquier planta que tiene trampas de vapor.

Cálculos

Utilizando el diámetro de orificio de la trampa y la presión de vapor, se determina mediante la tabla 3-11 la pérdida de vapor por año por trampa.

$$\text{Ahorro} = \left((P_1 \times N_1) + (P_2 \times N_2) \right) \times \frac{H}{8\ 760} \times F$$

P = Pérdida debido a trampa 1, 2, etc.

N = Número de trampas 1. 2, etc.

H = Horas de operación por año

F = Factor de falla (a).

NOTA (a): Una encuesta de 260 000 trampas indicó que más del 40% de las trampas han fallado en cualquier momento. Las trampas pueden fallar abiertas, medio abiertas o cerradas por lo que se recomienda considerar una cifra de falla más conservadora. En este caso se utiliza 20%, lo que significa que la pérdida de todas las trampas que fallaron es equivalente a 20% del total de las que no funcionaron bien abiertas.

CASO 3-7

El estudio de un ingeniero de las calderas de una fábrica reveló que habían 25 trampas que funcionaban mal en el sistema de vapor, según se muestra a continuación:

Diámetro de orificio (pulgadas)	Número
1/8	10
5/32	6
3/16	6
1/4	3

La presión del sistema de vapor es de 100 psig y las calderas operan 2 700 horas por año. ¿Cuál será el ahorro en energía y costo si se repara el número de trampas que fallan?

$$\text{Ahorro} = (10 \times 610 \text{ MBtu/año}) + (6 \times 962 \text{ MBtu/año}) + (6 \times 1\,400 \text{ M Btu/año} + (3 \times 2\,410 \text{ MBtu/año})$$

$$\times \frac{2\,700 \text{ horas/año}}{8\,760 \text{ horas/año}} \times (0.20)$$

$$= 1\,695 \text{ MBtu/año}$$

Si el costo de energía térmica es $6.00/MBtu

$$\text{Ahorro} = 1\,695 \text{ MBtu/año} \times \$6.00/\text{MBtu}$$
$$= \$\ 10\,170/\text{año}$$

Análisis económico

Se incluye en el análisis económico el costo de nuevas trampas o la reparación de las viejas más la mano de obra para quitarlas e instalarlas nuevamente.

TABLA 3-11

TASA DE DESCARGA DE LA FUGA DE UNA TRAMPA DE VAPOR

Diámetro del orificio de la trampa (pulgadas)	Pérdida de vapor - Millones Btu/año Presión de vapor (Psig)					
	15	30	50	100	150	200
1/8	160	235	355	610	910	1 180
3/16	370	525	805	1 400	2 050	2 625
1/4	655	875	1 425	2 410	3 640	4 335
3/8	1 470	1 970	3 220	5 430	8 200	10 500
1/2	2 625	3 765	5 720	10 600	14 565	18 800

Basado en 8 760 horas de operación por año.

El vapor se descarga a presión atmosférica.

3.3.4 Retornar condensado a la caldera

El condensado de vapor es agua tratada (purificada) y caliente. El retorno del condensado puede ahorrar hasta un 10% del consumo de combustible de la caldera, y si se utiliza en lugar de agua fresca, hay un ahorro en substancias químicas para tratamiento, energía eléctrica por bombeo, etc.

Aplicaciones

Se aplica a toda clase de calderas de agua. La limitación de su uso depende de razones económicas.

Cálculos

Ahorro= R_c x (Csc - Csar)

R_c = Cantidad de condensado retornado por año
CSc = Entalpía del condensado
Csar= Entalpía del agua de alimentación

Para simplificar los cálculos, la parte (Csc - Csar) puede reducirse a $(T_c - T_{ar}) \times c_p$ donde:

Tc = Temperatura del condensado
Tar = Temperatura del agua de alimentación
Cp = Relación entre la diferencia en temperatura y la entalpía:capacidad calorífica (del agua) = 1 Btu/lb°F

Ahorro en productos químicos para tratamiento:

Ahorro= $AR \times R \times Q_q \times K_q$

AR = Consumo de agua fresca

R = Porcentaje de reducción en consumo de agua fresca debido al retorno del condensado (o sea, porcentaje de regreso del condensado).

Q_q = Unidades de productos químicos para tratamiento por unidad de productos de agua fresca

K_q = Costo de productos químicos por unidad

CASO 3-8

Una planta en la costa actualmente no retorna condensado. Las calderas operan 6 300 horas por año, y producen 8.2 millones de libras de vapor por año. Se suministra agua fresca a 77°F y se trata con 5.44 ml de químicos por cada 100 libras de vapor producido. El costo de los químicos es de $3.68/litro. ¿Qué ahorros en energía y costo se obtendrían recuperando el 80% del condensado a una temperatura de 194°F?

Ahorro energético = $R_c \times (T_c - T_{ar}) \times c_p$

R_c = porcentaje del condensado que ha de retornar x libras de vapor total

= $0.80 \times 8.2 \times 10^6$ lb vapor/año

= 6.6×10^6 lb/año

Ahorro= 6.6×10^6 lb/año x (194 - 77)°F x 1 Btu/lb°F

= 772 MBtu/año

Si el costo de energía es $6.00/MBtu, el ahorro monetario es:

Ahorro= Ahorro en millones de Btu/año x costo por millón de Btu

= 772 MBtu/año x $6.00/MBtu

= $4 632/año

Ahorro en tratamiento = AR x R x Q_q x K_q

= 8.2×10^6 lb vapor/año x 0.80
5.44 ml/100 lb vapor x $3.68/l x 1/1 000 ml

= $ 1 313/año

Ahorro total = $(4 632 + 1 313)/año

= $5 945/año

Análisis económico

En el análisis económico se debe incluir lo siguiente:

Costo de tubería
Costo de aislante
Instalación
Posible temperatura de retorno de condensado
Porcentaje del condensado que podría retornar
Accesorios y bombeo

3.3.5 Bajar presión de operación del sistema de vapor

Generalmente el vapor se genera a la presión mayor requerida en el sistema de distribución de acuerdo a los requerimientos de presión de temperatura del sistema. Algunas veces, se genera a una presión aún mayor de la mayor requerida en lo diferentes equipos o áreas de consumo. En estos casos existe la posibilidad de bajar la presión disminuyendo las pérdidas por radiación en tuberías y equipo de vapor así como pérdidas por vapor instantáneo (flasheo).

Aplicaciones

Se aplica a cualquier sistema de vapor donde se pueda reducir la presión, tomando en cuenta las limitaciones del sistema de distribución del vapor. Usar como referencia una reducción de presión no mayor del 20%.

Cálculos (Ver gráfica 3-12)

Vapor necesario para el proceso (Vp)

$$Vp = \frac{Q}{Clp} \quad (lb/año)$$

Q = Calor necesario para el proceso (Btu/h)

Clp = Calor latente del vapor a la presión del vapor de la caldera (Btu/lb)

Vapor instantáneo (Vi)

$$Vi = Vp \times \frac{(Csp - Csa)}{Cla} \quad (lb/año)$$

$\frac{Csp - Csa}{Cla}$ puede determinarse a partir de la Gráfica 3-13

Csp = Calor sensible a la presión de vapor de la caldera (BTu/lb)

Csa = Calor sensible a la presión de vapor a la atmósfera (Btu/lb)

Cla = Calor latente a la presión de vapor a la atmósfera (Btu/lb)

Vapor necesario para calentar el condensado a la presión de la caldera (Vc)

$$Vc = (Vp - Vi) \times \frac{Csp - Csc}{Clp} \quad (lb/año)$$

Csc = Calor sensible del condensado (Btu/lb)

Vapor necesario para calentar el agua de reposición a la presión de la caldera (Var)

$$Var = Vi \times \frac{Csp - Csar}{Clp} \quad (lb/año)$$

Csar= Calor sensible del agua de reposición (Btu/lb)

Vapor necesario para calentar el condensado y el agua de reposición a la presion de la caldera (Vr)

Vr = Vc + Var (lb/año)

Vapor total necesario para el proceso, condensado y agua de reposición (Vt)

Vt = Vp + Vr (lb/año)

Retorno de condensado (RC) y agua de reposición (AR)

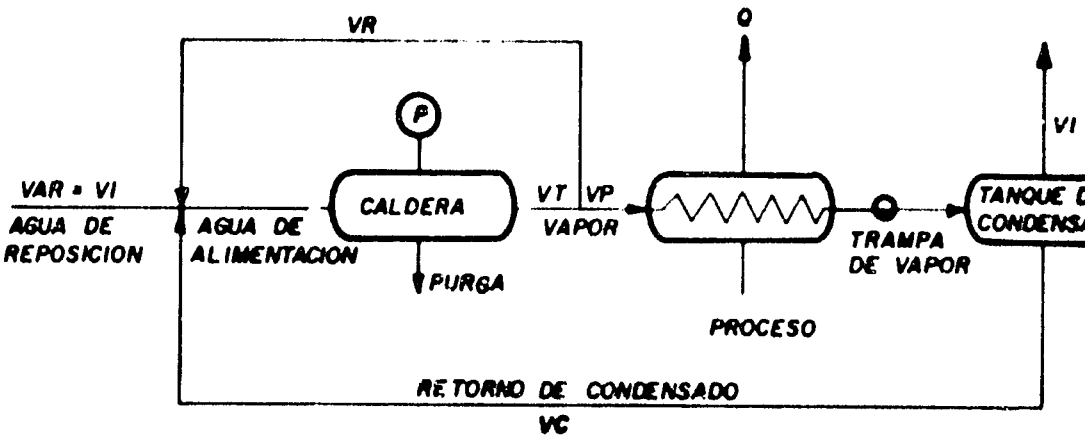
$$RC = \frac{Vp - Vi}{Vt} \text{ (decimales)}$$

AR = 1.00 - RC

Calor necesario para producir vapor a la presión P (CNPV)

CNPV= (Ctp -Csc) x RC + (Ct - Car) x AR

C_t = Calor total a la presión de vapor de la caldera (Btu/lb)



Gráfica 3-12 Reducción de presión en sistemas de vapor

$$VP = \frac{Q}{CLP}$$

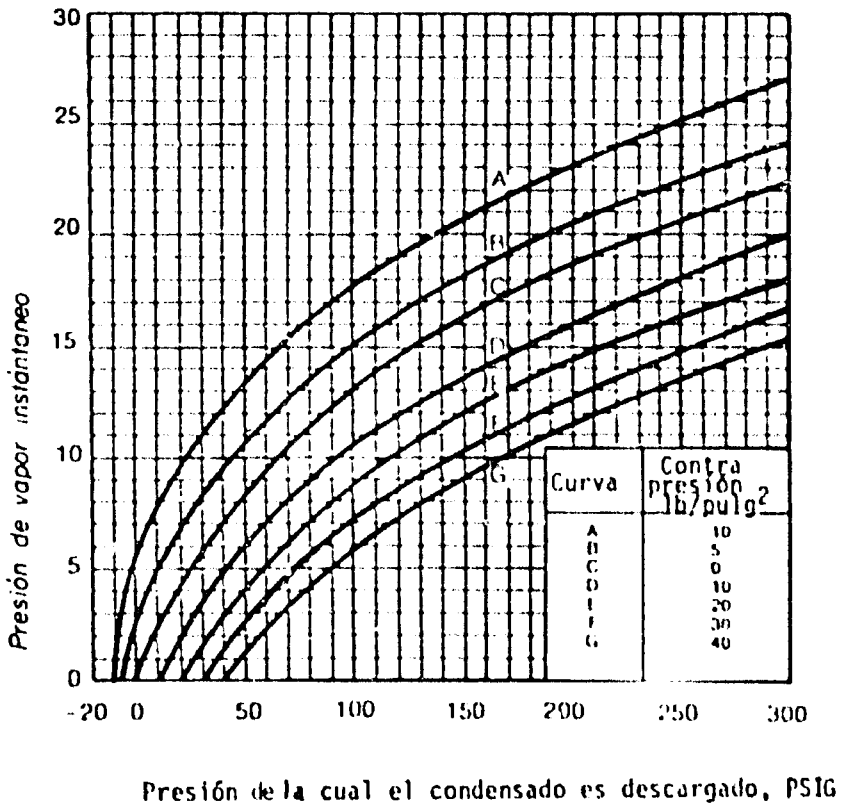
$$VI = VP \times \frac{CSP - CSA}{CLA}$$

$$VC = (VP - VI) \times \frac{CSP - CSC}{CLP}$$

$$VAR = VI \times \frac{CSP - CSAR}{CLP}$$

$$VR = VC + VAR$$

$$VT = VP + VR$$



Gráfica 3-13 Porcentaje de vapor instántaneo

Costo de la energía aprovechable (CEA)

$$CEA = \frac{K}{HHV \times E}$$

K = Costo del combustible ($/gal)
HHV = Valor calorífico del combustible (Btu/gal)
E = Eficiencia de la caldera

Costo del vapor a la presión P (CVP)

$$CVP = CNPV \times CEA \times 1\ 000 \ (\$/1\ 000\ lb)$$

Ahorro por reducción de presión de vapor (ARPV)

$$ARPV = Vt_1 \times CVP_1 - Vt_2 \times CVP_2 \ (\$/año)$$

CASO 3-9

Un sistema opera a 125 psig. Se determina que la presión máxima requerida es de 100 psig. El proceso requiere de 3 650 MBtu/año. El sistema opera bajo las siguientes condiciones:

- El sistema de retorno de condensado es abierto a la atmósfera

La caldera quema Bunker con un contenido calorífico de 150 000 Btu/gal (HHV) con un costo de $0.72/gal

El condensado retorna a la caldera a 212 °F

El agua de reposición está a 80°F

¿Cuál es el ahorro por reducción de presión?

Vapor total a 125 psig

$$Vp_1 = \frac{Q_1}{Clp_1} = \frac{3\ 650\ MBtu/año}{868\ Btu/lb} = 4.20\ Mlb/año$$

$$Vi_1 = Vp_1 \times \frac{Csp_1 - Csa}{Cla} = 4.20\ Mlb/año \times$$

$$\frac{(325 - 180)\ Btu/lb}{971\ Btu/lb} = 0.63\ Mlb/año$$

$$Vc_1 = (Vp_1 - Vi_1) \times \frac{Csp_1 - Csc}{Clp_1} = (4.20 - 0.63) \times Mlb/año$$

$$\frac{(325 - 180)\ Btu/lb}{868\ Btu/lb} = 0.60\ Mlb/año$$

$$Var_1 = Vi_1\ \frac{Csp_1 - Csar}{Clp1} = 0.63\ Mlb/año \times$$

$$\frac{(325 - 48)\ Btu/lb}{868\ Btu/lb} = 0.20\ Mlb/año$$

$$Vr_1 = Vc_1 + Var_1 = (0.60 + 0.20)\ Mlb/año$$
$$= 0.80\ Mlb/año$$

$$Vt_1 = Vp_1 + Vr_1 = (4.20 + 0.30)\ Mlb/año$$
$$= 5.00\ Mlb/año$$

<u>Vapor total a 100 psig</u>

$$Vp_2 = \frac{Q_2}{Clp_2} = \frac{3\ 650\ Mbtu/año}{881\ Btu/lb} = 4.14\ Mlb/año$$

$$Vi_2 = Vp_2 \times \frac{Csp_2 - Csa}{Cla} = 4.14\ Mlb/año \times$$

$$\frac{(309 - 180)\ Btu/lb}{971\ Btu/lb} = 0.55\ Mlb/año$$

$$Vc_2 = (Vp_2 - Vi_2) \times \frac{Csp_2 - Csc}{Clp_2} = (4.14 - 0.55)\ lb/año$$

$$\times \frac{(309-180)\ Btu/lb}{881\ Btu/lb} = 0.52\ Mlb/año$$

$$Var_2 = Vi_2 \times \frac{Csp_2 - Csar}{Clp_2} = 0.55\ Mlb/año$$

$$\times \frac{(309 - 48)\ Btu/lb}{881\ Btu/lb} = 0.16\ Mlb/año$$

$Vr_2 = Vc_2 + Var_2 = (0.52 + 0.16)$ Mlb/año

$= 0.68$ Mlb/año

$Vt_2 = Vp_2 + Vr_2 = (4.14 + 0.68)$ Mlb/año

$= 4.82$ Mlb/año

Retorno de condensado (RC)

$$RC = \frac{Vp - Vi}{Vt}$$

Retorno de condensado (RC)

$$RC_1 = \frac{4.20 - 0.63}{5.00} = 0.714 = RC_1 \quad AR_1 = 0.286$$

$$RC_2 = \frac{4.14 - 0.55}{4.82} = 0.745 = RC_2 \quad AR_2 = 0.255$$

Calor necesario para producir vapor a la presión P (CNPV)

$CNPV = (Ctp - Cac) \times RC + (Ct - Car) \times AR$

Ct = Calor total a la presión de vapor de la caldera Btu/lb

$CNPV_1 =$ (1 193 - 180) Btu/lb x 0.714 + (1193 - 48) Btu/lb x 0.286 = 1 051 Btu/lb

$CNPV_2 =$ (1190 - 180) Btu/lb x 0.745 + (1190 - 48) Btu/lb x 0.255

$CNPV_2 =$ 1 044 Btu/lb

Costo de la energía aprovechable (CEA)

$$CEA = \frac{K}{HHV \times E} = \frac{\$0.72/gal}{150\ 000\ Btu/gal \times 0.80}$$

$$CEA = \frac{\$6.00}{MBtu}$$

Costo del vapor a la presión P (CVP)

CVP= CNPV x CEA

CVP_1= 1 051 Btu/lb x \$6.00/MBtu x 1 000 = \$ 6.306/ 1000 lb vap

CVP_2= 1044 Btu/lb x \$6.00/MBtu x 1 000 = \$6.264/1000 lb vapor

Ahorro por reducción de presión de vapor (ARPV)

ARPV= $Vt_1 \times CVP_1 - Vt_2 \times CVP_2$

ARPV= 5.00 Mlb/año x \$6.306/1000 lb - 4.82 Mlb/año x \$6.264/1 000 lb

ARPV= \$(31 530 - 30 192)

ARPV= \$1 338 (4.24%)

3.3.6 Bajar presión de operación en el equipo consumidor de vapor

Generalmente el vapor se genera a la presión mayor requerida en el sistema de distribución de acuerdo a los requerimientos de presión y temperatura del sistema. Algunas veces esta presión a la cual se genera el vapor no puede disminuirse debido a que existen equipos que lo consumen a dicha presión; sin embargo, puede darse el caso (usualmente sucede) que otros equipos consumen vapor de la misma fuente a una presión bastante menor. En este caso la presión de vapor se reduce antes del equipo consumidor de vapor, obteniéndose de esta manera un gran ahorro.

Aplicaciones

Se aplica en cualquier sistema de vapor donde se puede reducir la presión antes del equipo consumidor de vapor, habiéndose ya reducido la presión a la que se genera el vapor a un mínimo permisible.

Cálculos

Vapor ahorrado (V_a)

V_a = Vp x %Va

V_p = Vapor utilizado en el proceso, Mlb/año

$\%V_a$ = Porcentaje de vapor ahorrado (de Gráfica 3-14) se calcula tomando en cuenta la presión actual y la nueva presión reducida de vapor.

Ahorro por reducción de presión en equipo

Ahorro= V_a x costo de 1000 lb vapor
Va = Vapor ahorrado, Mlb/año

CASO 3-10

Un secador de aire forzado para secar ropa utiliza como medio de calentamiento vapor que fluye a través de un haz de tubos perpendiculares al ducto de aire que entra al secador.

Actualmente el vapor fluye a 100 psig. Se determina por medio de balances de energía (psicrométricos) que el secador puede operar con vapor a 25 psig.

Si el costo del vapor es de $6.23/1000 lb y el consumo de vapor en el equipo es de 20.64 Mlb/año, calcular el ahorro anual.

Vapor ahorrado (V_a)

V_a = V_p x % V_a

V_p = Vapor utilizado en el proceso

%V_a = (De gráfica 3-14) tomando como parámetro la presión actual (100 psig) y la presión reducida del vapor (25 psig), se obtiene un porcentaje de vapor ahorrado del 14%.

V_a = 20.64 Mlb/año x 0.14 = 2.89 Mlb/año

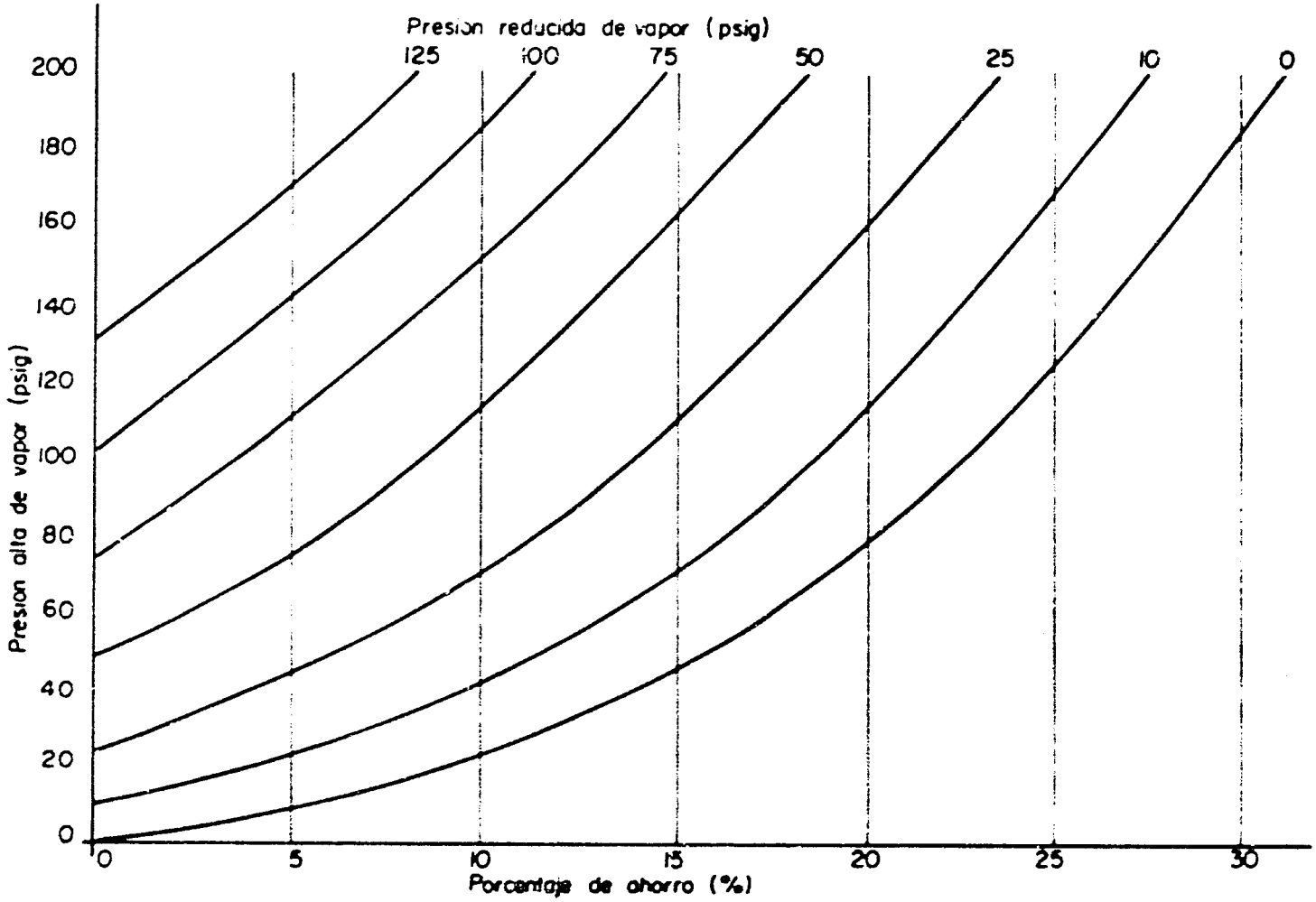
Ahorro por reducción de presión en equipo

Ahorro= V_a x costo de 1000 lb vapor

Ahorro= 2.89 Mlb/año x $6.23/1 000 lb

= $18 000/año

Gráfica 3-14 Porcentaje de ahorro de vapor al reducir presión en equipo



3.4 Sistema de calentamiento de agua

La energía consumida en calentamiento de agua en edificios comerciales y hoteles puede llegar a ser del orden de un 4%.

Las oportunidades de conservación de energía en el sistema de agua caliente son:

- Disminuir la temperatura del agua
- Disminuir la cantidad de agua
- Reparar fugas
- Aislar tuberías y tanques de agua caliente
- Incrementar la eficiencia del generador de agua caliente

Consumo de agua caliente y su temperatura

Para la utilización eficiente del agua caliente, se tomará como referencia la Tabla 3-15, la cual relaciona el consumo con la utilización.

Usualmente el agua es utilizada a 150°F, ya sea calentándose a esta temperatura o a una temperatura mayor mezclándola con agua fría antes de ser utilizada.

Se debe tomar en cuenta que el almacenar agua a mayor temperatura, representa mayores pérdidas por conducción y

radiación en el sistema de tubería y tanques de almacenamiento.

Para el calentamiento del agua, se puede utilizar:

- Calentamiento por medio de quemadores de aceite combustible con su tanque primario de almacenamiento integrado.

- Tanque primario con calentamiento utilizando como medio; "vapor de agua"

- Unidades de calentamiento individuales sin tanque de almacenamiento.

- Unidades de calentamiento individuales con tanques de almacenamiento integrado.

TABLA 3-15

USO PROMEDIO DE AGUA CALIENTE

Descripción	Uso promedio
Edificios de oficinas (sin servicios de cafetería o cocina)	2 a 3 galones por persona por día para lavamanos y limpieza (basado en un promedio de ocupación permanente, el cual incluye visitantes diarios).
Tiendas (sin servicios de cafetería o cocina)	1 galón por cliente por día.
Cocinas y cafeterías con lavadoras para platos y lavamanos	3 galones por comida más 3 galones por empleado por día.
Escuelas	
Internados	25 galones por persona por día
Diurnos	3 galones por persona por día (no incluye cafetería)
Apartamentos	
De renta alta	30 galones por persona por día
De renta baja	20 galones por persona por día
Hospitales	
Medicina	30 galones por persona por día
Cirugía	50 galones por persona por día
Maternidad	50 galones por persona por día
Salud Mental	25 galones por persona por día
Hoteles	30 galones por persona por día

3.4.1 Reducción de la temperatura del agua de calentamiento

Al reducir la temperatura de calentamiento, se reduce la carga total, estando ésta constituida por la carga de calentamiento y la de distribución.

Cálculo de la carga de calentamiento:

$$Q_1 = \dot{m}\,\Delta T$$

Donde:

Q_1 = Carga de calentamiento (Btu/año)
$\dot{m}$ = Cantidad de agua utilizada (lb/año)
ΔT = Diferencia de temperatura, entre la temperatura entrando al calentador y la del agua caliente en el lugar de utilización

Cálculo de la carga de distribución:

$$Q = \dot{m}\,\Delta T_2$$

Q_2 = carga de distribución:
$\dot{m}$ = cantidad de agua utilizada (lb/año)
ΔT_2 = diferencia de temperatura, entre la temperatura de calentamiento y la de utilización.

Carga total:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

La gráfica 3-16 muestra la energía necesaria para calentamiento de agua a varias temperaturas y sus flujos.

Esta gráfica se basa en una temperatura inicial de 50°F y 251 días de operación al año.

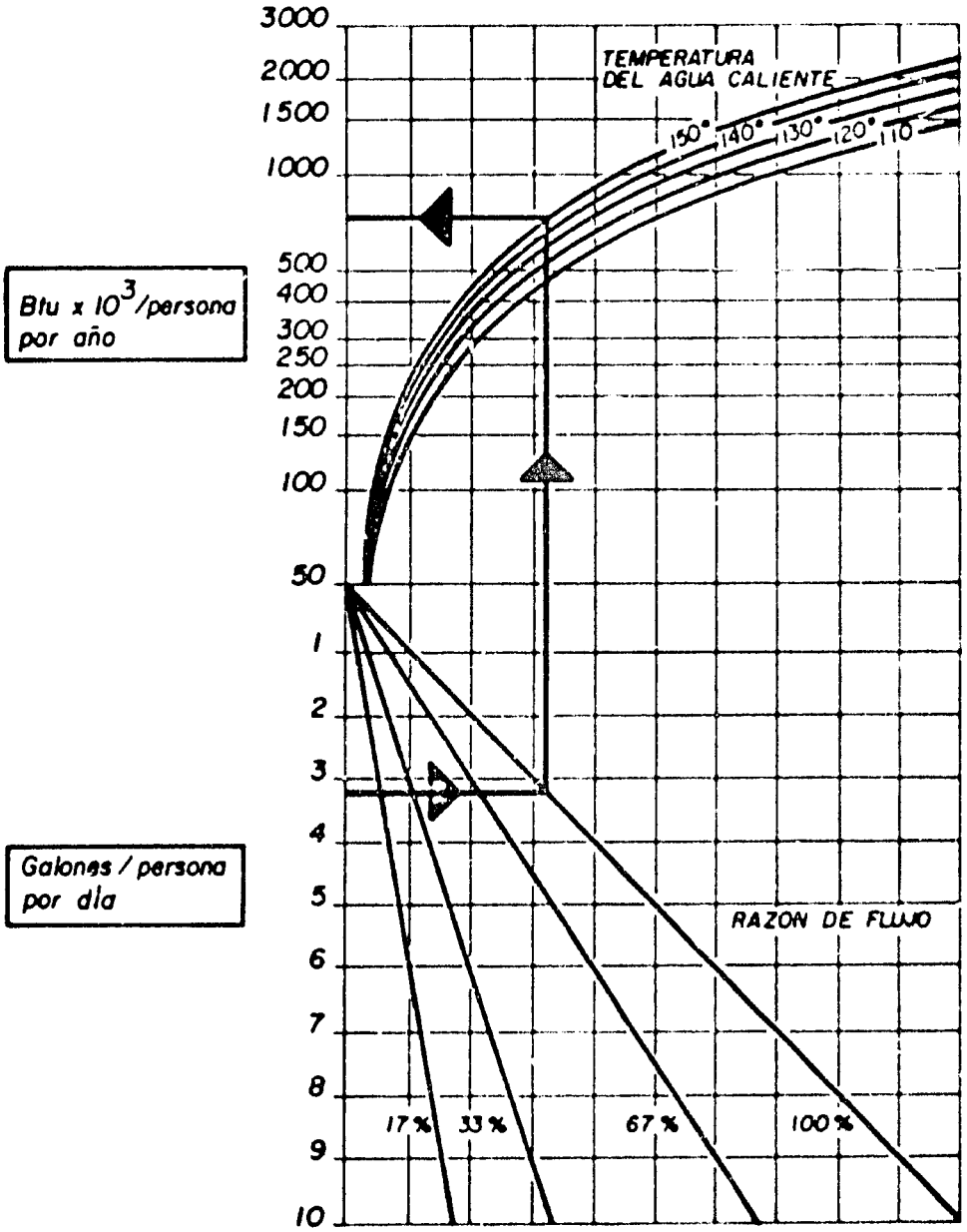
La cantidad real de energía requerida pra abastecer la carga total, depende de la eficiencia del calentador, la cual varía de acuerdo al tipo de calentador y al combustible utilizado. Las eficiencias promedio se encuentran en la Tabla 3-17.

Para la determinación real del consumo de energía, se divide el valor obtenido de la gráfica 3-16, entre la eficiencia promedio del calentador.

$$Q \text{ real} = Q/E$$

Si la temperatura del agua entrando difiere de 50°F, (tomada como base en la gráfica 3-16) el valor de la energía consumida anualmente se ajusta de la siguiente manera: Si la temperatura del agua entrando es de 60°F y la temperatura de calentamiento 150°F, el factor al que hay que multiplicar la energía utilizada al año (de gráfica 3-16), es el siguiente:

$$\frac{150\ ^{\circ}F - 60\ ^{\circ}F}{150\ ^{\circ}F - 50\ ^{\circ}F} = 0.9$$



Gráfica 3 - 16 Energía requerida para agua caliente

NOTA: Esta gráfica está basada en una temperatura de agua entrando de 50°F y 251 días / año.
Los días / año están basados en el tiempo en que el agua se utiliza.

TABLA 3-17

EFICIENCIAS PROMEDIO PARA CALENTADORES DE AGUA CALIENTE

- Uso de calderas de aceite combustible durante todo el año, pero sólo con carga para calentamiento de agua durante el verano: 45%
- Uso de calderas de aceite combustible durante todo el año pero sólo con carga para enfriamiento con absorción: 70%
- Uso de calderas de gas durante todo el año, pero sólo con cargas para calentamiento de agua durante el verano: 50%
- Uso de calderas de gas durante todo el año, pero sólo con cargas para enfriamiento con absorción: 75%
- Calentadores de agua caliente quemando aceite: 70%
- Calentadores de agua caliente quemando gas: 75%
- Calentadores de agua caliente eléctricos: 95%
- Calentadores de agua caliente quemando carbón: 45%

CASO 3.11

Un edificio de oficinas está ocupado por 500 personas, cada una de ellas utiliza 3 galones de agua caliente por día, durante 250 días al año.

El agua entra al calentador a 60 °F (promedio del año) y es calentada a 150 °F y utilizada a 130 °F.

El agua caliente se genera en una caldera de aceite combustible #2, el cual posee una capacidad calorífica de 140 000 Btu/galón (ver apéndice). Calcular la cantidad de combustible economizado al reducir la temperatura de utilización a 90 °F.

Determinación de la carga:

Carga del edificio:

$$\dot{m} = 500 \text{ personas} \times \frac{3 \text{ gal}}{\text{persona - día}} \times 250 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{8.3 \text{ lb}}{\text{galón}} = 3\ 112\ 500 \frac{\text{lb}}{\text{año}}$$

$$Q_1 = 3\ 112\ 500 \frac{\text{lb}}{\text{año}} (130\ ^\circ\text{F} - 60\ ^\circ\text{F}) = 217.875 \text{ MBtu/año}$$

Carga de distribución:

$$Q_2 = 3\ 112\ 500\ \frac{lb}{año}\ (150\ ^{\circ}F - 130^{\circ}F) = 62.25\ MBtu/año$$

Carga total:

$$Q = 217.875 + 62.25 = 280.125\ MBtu/año$$

Cálculo de la energía utilizada

$$E = 0.45\ (de\ Tabla\ 3\text{-}17)$$

$$Q\ real = \frac{280.125\ MBtu/año}{0.45} = 622.5\ MBtu/año$$

Consumo de combustible:

$$\frac{622.5\ MBtu/año}{0.14\ MBtu/galón} = 4\ 446\ galones$$

Ahorro de combustible:

$$4\ 446\ gal \times \frac{90\ ^{\circ}F}{130\ ^{\circ}F} = 3\ 078\ galones$$

$$4\ 446\ gal - 3\ 078\ gal = 1\ 368\ galones$$

ó sea que disminuyendo la temperatura de abastecimiento del agua caliente en 40 °F, se ahorran, 1 368 galones de aceite combustible #2.

3.4.2 Reducir la cantidad de agua caliente

Al reducir la cantidad de agua caliente a utilizar se consiguen tres tipos de ahorro; el debido al consumo de energía para bombear el agua, la reducción del agua utilizada y el ahorro en químicos para hidro tratamiento. El consumo de agua en edificios puede ser disminuido hasta 1 1/2 galón/día.

CASO 3-12

Un edificio de oficinas está ocupado por 500 personas, cada una de las cuales utiliza 3.5 galones de agua caliente por día durante 250 días al año.

El agua entra al calentador a 40 °F y es calentada a 150 °F. Este calentador diesel tiene una eficiencia de 0.75. Calcular la energía ahorrada, si el promedio de agua caliente utilizada es reducido un 33% y el agua calentada a 120 °F.

De Gráfica 3-16

Tomando como base 3.5 galones/persona por día, se traza una línea horizontal hasta interceptar la línea de 100% de flujo y luego verticalmente hasta interceptar la línea de 150°F y horizontalmente leer la energía utilizada al año, la cual es de 800 x 10^3 Btu/persona por año.

Utilizar el mismo procedimiento interceptando con la línea del 33% de flujo y luego verticalmente hasta 120 °F y horizontalmente leer la energía utilizada al año, la cual es de 190 x 10^3 Btu/persona por año.

Energía ahorrada:

$$(800 \times 10^3 - 190 \times 10^3) \frac{\text{Btu}}{\text{pers-año}} \times 500 \text{ personas}$$

$$= 305 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{año}}$$

Si el costo del combustible es de $ 1.07/gal, el ahorro en dinero será:

$$305 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{año}} \times \frac{\text{galón}}{140\ 000 \text{ Btu}} \times \frac{\$1.07}{\text{galón}} = \$2\ 331/\text{año ahorrados}$$

CAPITULO 4

AUDITORIA DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

La auditoría del Sistema de Energía Eléctrica requiere que se reuna la siguiente información:

1. Tarifa de la Tasa Eléctrica
2. Estudio del Sistema de Iluminación existente
3. Características del Sistema de Distribución
   a. Cargas del motor
   b. Factor de potencia y demanda

Los formularios típicos para reunir información se ilustran al final de este Capítulo, en los formatos: 1, 2 y 3.

Antes que una instalación pueda ser analizada, deberá tenerse un conocimiento detallado y cuidadoso de la forma cómo se factura el consumo de electricidad. La auditoría deberá descubrir qué acciones deberán ponerse en práctica y también un análisis efectivo del beneficio y los costos.

Cada componente de la auditoría se discute en esta sección.

4.1 TARIFA ELECTRICA

Los cargos básicos de la tarifa eléctrica contienen los siguientes elementos:

- DEMANDA DE FACTURACION

Consiste en el requerimiento (kW) máximo registrado en un intervalo de 15, 30, ó 60 minutos.

- FACTOR DE CARGA

Es la relación de la carga promedio, sobre un período designado, a la carga de demanda pico, o máxima, que ocurre en ese período

- FACTOR DE POTENCIA

Es la relación de potencia efectiva (kW) respecto a la potencia aparente (KVA). Tradicionalmente, las tarifas eléctricas tienen un costo decreciente del kilovatio hora (kWh) con el nivel de consumo. Las tarifas contienen los elementos siguientes:

- HORA DEL DIA

Se conceden descuentos por uso de la electricidad fuera de las horas pico.

- CARGO POR REDUCCION DE DEMANDA

La demanda de facturación se basa en el 80% (ó 90%) de la demanda pico para un mes cualquiera. La demanda de facturación permanecerá a tal nivel durante 12 meses aún cuando la demanda real para los meses sucesivos pueda ser menor (1).

El efecto de los cambios en las tarifas eléctricas puede ser muy importante tal como se ilustra en Caso 4-1.

---

(1) NT: Este criterio dependerá de la tarifa aplicada y varía en los diferentes países en Centroamérica. Se recomienda consultar a las empresas de suministro de electricidad local.

CASO 4-1

En una empresa se consumían 390 000 kWh al año y operaban con una tarifa (T3). El costo por dicho consumo era, aproximadamente, de $ 34 000. La compañía generadora de energía eléctrica en ese lugar, concede descuentos por el uso de electricidad (reducción de demanda kW) fuera de las horas pico.

La auditoría determinó cuál era el área de mayor consumo y se re-organizó la producción con el objeto de usar al mínimo la energía en dichas horas. (Posteriormente, la empresa puede usar su equipo, que no se le cobrará por demanda usada).

Desarrollo:

Con base a 200 kW

- los primeros 27 kW	$ 178.00
- los siguientes 40 kW	$ 265.00
- resto (200-67) x $10/kW	$1 330.00
	$1 773.00/mes

Costo por demanda anual = $1 773.00 x 12 meses
= $21 176.00

Reduciendo la demanda, por trabajar fuera de las horas pico, se tiene una reducción de:

- los primeros 27 kW	$ 178.00
- los siguientes 40 kW	$ 265.00
- resto (120-67) x $10/kW	$ 530.00
	$ 973.00

Costo por demanda anual = $973.00 x 12 meses
= $11 676.00

Diferencia de costo por reducción de demanda:
(21 276.00 - 11 676.00)$ = $ 9 600.00

Los gastos que se incurren por este corrimiento de horas de operación son:

Costo por pago de la hora extra, por trabajo nocturno y posiblemente transporte

Analizando, en el caso de esta empresa se determinó que la hora extra por 4 operadores anualmente es de:

- costo por operador	$560.00
- por transporte	$300.00
	$860.00

El ahorro total anual está dado por:

$9 600.00 - $860.00 = $8 740.00

El período simple de recuperación será:

$$PSR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} \times 12 \text{ meses}$$

$$PSR = \frac{\$860}{\$9\ 600/\text{año}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} = 1 \text{ mes}$$

4.2 AUDITORIA DEL SISTEMA DE ALUMBRADO

Para realizar una auditoría del alumbrado se requiere la siguiente información:

- Clasificación de la habitación: Oficina, almacén, etc.

- Características de la habitación: altura, ancho, fondo o longitud, y color.

- Características de los accesorios: clase de lámpara, altura de la moldura de los accesorios, balasto y potencia en vatios de la lámpara, más nivel medido de iluminación (en pie-candela)

Esta información no sólo proporcionará ciertos índices del funcionamiento, tales como vatios/pie cuadrado, sino también brindará suficientes datos para un análisis técnico. El método más común usado para calcular los requerimientos de iluminación se refieren como el método lumen.

4.2.1 METODO LUMEN

$$N = \frac{F_1 \times A}{Lu \times L_1 \times L_2 \times Cu}$$ **Fórmula (4-1)**

DONDE

N = Es el número de lámparas requeridas

F_1 = Es el nivel requerido de pie-candela para el trabajo. Un pie-candela es una medida de iluminación; la potencia de una candela estándar medida un pie hacia afuera.

A = Es el área de la habitación en pies cuadrados

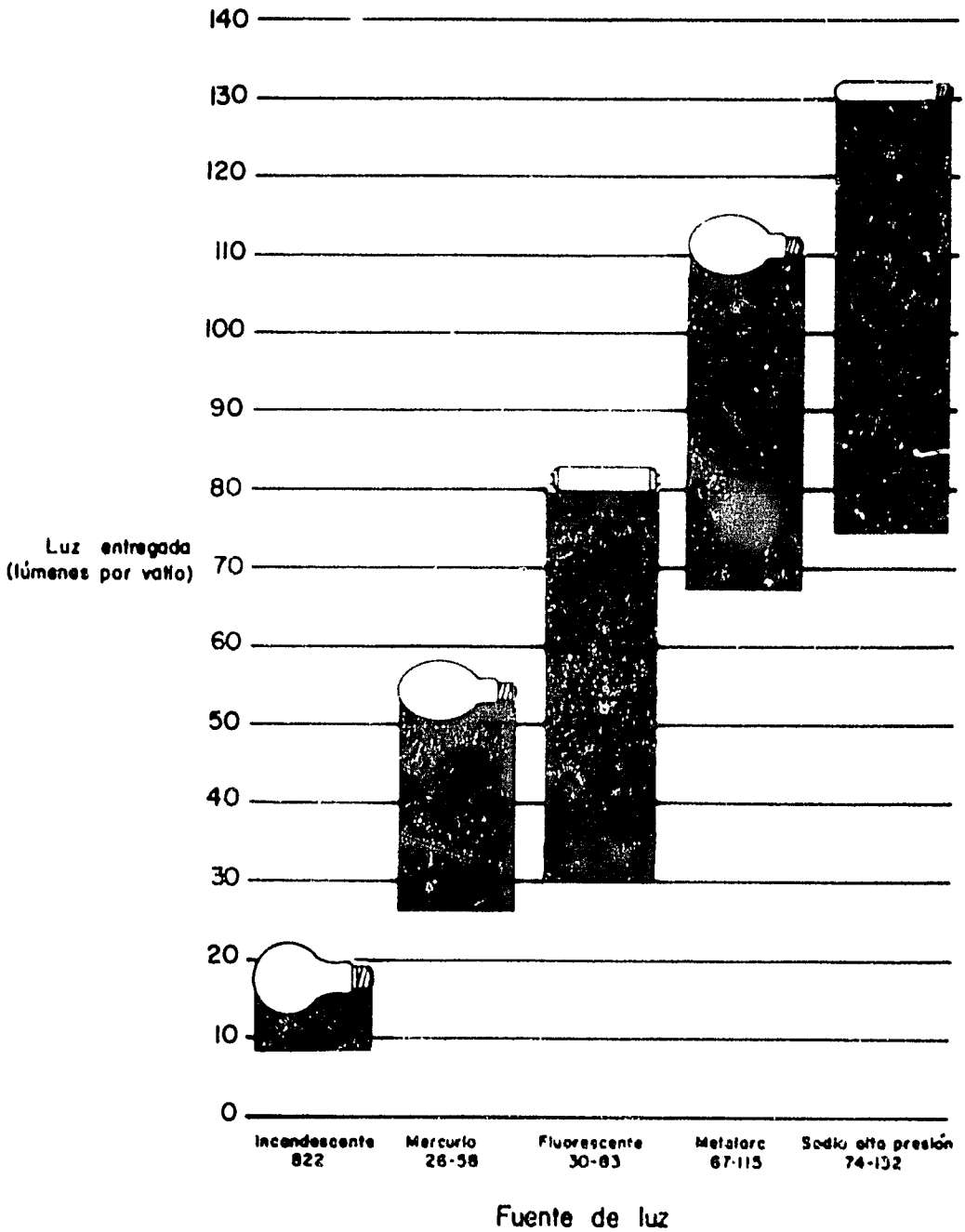
Lu = Es la potencia de salida de lúmenes por lámpara. Un lúmen es una medida de la intensidad de la lámpara. Su valor se encuentra en el catálogo del fabricante.

Cu = Es el coeficiente de utilización. Representa la razón de lúmenes que alcanzan el plano de trabajo respecto al total de lúmenes generados por la lámpara. El coeficiente de utilización toma en consideración la luz absorbida o reflejada por paredes, cielos rasos, y por el accesorio mismo. Sus valores se encuentran en el catálogo del fabricante.

L_1 = Es el factor de depreciación de lámpara. Toma en consideración que el lumen de la lámpara se deprecia con el tiempo. Su valor se encuentra en el catálogo del fabricante.

L_2 = Es el factor de depreciación del polvo de la luminaria (de la lámpara). Toma en cuenta el efecto del polvo sobre una luminaria, y varía según el tipo de aparato y la atmósfera en la cual se opera.

La fórmula del método Lumen ilustra varias formas en que la eficiencia del alumbrado puede mejorarse. Primero, debe ser analizada la clase de lámpara que directamente afecta la salida, o el rendimiento en lúmenes. La Gráfica 4-1 ilustra las salidas de lúmenes de varias clases de lámparas.



Gráfica 4-1 Eficiencia de varias fuentes de luz.

Muchos fabricantes están produciendo lámparas altamente eficientes para los sistemas de alumbrado existentes. Por ejemplo, con una inversión inicial adicional de 15%, lámparas fluorescentes eficientes de 40-vatios pueden reponer las lámparas existentes. El resultado final es una reducción de 1-5% en el nivel de iluminación con una reducción del 12% en el consumo de energía. Normalmente existe un incremento en el costo inicial, además de una reducción en iluminación, obteniéndose una disminución en el consumo de energía.

Las características de las lámparas de varios tipos ampliamente usadas se describen en esta sección.

4.2.2 USO EFICIENTE DE LAMPARAS INCANDESCENTES

Aún cuando el alumbrado incandescente no es lo más eficiente desde el punto de vista energético , pueden lograrse mayores eficiencias escogiendo el tipo y potencia de bombilla adecuados.

Un método práctico importante para lograr mayores eficiencias de un sistema de lámparas incandescentes debe considerar que la eficiencia aumenta conforme se incrementa la potencia (Watt). Por ejemplo, una bombilla incandescente de 100 W tiene una salida de 18 lúmenes/W, mientras que una bombilla de 60 W produce únicamente 14 lúmenes/W. Así, la sustitución de una bombilla de 100 W (1 800 lúmenes) por dos bombillas de 60 W (1 680 lúmenes) produce más luz y consume menos electricidad. Esta clase de substitución economiza energía, reduce el mantenimiento, descarga los circuitos, y deberá ponerse en práctica siempre que sea posible.

Un factor que tiene un impacto importante en la eficiencia de las incandescentes, es la "vida" de la bombilla, la cual se mide en horas. No sólo tienen las incandescentes los períodos de vida más cortos entre todas las lámparas o bombillas disponibles, sino que al aproximarse el final de vida de la bombilla, la salida de luz disminuye en un 20% de su valor original. La salida de luz se reduce porque, conforme el filamento de tungsteno en las bombillas incandescentes emite luz, las moléculas de metal se queman. Estas moléculas se depositan en la superficie de la bombilla, y paulatinamente hacen que la misma se obscurezca. Conforme se obscurece, la bombilla consume la misma cantidad de energía como lo hizo cuando era nueva, pero produce menos luz. La bombilla finalmente se quema cuando el filamento se rompe. Puede ahorrarse energía, y a la larga, dinero, sustituyendo las bombillas obscurecidas antes que se quemen. Las bombillas con larga vida (que duran de 2 500 a 3 500 horas) son las incandescentes menos eficientes de todas, debido a que la salida de luz se sacrifica en favor de una vida más larga.

Una bombilla recubierta tiene una salida de luz menor que la bombilla incandescente normal con la misma potencia. Ello se debe a que el recubrimiento en la bombilla reduce la transmisión de luz. Los precios elevados de las bombillas recubiertas ilustran mejor que la eficiencia energética es con frecuencia menos cara desde un principio.

4.2.2.1 TIPOS DE LAMPARAS INCANDESCENTES EFICIENTES

Los intentos para incrementar la eficiencia del alumbrado incandescente manteniendo un buen rendimiento de color, han llevado a la fabricación de lámparas, de uso limitado que ahorran energía.

- TUNGSTENO HALOGENO

Estas lámparas difieren de una incandescente normal debido a la adición de gases halógenos a la bombilla. Los gases halógenos evitan que el vidrio de la bombilla se obscurezca previniendo que el filamento se evapore, y por lo mismo, incrementan la vida de las mismas hasta cuatro veces más que la vida de una bombilla normal. El rendimiento lumen-por-vatio es aproximadamente la misma para ambos tipos de incandescentes, pero las lámparas de tungsteno halógeno promedian una eficiencia del 94% a lo largo de su vida prolongada, ofreciendo ahorros importantes en los costos de operación y en el consumo de energía. No obstante, las lámparas de tungsteno halógeno requieren accesorios o aditamentos especiales, y durante la operación, la superficie de la bombilla alcanza temperaturas muy altas, por lo cual no se utilizan corrientemente en el hogar.

- LAMPARAS DE REFLECTOR, O LAMPARAS R

Las lámparas de reflector (Lámparas-R) son incandescentes con un revestimiento interior de aluminio que dirige la luz al frente de la bombilla. Ciertos accesorios de luz incandescentes, tales como accesorios direccionales, conservan la luz adentro. Las lámparas reflectoras proyectan un cono de luz hacia afuera del accesorio y hacia la habitación, con lo cual se entrega más luz donde se necesita. En estos accesorios, una bombilla reflectora de 50 W brindará una mejor iluminación y consumirá menos energía al ser substituida por una bombilla incandescente normal de 100 W.

Las lámparas con reflector son una alternativa apropiada para el alumbrado de áreas de trabajo, debido a que ellas iluminan directamente , y son también apropiadas para iluminación acentuada. Las lámparas con reflector están disponibles en potencias de 25, 30, 50, 75, y 150 W. Aún cuando tienen una eficiencia inicial menor (lúmenes por vatio) que las incandescentes regulares, ellas dirigen la luz más efectivamente, por lo que de hecho, mayor cantidad de luz es proyectada que con lámparas incandescentes regulares. Referirse a la Gráfica 4-2.

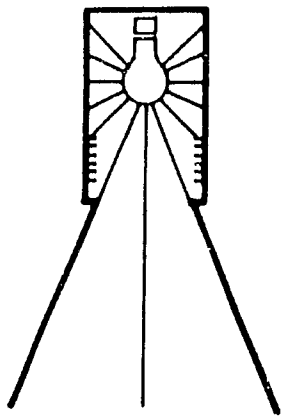
- LAMPARAS PAR

Las lámparas parabólicas de reflector aluminizado son lámparas de reflector con un lente de vidrio pesado y duradero, que las convierte en una alternativa apropiada para alumbrado exterior proyectante (flood) y como luces concentradas. Están disponibles en potencias de 75, 150, y 250 W. Tienen larga vida con una menor depreciación que las incandescentes normales.

- LAMPARAS ER

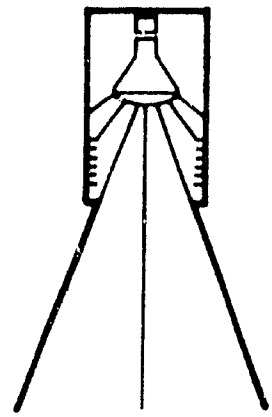
Las lámparas reflectoras elipsoidales (ER) son apropiadas para accesorios empotrados debido a que el haz de luz producido se enfoca dos pulgadas hacia adelante de la lámpara para reducir la cantidad de luz que se queda o permanece atrapada en el accesorio. Es un accesorio direccional; una lámpara de reflector elipsoidal de 75 W, produce más luz que una lámpara R de 150 W. Véase la Gráfica 4-2.

Incandescente Normal



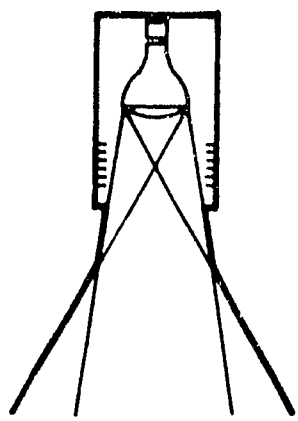
Un alto porcentaje de la salida de luz se queda perdida en el accesorio

R-Lámpara



Un revestimiento de aluminio dirige la l luz hacia fuera de la instalación

Lámpara ER



Este haz de luz se enfoca 2 pulgadas hacia adelante de la lámpara, a fin de que sea muy poca la luz que se pierde dentro del aparato.

Gráfica 4-2 comparación de lámparas incandescentes

4.2.3 ILUMINACION FLUORESCENTE

Al contrario de las bombillas incandescentes, las lámparas fluorescentes no dependen de la acumulación de calor para iluminar, más bien, convierten en luz la energía utilizando una carga eléctrica para "excitar" átomos gaseosos dentro del tubo fluorescente. La carga es emitida en el balasto y fluye entre los electrodos en ambos extremos del tubo. La descarga gaseosa resultante ocasiona que el revestimiento de fósforo en el interior del tubo se vuelva "fluorescente" y emita una fuerte luz visible. Debido a que la acumulación de calor no es un requisito para la creación de luz, la energía desperdiciada como calor es significativamente menor que la que se desperdicia con la iluminación incandescente.

4.2.3.1 USO EFICIENTE DE LAMPARAS FLUORESCENTES

Los ahorros de energía pueden obtenerse, en el caso de lámparas fluorescentes independientemente de la potencia (W), porque las características de eficiencia y vida de fluorescentes se mantiene constantemente alto por sobre una gama de potencias. No obstante, la eficiencia de una lámpara fluorescente incrementará conforme se aumente el largo del tubo. Por lo tanto, siempre que ello resulte práctico, deberá utilizarse tubos largos para ahorrar energía.

El balasto consume una pequeña pero constante cantidad de energía, aún cuando se haya quitado un tubo. El desconectar el balasto de lámparas que no están en uso es una buena forma de conservar electricidad. Debido a que un balasto con bastante frecuencia es compartido por dos o más lámparas en los casos en que las luces fluorescentes están arregladas en filas, el quitar una lámpara dará lugar a que las demás activadas por el mismo balastos se apaguen. Un electricista puede efectuar los ajustes sencillos que se requieren para evitar este extremo.

Mientras que al apagar lámparas incandescentes que no están en uso constituye una forma comúnmente reconocida para lograr un ahorro en energía, abundan los malos entendidos en cuanto a las eficiencias de apagar y encender lámparas fluorescentes. Al igual que las incandescentes, las lámparas fluorescentes deberán apagarse cuando no estén en uso, aúnque ello sea únicamente por pocos minutos. No se requiere de ninguna cantidad significativa de energía a menos que el interruptor sea accionado en ambos sentidos en rápida sucesión. La vida de la lámpara fluorescente se mide de conformidad con el número de horas de operación por arranque, y aún cuando fue alguna vez cierto que el mayor número de horas de operación por arranque significaban una vida más larga para la lámpara, la tecnología reciente ha incrementado las posibilidades de duración o de vida de la lámpara restando importancia al número de arranques como se consideraba hace 10 ó 20 años. Como una regla, si un espacio va a permanecer desocupado durante más de 15 minutos, las lámparas fluorescentes deberán apagarse.

4.2.4 ILUMINACION EXTERIOR "HID"

Debido a que las luces exteriores de seguridad permanecen encendidas durante largas horas --algunas veces desde el crepúsculo hasta el amanecer-- el potencial de ahorro de energía es enorme en iluminación exterior. Esto es especialmente cierto para el alumbrado exterior del hogar, que corrientemente utiliza reflectores incandescentes en lugar de las lámparas más eficientes en lo que a energía se refiere, las lámparas de Alta Intensidad de Descarga ("HID").

La mayor eficiencia de las lámparas HID puede verse a a partir de la información de lumen-por-vatio dada en la Gráfica 4-1. Tomando en consideración las potencias más

altas necesarias para las lámparas exteriores de seguridad y las largas horas que se mantienen encendidas, la inversión inicial mayor que se requiere para las lámparas "HID" cobra sentido para un programa de eficiencia energética.

En el mercado se encuentran varios tipos de lámparas "HID" entre ellas: las de mercurio, las de haluro metálico (metal halogenuro), y las de sodio de alta y baja presión. Estos tipos son más eficientes que las bombillas incandescentes normales y son utilizadas comúnmente en el comercio y la industria para iluminar grandes áreas, tales como sitios de estacionamiento, patios, y vestíbulos. Cada tipo requiere un balasto diseñado especialmente para el mismo.

- MERCURIO

Las lámparas de mercurio son lás más comúnmente utilizadas como fuente de iluminación exterior. Tienen el menor costo de instalación y una vida muy larga Se encuentran disponibles en potencias de 40, 50, 75, 100, y 250 W, y aún cuando su tamaño es comparable al de las lámparas incandescentes de la misma potencia, producen una doble cantidad de luz. Las lámparas de mercurio claro tienen un bajo rendimiento de color --acentuán los tonos azules-- pero las lámparas de lujo con el color corregido, blanco frío o blanco tibio de lujo, dan a los objetos una apariencia más normal. Para una iluminación exterior de seguridad de larga duración, en donde la eficiencia es generalmente más importante que el color, las lámparas de mercurio son una buena elección.

- HALURO METALICO (o, METAL HALOGENURO)

Estas lámparas son más efectivas y tienen un mayor rendimiento de color que las lámparas de mercurio. Son ampliamente usadas para iluminación comercial interior y

exterior en general, pero debido a que la mayor potencia disponible es de 175 W, brindan mayores niveles de iluminación que el requerido ordinariamente en una residencia.

- SODIO DE ALTA PRESION

Estas son de las lámparas más eficientes actualmente en el mercado. En general, se usarían únicamente para iluminación exterior, debido a que la menor potencia disponible es 70 W y la luz emitida es generalmente demasiado brillante para uso interior en el hogar. Además, el color producido por estas lámparas es de un blanco-dorado, que ocasiona que los objetos rojos y azules se vean grisáceos. No obstante, constituyen excelentes fuentes de iluminación para grandes áreas exteriores. Aparte del rendimiento de color, las lámparas "HID" presentan una desventaja potencial --una tardanza de arranque de 1 a 7 minutos a partir del momento en que se energizan hasta que iluminan completamente. Empero, el continuo mejoramiento de las lámparas "HID", especialmente las lámparas de haluro metálico y las de sodio de alta presión, hace que se espere que éstas sean buenas alternativas.

4.2.5 OTROS CRITERIOS DE EFICIENCIA

Otros criterios de eficiencia en iluminación se ilustran en la Fórmula 4-1.

- Nivel de iluminación

El nivel de iluminación (pie-candela) requerido dependerá del trabajo a efectuarse en el área iluminada. Los niveles en estas áreas pueden ser disminuidos a un tercio de los niveles de las áreas circundantes tales como pasillos. (De mantenerse un nivel mínimo de 20 pie-candela).

- Ubicación de la lámpara

La colocación de la lámpara es también importante. Si la luminaria puede bajarse o colocarse en un lugar mejor, la potencia de la lámpara podrá ser reducida.

- Coeficiente de utilización (Cu)

El color de las paredes del cielo raso, y de los pisos, el tipo de luminaria y las características de la habitación determinan el Cu. Este valor se establece en los catálogos del fabricante. El Cu puede ser mejorado analizando los componentes tales como paredes pintadas con colores más claros y luminarias más eficientes para el espacio.

- Factor de depreciación de la lámpara y factor de depreciación por polvo

Estos dos factores están involucrados en el programa de mantenimiento. El seleccionar una luminaria que resista la acumulación del polvo, el colocar las lámparas en grupo, y la limpieza de la luminaria, mantendrán el sistema en condiciones de óptimo rendimiento. Tomando estos factores en cuenta se puede reducir el número de lámparas requeridas en un principio.

Además de estos puntos, deberá considerarse lo siguiente:

- Operación

Pueden lograrse importantes ahorros de energía utilizando las fuentes de luz eficazmente. La siguiente lista de verificación sugiere algunas formas para incrementar la eficiencia de la iluminación.

- Potencias menores, eliminar luz innecesaria, y usar la luz natural siempre que sea posible.

- Reemplazar dos bombillas por una que tenga un número de lúmenes comparable o equivalente.

- Colocar interruptores separados para que puedan ser operados independientemente distintos circuitos

- Cambiar las lámparas decorativas exteriores incandescentes por lámparas de mercurio. Si la lámpara no puede cambiarse, limitar su uso. Para mantener la seguridad se puede utilizar otras fuentes de iluminación más eficientes.

4.2.6 DISPOSITIVOS SINCRONIZADORES, FOTOCELDAS Y REDUCTORES DE LUZ

La práctica de dejar encendidas las luces inadvertidamente cuando no se necesitan puede ser eliminada instalando pequeños dispositivos sincronizadores o fotoceldas en los sistemas de alumbrado interior y exterior. Los dispositivos sincronizadores ("timers") pueden ajustarse para que apaguen o desconecten las luces automáticamente y que las enciendan en horas predeterminadas, por ejemplo, se enciendan a la hora del crepúsculo, y se apaguen al amanecer. Los sincronizadores pueden comprarse en la mayoría de las ferreterías o tiendas por departamentos, a precios que varían desde $10.00 a $20.00.

Las fotoceldas ofrecen una forma automática de encender y apagar las luces en respuesta directa a la cantidad de luz natural disponible. Las fotoceldas son pequeñas celdas fotoeléctricas, algunas veces menores de una pulgada de diámetro, sensibles a la luz del sol. Cuando

la luz golpea una fotocelda, se convierte en energía eléctrica. Mientras más brillante sea la luz, más fuerte resultará la carga eléctrica. Las fotoceldas están diseñadas en tal forma que cuando una cierta cantidad de luz natural del día las alcanza, la carga eléctrica creada por la luz se transmite a un mecanismo que apaga las lámparas cuando la luz del día disminuye, en días tormentosos, o cuando las nubes temporalmente disminuyen la cantidad de luz natural disponible, la fotocelda enciende las lámparas otra vez. La confiabilidad y el bajo costo inicial de las fotoceldas las convierte en una excelente herramienta para conservar energía.

Casi todas las fuentes de luz pueden ser reducidas mediante el control de la potencia que se les aplica. Los controles reducidores de luz ("timers") permiten que el ocupante ajuste el nivel de luz en una habitación, desde el apagado hasta el nivel más alto de iluminación, en respuesta a los varios niveles de luz que se requieren en diferentes momentos del día, en las diferentes habitaciones de un edificio, y de acuerdo a las distintas actividades dentro de una misma habitación. Los reducidores de luz pueden alcanzar ahorro de energía si los mismos se usan adecuadamente.

Los tipos de controles reducidores de luz para economizar energía que se encuentran actualmente en el mercado: transformadores de estado sólido y automático-variables. Ambos ahorran energía reduciendo la cantidad de electricidad suministrada a la lámpara. Además, debido a que las bombillas operan con un voltaje reducido, la vida de las mismas se prolonga. Los accesorios reducidores reemplazan los interruptores de luz normales, y son muy baratos y fáciles de instalar. Los nuevos modelos que se encuentran en el mercado pueden conectarse también a lámparas de mesa.

Los reducidores para lámparas fluorescentes pueden ser utilizados con un balasto reducidor especial, que reemplaza el balasto normal. Debido a que el uso de lámparas fluorescentes en sí proporciona ahorro en energía, el uso de reducidores con las lámparas fluorescentes no está tan difundido como el uso con lámparas incandescentes. Actualmente, el equipo reducidor se encuentra disponible únicamente para lámparas fluorescentes de arranque rápido de 30 y 40 W.

El precursor de las fotoceldas y los reducidores es un mecanismo reducidor todavía vendido ocasionalmente, llamado reóstato. Debido a que trabaja transformando en calor aquella porción de energía eléctrica que no se usa para luz, no economiza energía y por lo tanto, no se recomienda su uso.

Como una alternativa de los reducidores de gama completa, existen los interruptores "hi-lo" (alto-bajo) en el mercado, los cuales suministran dos posiciones para lámparas de techo, o superiores. Aún cuando no proporcionan la flexibilidad de un reducidor de gama completa, sí logran ahorrar energía, y son comparables a las bombillas de tres tiempos usadas en las lámparas de mesa.

Al utilizarlos regularmente, los costos de estos controles de iluminación son más que compensados por la electricidad que se ahorra debido a los niveles menores de iluminación que éstos hacen posible.

CASO 4-2

Se necesita llevar a cabo una evaluación para reemplazar todas las lámparas fluorescentes de 40 W por una nueva lámpara que economiza el 12% o sea, 4.8 W y proporciona la misma salida o rendimiento. El costo de cada lámpara es de $ 1.40.

Suponiendo que se requiere una tasa de recuperación antes de impuestos de un 25%, puede justificarse el reemplazo inmediato? Las horas de operación son 5 800 y la vida de la lámpara es de dos años. El costo de la electricidad es de $ 0.035 por kWh.

ANALISIS

El ahorro anual por unidad será:

A = 5 800 x 4.8 x 0.035/1 000 = **$0.97/lámpara-año**

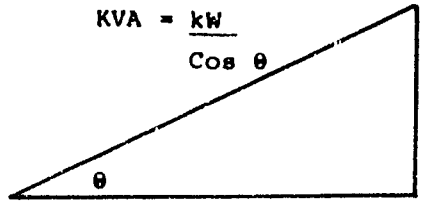
La tasa de recuperación es:

TR = 0.97/1.4 = 0.69 (69%)

De la Tabla 4-1, se obtiene una tasa de recuperación del 25% cuando se analizan las medidas para la conservación de energía. Nunca deberá verse lo que antes se gastaba o la vida que queda. Unícamente determínese si el nuevo desembolso se repagará por sí mismo.

4.3 AUDITORIA DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA ELECTRICO

El requerimiento total de potencia de una carga está compuesto de dos elementos a saber: la parte activa y la parte reactiva. La porción activa de una carga no puede sumarse directamente al componente reactivo debido a que se encuentra noventa grados fuera de fase con el otro. La potencia activa pura se expresa en kW, mientras que a la potencia reactiva se le expresa en KVAR (kvoltio amperios reactivos). Para calcular el total de la carga de voltioamperios (KVA), es necesario analizar el triángulo de potencia que se indica a continuación:



KVAR = KVA Sin θ
(Reactivo)

kW = KVA X Cos θ
(Activo)

kW = kiloWatt
kVA = kVolt-amperios
KVAR = KVolt-amperios reactivo
θ = Angulo entre KVA y kW
Cos θ = Factor de potencia

$$\tan \theta = \frac{KVAR}{kW}$$

Fórmula (4-2)

Para una carga balanceada trifásica

$$\text{Potencia, kW} = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos \theta$$

Fórmula (4-3)

Para una carga balanceada monofásica

$$P = V_L\, I_L \cos \theta$$

Fórmula (4-4)

La potencia nominal normal de un motor es mencionada como un caballo de fuerza. Para relacionar los caballos de fuerza de un motor a un kilovatio (kW), multiplíquese los caballos de fuerza por 0.746 (Factor de Conversión) y divídase por la eficiencia del motor.

$$KVA = \frac{HP \times 0.746}{Ef \times P.F}$$ Fórmula (4-5)

HP = Caballos de fuerza del motor

Ef = Eficiencia del motor

P.F. = Factor de potencia del motor

Los rendimientos, o eficiencias, del motor y los factores de potencia varían con la carga. Los valores típicos se muestran en la Tabla 4-2. Los valores se basan en motores totalmente cerrados enfriados mediante ventilador que funcionan a 1 800 rpm, en un marco "T".

TABLA 4-2

Eficiencias y factores de potencia de motores estándar a diferentes cargas

% de carga	Eficiencia 3-30 hp	Eficiencia 40-100 hp
50	83.3	89.2
75	85.8	90.7
100	86.2	90.9
	Factor de Potencia	
50	70.1	79.2
75	79.2	85.4
100	83.5	87.4

4.3.1 MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA

La auditoría deberá reunir la siguiente información:

- Factor de potencia de la planta

- Fecha de la placa de identidad del fabricante del motor, tipo, caballos fuerza, velocidad, carga total, o completa, y amperaje de carga parcial.

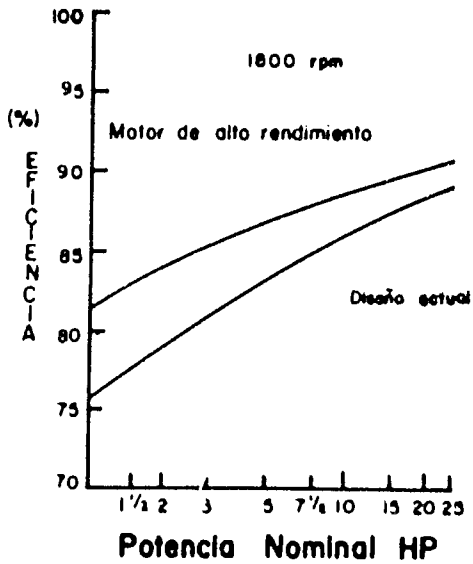
- Los datos en la placa del fabricante deberán compararse con el funcionamiento actual del amperaje del motor.

Tal como se indica en la Tabla 4-1, los motores pequeños, parcialmemte cargados, contribuyen a los bajos factores de potencia y rendimiento eléctrico para edificios y plantas.

La auditoría deberá determinar cuáles motores son más grandes de lo necesario y que pueden ser reemplazados con uno de menor tamaño.

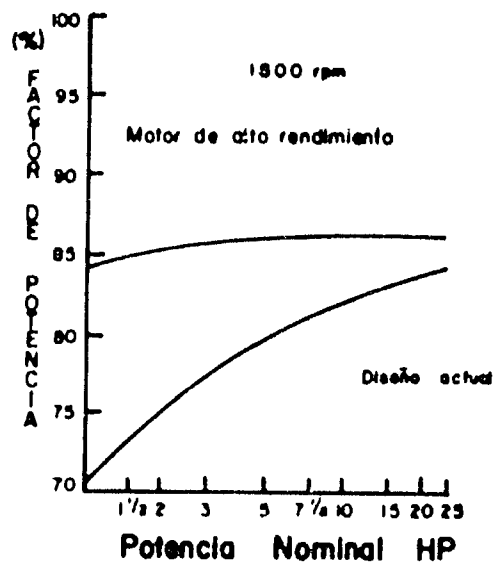
Un segundo método para mejorar el factor de potencia de un edificio o planta es usar motores de mayor rendimiento energético. Motores de este tipo se encuentran disponibles con fabricantes tales como Gould, Inc., y Baldor. Estos motores cuestan aproximadamente un 30 por ciento más que sus homólogos normales o estándar. Con base en el costo de la energía, se puede determinar si la inversión adicional está justificada. Con el énfasis sobre la conservación de energía, nuevas líneas de motores eficientes están siendo introducidos al mercado. Las Gráficas 4-3 y 4-4 ilustran una comparación típica entre motores eficientes y los normales.

El tercer método para mejorar el factor de potencia es el de agregar grupos de capacitores para disminuir la potencia reactiva (KVAR). La corriente de línea será también reducida, y así la pérdida I^2R correspondiente a través de cables será igualmente disminuida. La Tabla 4-2 puede ser utilizada para estimar la potencia de los capacitores requeridos.



Gráfica 4-3

Rendimiento vrs Potencia Nominal del caballo de fuerza. (Motor inducción)



Gráfica 4-4

Factor de Potencia vrs. Potencia Nominal de caballaje. (Motor inducción)

TABLA 4-2

MULTIPLICADORES DE KW PARA DETERMINAR LOS KILOVARS EN CAPACITORES REQUERIDOS PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA

Factor de Potencia Original	Factor de Potencia Corregido																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.442	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.482
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.721	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.477	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.078
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.607	0.750
0.81		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83				0.000	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85						0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86							0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87								0.000	0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88									0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89										0.000	0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512
0.90											0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91												0.000	0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92													0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93														0.000	0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94															0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363
0.95																0.000	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329
0.96																	0.000	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																		0.000	0.048	0.108	0.251
0.98																			0.000	0.060	0.203
0.99																				0.000	0.143
																					0.000

EJEMPLO:

La potencia total (kW) de una carga medida con un vatímetro es de 100 kW con un factor de potencia de 60%. La potencia reactiva KVAR necesaria para elevar este factor de potencia a 90% se encuentra multiplicando los 100 kW por el factor encontrado en la tabla, que es 0.849. Entonces, 100 kW x 0.849 = 84.9 KVAR, úsese 85 KVAR

4.3.2 CAIDA DEL VOLTAJE O TENSION

La caída de la tensión o voltaje en los circuitos derivados, o ramales, y conductores de alimentación no deberá exceder el 3% de conformidad con el Código Elétrico Nacional (NEC). Además, la caída de tensión de un dispositivo limitador de corriente de un cuircuito alimentador tal como un interruptor automático, a disyuntor hacia el tomacorriente más alejado en un cicuito derivado servido por el alimentador, no deberá exceder el 5%.

Para determinar la caída de tensión, tómense las lecturas del voltaje en el disyuntor del circuito derivado, y en la parte más alejada que deba ser medida.

En el caso en donde la caída permisible de voltaje sea sobrepasada, deberá considerarse la instalación de un cable de mayor diámetro y/o la redistribución de la carga.

4.3.3 REDUCIENDO LA DEMANDA PICO MAXIMA

Uno de los potenciales, o perspectivas, más grandes para ahorrar en el costo de energía eléctrica es el reducir las demandas pico. El método más simple para hacer esto consiste en la reprogramación de las actividades a fin de que las unidades de mayor demanda de energía no operen al mismo tiempo . Esto es algunas veces posible durante el

arranque inicial de una planta en donde un sistema puede ser operado mientras otros estan inactivos. El segundo método se basa en el uso de controles automáticos que desconectan equipos no-esenciales durante los períodos pico. Estos equipos no-esenciales tales como el equipo de calefacción, ventilación y aire acondicionado pueden ser automáticamente controlados a través de un equipo compacto tal como controladores de carga-demanda.

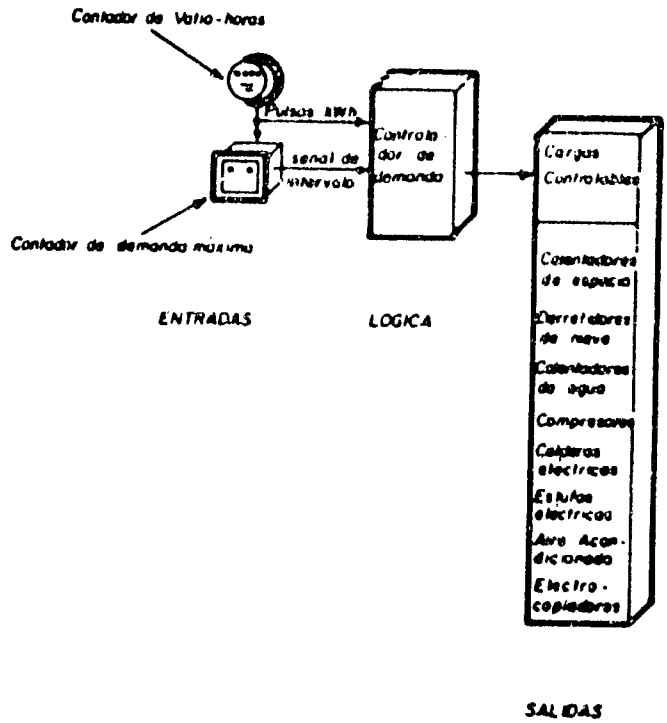
4.3.3.1 CONTROLADORES DE CARGA-DEMANDA

El controlador de la carga-demanda es básicamente un comparador. Se realiza una comparación entre la tasa real de consumo de energía con una tasa ideal predeterminada de consumo energético durante el intervalo de la demanda. Conforme la tasa de consumo real se aproxima a la tasa de consumo ideal, el controlador determina si la demanda actual será excedida. Si la determinación es positiva, el controlador principiará a desenergizar cargas con base en una prioridad predeterminada. La acción de control usualmente ocurre durante los últimos pocos minutos del intervalo de la demanda. Las cargas son automáticamente restauradas cuando el nuevo intervalo de demanda comienza.

Existen varios tipos de controlador de demanda en el mercado. Deberá darse una cuidadosa consideración al tipo de controlador especificado. El costo y la aplicación apropiada constituyen los criterios principales para seleccionar el controlador de demanda para la planta. Algunos de los tipos más corrientemente usados son:

- Controladores compactos de estado sólido
- Del tipo de reposición de tiempo-intervalo
- Del tipo de ventana corrediza
- Computadora

El controlador de tipo de reposición tiempo-intervalo necesita dos señales de entrada, tal como se ilustra en la Gráfica 4-5. Las entradas representan el consumo de energía kilovatio-hora y un pulso de señal del intervalo. Antes de comprar esta unidad, deberá verificarse que la compañía de servicios públicos permitirá el uso del pulso sincrónico con el controlador de demanda. Varias empresas de servicios públicos no permiten que se use esta señal; por lo tanto, puede que se requiera otro tipo de controlador.



Gráfica 4-5 Controlador de tipo de reposición tiempo - intervalo

El tipo de ventana corrediza no requiere un pulso sincrónico. En el tipo de ventana corrediza, el consumo de electricidad es controlado continuamente. El ancho de la ventana corrediza puede fijarse desde cinco a sesenta minutos con aumentos de cinco minutos. La energía consumida durante este intervalo es proporcional a la demanda. Las cargas se dejan caer y se restablecen con base en las entradas superiores e inferiores predeterminadas. El consumo pronosticado es calculado en base al consumo durante la más reciente cuarta parte del ancho de la ventana. Un reloj para programación puede incorporarse a estas unidades permitiendo que las cargas se conecten y desconecten durante horas específicas del día.

Las computadoras usadas para reducir la carga pueden también servir para otras varias funciones. Los sistemas computarizados actualmente ofrecidos pueden usarse juntamente con protección de seguridad y alarmas contra incendios. Estas unidades también permiten una mejor información y registros del consumo de energía a lo largo de los reportes de auditoría. Una característica de la caída de carga mediante computadora es el ajuste de la carga de flotación. Esto permite que el sistema responda automáticamente a condiciones cambiantes en las instalaciones, tales como fines de semana, feriados, y paros de trabajo inesperados.

FORMATO 1

ILUMINACION

EMPRESA _____ FECHA _____

Area	Tipo de lámparas	Localización	No.	Watts por lámpara	Lumens	Horas operación por día	Días trabajados por semana	kWh por semana	Comentarios

FORMATO 2

EQUIPO ELECTRICO

EMPRESA _____ FECHA _____

Area	Equipo	Localización	1 Amps	2 Volts	3 kW 1x2 1000	4 Horas operadas por día	5 Días operados por semana	6 kWh por semana	Comentarios

FORMATO 3

COSTO Y CONSUMO ELECTRICO

EMPRESA _____

Mes	Consumo kWh	Demanda kW	Relación	Costo	Días calurosos	Días fríos	Incremento de kW sobre año pasado	Incremento de costo sobre año pasado
Enero								
Febrero								
Marzo								
Abril								
Mayo								
Junio								
Julio								
Agosto								
Septiembre								
Octubre								
Noviembre								
Diciembre								
Total								

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Comentarios
Incremento de Costo %													
Incremento de kWh													

CAPITULO 5

AUDITORIA DE MANTENIMIENTO

Para lograr sistemas eficientes de servicio, así como un buen programa de mantenimiento preventivo, la auditoría es esencial. Probablemente no hay otra área que como ésta ofrezca los mejores niveles de recuperación económica y es la que menos se toma en cuenta. En este capítulo se enfocarán las áreas, tanto administrativas como técnicas, que conforman un buen programa de mantenimiento preventivo.

Esta sección incorpora material suministrado por Richard Fessler, Director de Energía de "Marriot Corporation".

5.1 ASIGNACIONES DE TRABAJO

Cada unidad principal de equipo debe poseer un historial de mantenimiento y reparaciones. Tomando en consideración las normas de funcionamiento de la empresa, el supervisor debe establecer un sistema de fichas de registro para los programas de trabajo y el control de calidad.

El personal asignado al sistema de control de mantenimiento debe estar familiarizado con el trabajo. Para este propósito es conveniente la rotación de asignaciones, a manera de familiarizar a cada hombre con el equipo.

ENTRENAMIENTO

Periódicamente, deberá pedirse al personal, que asista a seminarios de los fabricantes sobre métodos de mantenimiento de un edificio:

	Algunos fabricantes	Tipo de equipo
A.	"Sellers Manufacturing Company"	Calderas
B.	"Hobart Manufacturing Company"	Equipo de cocina, lavadoras de vajillas, etc.
C.	"Caylord Manufacturing Company"	Campanas extractoras de de humo para cocinas
D.	"Vogt Manufacturing Company"	Máquinas para hacer hielo
E.	"Traulsen"	Regrigeradores corrientes y de doble acceso
F.	"Groen"	Marmitas de vapor, sartenes de volteo

Para asegurar la disponibilidad de personal de mantenimiento y supervisores capacitados, es necesario iniciar un programa de adiestramiento para aprendices de mecánico. El supervisor de mantenimiento será responsable del progreso del trabajo y del adiestramiento técnico del aprendiz.

5.2 PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El programa de mantenimiento preventivo (MP) es un método para presupuestar y controlar los gastos de mantenimiento. Este programa identifica las áreas problema y ayuda a evitar el mantenimiento correctivo, el reemplazo excesivo de piezas y las equivocaciones en las compras. De esta manera, el dinero que se gaste en un sistema de mantenimiento preventivo bien planificado reduce las pérdidas causadas por interrupciones y el trabajo de emergencia.

Para implantar un control, el programa de MP debe ser efectivo pero muy sencillo, con el fin de evitar que el mantener un historial involucre la asignación de tareas administrativas al personal de mantenimiento. Cuando el personal de mantenimiento llena una tarjeta simplificada de trabajo, como la que aparece en el Formato 5-1 , la información así adquirida ayudará a identificar los costos y a realizar lo siguiente:

* Mostrar las áreas de alto costo.
* Cambiar los criterios en la nueva construcción, para reducir las áreas de alto costo.
* Fijar metas estimulantes para incentivar al personal de mantenimiento.
* Evitar que el personal capacitado y de alto salario realice tareas elementales, que no necesitan especialización.
* Señalar las áreas de alto costo obteniendo ayuda de técnicos calificados en éstas.

FORMATO 5-1

TARJETA SIMPLIFICADA DE TRABAJO

Nombre:
Boleta#:
Turno:

	Operación	Hrs	Código
1			
2			
3			
4			
5.			
6.			
7.			
8.			

TIEMPO
EXTRA

OBSERVACIONES:

Código: A Aprendiz
MA Mecánico Asistente
M Mecánico
S Supervisor
E Empleado

Descripción de Códigos

ADM	Administración
AA	Aire acondicionado
CL	Calderas
C	Carros
D	Daño a propósito
EE	Energía eléctrica
I	Iluminación
EV	Elevadores
G	Mantenimiento General del edificio.
CF	Calefacción
CN	Equipo de cocina
ME	Mantenimiento exterior
M	Miscelláneos
P	Plomería
MP	Mantenimiento preventivo
R	Refrigeración
T	Tiempo técnico del supervisor
V	Ventilación

1. Cuarto de calderas
2. Bodega seca
3. Cafetería
4. Servicios sanitarios y armarios ("lockers")
5. Area de reuniones
6. Area de vajillas
7. Tienda de regalos
8. Area de carga
9. Area general de almacenamiento
10. Oficinas generales
11. Miscelláneos

La codificación de la boleta permitirá estudiar los turnos para lograr una cobertura más efectiva de la operación, después de haber evaluado las tarjetas de tiempo. La información en las tarjetas de tiempo, como la referente a la naturaleza de la falla y a las medidas tomadas para corregirla, únicamente es de interés para el personal de supervisión, para evaluar la realización satisfactoria de las tareas de mantenimiento.

La información necesaria para reducir los costos del MP es recopilada de los datos obtenidos de las áreas de alto costo. Esta información se presenta en la labor requerida para efectivamente mantener la operación y la labor necesaria para un programa efectivo de MP.

La siguiente es una codificación típica:

ADM- Administración. Se refiere a las tareas administrativas del supervisor, en contraposición a su supervisión técnica.

AA- Aire Acondicionado. Señala los costos en esta área para tomar medidas correctivas dentro de los criterios de programas futuros.

CL- Caldera. Se relaciona con fallas, falta de MP, etc. Puede atribuirse directamente a aquella área en que se requiere tiempo para mantener el servicio.

C- Carros (Equipo Rodante). Se trata del mantenimiento de rodos, módulos, anaqueles para pan y abarrotes, lavaderos portátiles para trapeadores, etc. Permite señalar aspectos tales como la especificación de rodos más fuertes, la soldadura de puntos claves, etc.

D- Daño a Propósito. Comprende el maltrato al equipo (carros, equipo de cocina, etc.)

EE- Energía Eléctrica. Abarca lo siguiente: entrada de servicio, interruptor principal, electricidad para el sistema de iluminación, potencia para todo el equipo, etc.

I- Iluminación. Comprende el área de reemplazo de bombillas, tubos, etc. y mantenimiento del sistema de iluminación durante la operación.

EV- Elevadores. En donde sea aplicable, se refiere estrictamente al área que está directamente relacionada con el funcionamiento satisfactorio del elevador.

G- Mantenimiento del Edificio (General). Cubre las áreas de pintura, reemplazo de losas, reparación de techos, ventanas, etc.

CF- Calefacción. Se relaciona con los medios de calentamiento del edificio, tales como vapor; unidades de calefacción, ventilación y aire acondicionado, calentadores ambientales, etc.

CN- Equipo de Cocina. Abarca todo aquel equipo como estufas, transportadores, lavadoras de vajillas, etc.

ME- Mantenimiento Exterior. Comprende el exterior del edificio, abarcando jardines, árboles, sistema de irrigación, pavimentación y señalización por franjas en caminos y predios.

M- Misceláneos. Se usa para áreas que no han sido cubiertas por códigos específicos.

P- Plomería. Se refiere a las áreas de agua, drenajes, desechos industriales, trampas para grasa, fosas sépticas, etc.

MP- Mantenimiento Preventivo. Cubre el tiempo y las localidades del programa de mantenimiento preventivo, para definir las áreas que requieren mayor MP.

R- Refrigeración. Abarca las áreas de mantenimiento de compresores, condensadores, serpentines de evaporación de todos los cuartos fríos, refrigeradores corrientes y refrigeradores de doble acceso.

T- Tiempo Técnico del Supervisor. Se refiere a la cantidad de tiempo efectivamente utilizado en la supervisión del mantenimiento en las propias instalaciones.

V- Ventilación. Cubre los sectores del sistema de suministro de aire y sus salidas.

Para señalar en mejor forma los costos, se deben asignar números a las áreas descriptivas. Por ejemplo:

1. Cuarto de calderas
2. Bodega seca
3. Cafetería
4. Servicios sanitarios y armarios ("lockers")
5. Areas de reuniones
6. Area de vajillas
7. Tienda de regalos
8. Area de carga
9. Areas generales de almacenamiento
10. Oficinas generales
11. Misceláneos

El propósito de fijar estos códigos es reducir el tiempo requerido para llenar las tarjetas, ya que esta tarea consume tiempo y carece de sentido, si se considera que la última finalidad es la reducción de costos y la determinación de las áreas de alto costo. Naturalmente, conforme se implanta el sistema, se encontrarán otros códigos para las áreas que no hayan sido cubiertas al inicio del programa de mantenimiento preventivo.

Para mantener las personalización fuera del programa de MP y para reducir las tareas administrativas de los mecánicos, ayudantes, etc., cada supervisor de mantenimiento o mecánico designado (según sea el caso) asignará un número de boleta a cada mecánico, ayudante, etc. La explicación de estos códigos es la siguiente:

A.-	Aprendiz	A	Serie A-1_____
MA.-	Mecánico (Asistente)	MA	Serie MA-2_____
M-	Mecánico	M	Serie M-3_____
S-	Supervisor	S	Serie S-4_____
E-	Empleado	E	Serie E-5_____

Ejemplo: Carlos Pérez: M-3_____(será el número de tarjeta del mecánico). En caso de que Carlos Pérez se retire de la empresa, al nuevo empleado se le asignará el mismo número de tarjeta para propósitos de planilla, etc.

La tarjeta de tiempo adherida, cubre un turno de ocho horas, pero se ha destinado un espacio para tiempo extra, el cual requerirá una explicación de _____.

En esta sección se describen los pasos necesarios para un programa completo de mantenimiento. Inicialmente, todo el programa deberá ser efectuado y luego deberá ser ampliado y revisado conforme se adquiera nuevo equipo o el equipo existente requiera mantenimiento más frecuente.

La organización inicial y la administración subsecuente del programa son responsabilidad del supervisor de mantenimiento.

ESTUDIO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este estudio se hace para establecer una lista de todo el equipo en la propiedad que requiere mantenimiento periódico, así como el tipo de mantenimiento que se necesita. El estudio debe detallar todas las piezas de equipo, de acuerdo con su localización física. La hoja del estudio debe incluir las siguientes columnas:

1. Equipo
2. Localización del equipo
3. Frecuencia de mantenimiento
4. Tiempo estimado requerido para el mantenimiento
5. Hora del día en la cual debe efectuarse el mantenimiento.
6. Breve descripción del mantenimiento a efectuarse.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El plan de mantenimiento preventivo se prepara de acuerdo con la información obtenida durante el estudio. Las piezas del equipo deben ser ordenadas en hojas de planificación, según su localización física. La hoja de planificación debe incluir las siguientes columnas:

1. Equipo
2. Localización del equipo
3. Hora del día en la cual debe efectuarse el mantenimiento
4. Programa semanal con doble columna para cada día de la semana (una columna para "programado" y otra para "efectuado")

5. Breve descripción del mantenimiento a efectuarse.
6. Mecánico designado para efectuar el trabajo.

UTILIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En cualquier momento, antes del inicio de la semana, el supervisor de mantenimiento tomará una copia del plan. La copia preparada por el supervisor deberá estar en un cartapacio de tres anillos. El supervisor revisará personalmente las asignaciones con cada mecánico.

Una vez que el mecánico ha completado el trabajo, el supervisor anotará esto en el plan por medio de una marca en la columna de "efectuado" correspondiente a ese día, así como en la ficha de registro para verificación del programa de MP.

El supervisor o el mecánico revisarán el plan diariamente, para determinar que todo el trabajo se está efectuando de acuerdo con el plan. Al final de la semana, el plan será retirado del cartapacio y revisado para asegurarse de que todo el trabajo ha sido efectuado. A continuación, se archivará.

UTILIZACION DEL PLAN PARA ANOTAR REPARACIONES

Cualquier reparación o reemplazo de partes en una pieza específica de equipo debe conducir a una anotación en el plan de mantenimiento preventivo. El trabajo debe ser anotado en la sección del programa semanal o se debe hacer referencia a una hoja anexa, si se necesitara más espacio. Esto proporcionará un historial de reparaciones o reemplazos de cada pieza de equipo.

El supervisor o el mecánico deben analizar estos programas dos veces al año para determinar si ciertas piezas de equipo han necesitado más mantenimiento de lo aceptable y si es necesario reemplazar el equipo.

El Formato 5-2 muestra una forma utilizada por un supervisor de mantenimiento, jefe de mecánicos, etc., para acumular información de costo y mano de obra en períodos semanales, mensuales y anuales. La información acumulada señala las áreas de alto costo, la mano de obra para el mantenimiento preventivo, etc., además de los datos necesarios para la preparación del premupuesto anual y para otros propósitos.

La ficha de registro que se muestra en el Formato 5-3 se convertirá en una fuente de datos, así como en un medio de verificar los programas de mantenimiento preventivo y de analizar el tiempo que se necesita para efectuar el trabajo de MP para la preparación de futuros planes de mantenimiento. Al iniciar por primera vez el programa, será necesario estimar el tiempo requerido para efectuar el mantenimiento del equipo. Entre otras cosas, los datos recopilados se convertirán en un registro del tipo de fajas para los motores, filtros, etc., que se necesitan, con el propósito de reducir el inventario.

Esta ficha será colocada dentro de un protector a prueba de agua y adherida al equipo que requiere mantenimiento preventivo o puesta cerca de éste. Esto evitará que el control del mantenimiento se lleve en la oficina, puesto que el mecánico será quien llene la información requerida en la ficha y tendrá la responsabilidad si el mantenimiento no se lleva a cabo. Esta ficha también ayudará al supervisor de mantenimiento o al jefe de mecánicos a evaluar el trabajo del mecánico. Vea el Formato 5-4.

ENTRENAMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El supervisor de mantenimiento o mecánico es responsable de ayudar a los jefes de departamentos en el entrenamiento de su personal en el manejo, cuidado diario y uso del equipo. Cuando el equipo no se maneja adecuadamente, él debe participar activamente en la corrección de esta falla a través del adiestramiento.

5.3 REPUESTOS

Muy a menudo el equipo es reemplazado por un modelo idéntico al existente. Existen excelentes oportunidades para la conservación de energía al mejorar una planta por medio de la instalación de piezas de repuesto que trabajen más eficientemente. Lo siguiente debe ser considerado:

* Reemplazo de motores estándar por motores más eficientes.

* Reemplazo de quemadores obsoletos por modelos más eficientes.

* Mejoramiento de los sistemas de iluminación.

¿Cuántas veces se reemplazan las trampas de vapor por otras del mismo tamaño del diámetro de la tubería? En lugar de seguir este procedimiento que provoca pérdidas de energía, es mejor determinar el tamaño correcto del orificio antes de reemplazar una trampa de vapor. De esta forma, la trampa de vapor será revisada periódicamente para determinar su tamaño correcto. Cuando debido a la corrosión es necesario reemplazar una tubería de descarga, se debe determinar la conveniencia de substituirla por una de diámetro mayor. La tubería de mayor diámetro reduce las pérdidas por fricción y así se ahorra energía.

FORMATO 5-2

HOJA DE CONTROL DE GASTOS DE MANTENIMIENTO

Fuera/en inventario _____

Aire acondicionado _____

Calderas _____

Carros _____

Sistema Eléctrico _____

Iluminación _____

Mantenimiento del edificio
(general) _____

Calefacción _____

Equipo de cocina _____

Mantenimiento exterior _____

Misceláneos _____

Plomería _____

Mantenimiento preventivo _____

Refrigeración _____

Ventilación _____

Mano de obra _____

Tiempo extra _____

Gastos reales de mantenimiento
(semanal) _____

Costo total de gastos estimados
de mantenimiento _____

FORMATO 5-3

FICHA DE MANTENIMIENTO

DIARIO SEMANAL MENSUAL SEMESTRAL ANUAL

Mecánico designado para completar el trabajo

TARJETA # TIEMPO EMPLEADO FECHA

FORMATO 5-4

HOJA DE COMENTARIOS DE EJECUCION LABORAL

DIARIO SEMANAL MENSUAL SEMESTRAL ANUAL

Tarjeta Tiempo empleado OBSERV.

Enero

Febrero

Marzo

Abril

Mayo

Junio

Julio

Agosto

Septiembre

Octubre

Noviembre

Diciembre

5.4 MANTENIMIENTO DE EQUIPO

Cuando se da al equipo el mantenimiento adecuado, se ahorra energía. En esta sección se incluye equipo representativo y los tipos de rutinas de mantenimiento a efectuarse. Además de las inspecciones de rutina, es necesario verificar que no haya fugas de vapor, agua, aire, etc., y anotar y corregir daños al aislamiento, al material refractario de los hornos, y otros daños.

Los Formatos 5-5 y 5-6 respectivamente ilustran la hoja de un cuaderno de control diario y la hoja para un estudio de mantenimiento.

RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y DE OPERACION POR EQUIPO

Calderas

Los procedimientos de operación y mantenimiento dependen del tipo de caldera, del combustible usado y de las instrucciones del fabricante. Se deben mantener registros permanentes de las inspecciones, pruebas y servicios.

El formato 5-7 muestra una lista de comprobación de mantenimiento general. Una forma específica de esta ilustración debe ser incorporada a todos los programas de mantenimiento preventivo general, con base en los detalles de la unidad de operación.

Hornos (mensualmente)

1. Revise las condiciones adecuadas de aire primario y secundario del compartimiento.

2. Regule el piloto automático y la válvula de seguridad para que operen adecuadamente.

FORMATO 5-5

CUADERNO DE CONTROL DIARIO
DE MANTENIMIENTO

FECHA	ACCIONES REQUERIDAS	MANTENIMIENTO			
		FECHA	CODIGO	TARJETA #	TRABAJO REALIZADO

FORMATO 5-6

HOJA DE ESTUDIO DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO

DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

OPERACION N° _____

EQUIPO	LOCALIZACION DEL EQUIPO	CODIGO	FRECUENCIA DEL MANTENIMIENTO	ESTIMACION DEL TIEMPO REQUERIDO	HORA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO

TABLA 5-7

RUTINAS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

SISTEMA	DIARIAMENTE	SEMANALMENTE	MENSUALMENTE	ANUALMENTE
Purga y tratamiento de agua	*Verifique que no haya fugas en la válvula de de purga. *Asegúrese de que la purga no sea excesiva.		*Asegúrese de que no haya acumulación de sólidos	
Gases de combustión	*Inspeccione la temperatura a dos niveles de fuego diferentes (alto y bajo).	*Mida la temperatura y composición de los gases de escape a niveles seleccionados de fuego y ajústelas a los valores recomendados.	*Igual que semanalmente. *Compare con las lecturas de. los meses anteriores.	Igual que semanalmente *Anote información de referencia.

SISTEMA	DIARIAMENTE	SEMANALMENTE	MENSUALMENTE	ANUALMENTE
Quemador	*Verifique que los controles operen adecuadamente. *Si se usa combustible #6, el quemador puede necesitar limpiezas varias veces al día.	*Limpie el sistema y el conjunto del piloto del quemador. *Inspeccione las condiciones de la apertura del electrodo de chispa, y del quemador.	*Igual que semanalmente.	*Igual que semanalmente. *Limpie y reacondicione.
Sistema de Alimentación de agua	*Revise y corrija los niveles inestables de agua. *Son causas de condiciones inestables: los contaminantes, la sobrecarga y el mal funcionamiento.	*Revise el control parando la bomba de agua y permita que el control detenga el flujo de agua.		*Limpie los tanques de condensado y el sistema de desaireación. *Revise las bombas.

SISTEMA	DIARIAMENTE		
Presión de vapor	*Verifique que no sea excesiva la demanda de la caldera, ya que esto causará variaciones excesivas en la presión.		
Temperatura de aire en los Cuartos de calderas.	*Verifique que la temperatura en el cuarto de caldera esté dentro de los límites aceptables.		
Válvula de alivio		*Verifique que no haya fugas en la válvula de alivio.	*Remuévala y reacondiciónela.
Características de operación de la caldera		*Observe el sistema de detección de falla de llama y las características de la llama.	

SISTEMA	DIARIAMENTE	SEMANALMENTE	MENSUALMENTE	ANUALMENTE
Suministro de aire para la combustión			*Verifique que las aberturas para entrada de aire sean adecuadas. *Limpie si hubiera obstrucción.	
Sistema de Alimentación de Combustible			*Revise las bombas, filtros, manómetros de presión y líneas de transferencia. *Si es necesario, limpie los filtros.	*Limpie y reacondicione el sistema.
Fajas y Porta-empaquetudoras			*Verifique la tensión adecuada y el buen estado de las fajas. *Verifique la ausencia de fugas y la compresión adecuada de los portaempaquetaduras	

SISTEMA	DIARIAMENTE	SEMANALMENTE	MENSUALMENTE	ANUALMENTE
Fugas de aire			*Verifique la ausencia de fugas alrededor de las aberturas de acceso y del explorador de llama.	
Fugas de aire en las superficies del lado de agua y del lado de fuego				*Limpie las superficies de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
Refractor en el lado de fuego.				Repare el refractor
Sistemas eléctricos				*Limpie las terminales y reemplace las partes defectuosas.
Válvulas hidráulicas y neumáticas				*Revise todas las operaciones y repare las fugas
Arranque y operación				*Observe el arranque y la operación.

SISTEMA	DIARIAMENTE	SEMANALMENTE	MENSUALMENTE	ANUALMENTE
Registros	*Anote el tipo y la cantidad de combustible usado, la temperatura de los gases de combustión y la temperatura de los niveles de fuego y del cuarto de caldera.			

3. En los hornos de convección, revise los motores, las fajas y los ventiladores.

4. Ajuste el termostato a una calibración exacta.

5. Inspeccione el cierre hermético de las puertas de los hornos (para evitar las pérdidas de calor).

6. Limpie y ajuste el orificio y el quemador al nivel nominal de BTU's (Unidades Térmicas Británicas) de entrada.

7. Lubrique las válvulas para gas.

8. Ajuste la llama del quemador hasta lograr la mezcla adecuada de gas/aire.

BOMBAS

Debe integrarse una Hoja de Control de Mantenimiento Preventivo, de conformidad con las recomendaciones del fabricante de la bomba.
La rutina de mantenimiento debe incluir:

1. Limpieza periódica del interior de la caja de la bomba y verificación de la ausencia de desgaste o daños en el impulsor ("impeller").

2. Revisión de los prensaestopas y reemplazo de empaquetadura cuando sea necesario.

3. Revisión y ajuste de las transmisiones (como las de los ventiladores).

4. Verificación de la operación correcta y eficaz de las válvulas de retención, válvulas de desvío ("by-pass") de presión, etc.

COMPRESORES Y EVAPORADORES

1. Lista de inspecciones semanales

a. Caja de temperatura
b. Fijación del termostato.
c. Nivel de aceite del compresor (si fuera aplicable).
d. Flujo de retorno al compresor. Ausencia de escarcha en el compresor.
e. Operación del condensador y de los ventiladores del evaporador. Limpieza.
f. Limpieza de los serpentines, bandeja y ventiladores del evaporador.
g. Fugas y puntos de lubricación.
h. Sincronización de los relojes de control de operación ("timers"), si fuera aplicable.
i. La temperatura del receptor debe ser cálida.
j. Ciclaje corto.
k. Bandas de sobrecalentamiento, accesorios.

2. Lista de inspecciones semestrales

a. Nivel de agua del depósito y calentador de inmersión.
b. Prueba de fugas del sistema completo.
c. Lubricación de cojinetes en los ventiladores de transmisión por fajas.
d. Apriete todas las terminales eléctricas.

e. De conformidad con las recomendaciones del fabricante, revise la descarga de presión, la presión del receptor, presión del evaporador, presión entre etapas y presión de succión.

f. Revise la válvula de expansión.

g. Revise el voltaje y el amperaje del compresor y evaporador.

h. Verifique la presencia de materiales no condensables en el sistema.

i. Fijación del control de presión del lado bajo. Corte de entrada y de salida de conformidad con las instrucciones de instalación.

Nota: No efectúe ajustes de presión sin manómetros instalados, o sin haber verificado primero la fijación recomendada de presión, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

La relación de potencia en caballos(HP) consumida por cada tonelada de refrigerante que se produce, puede variar considerablemente, dependiendo de la limpieza del condensador y del evaporador. La Tabla 5-8 indica las variaciones medidas de una máquina con capacidad nominal de 15 toneladas, que posee un compresor oscilante.

TABLA 5-8

EFECTOS DEL MANTENIMIENTO INADECUADO
EN LA EFICIENCIA DE UN COMPRESOR OSCILANTE
CON CAPACIDAD NOMINAL DE 15 TONELADAS

CONDICIONES	(1) °F	(2) °F	(3) Tons*	(4) %	(5) HP*	(6) HP/T*	(7) %
Normal	45	105	17	-	15.9	0.93	-
Condensador sucio	45	115	15.6	8.2	17.5	1.12	20
Evaporador sucio	35	105	13.8	18.9	15.3	1.10	18
Condensador y evaporador sucios	35	115	12.7	25.4	16.4	1.29	39

(1) Temperatura de succión, °F
(2) Temperatura de condensación, °F
(3) Toneladas de refrigerante
(4) Reducción de capacidad, %
(5) Potencia en caballos (HP)
(6) Potencia en caballos por tonelada, HP/T
(7) Porcentaje de aumento en "bh" del compresor por tonelada

* ("Tons" = Toneladas. "HP" = Caballo de fuerza. "HP/T" = caballo de fuerza por tonelada).

Se puede ver que en el peor de los casos la capacidad se redujo aproximadamente en un 25% y la demanda de energía por tonelada de refrigerante aumentó en un 39%.

Mantenimiento del equipo de refrigeración

1. Para la selección de todos los lubricantes y refrigerantes se deben seguir las instrucciones del fabricante.

2. Para evitar pérdida de temperatura y daños por la condensación, inspeccione y repare cualquier daño al aislamiento de los ductos y tuberías.

3. Vea que no haya boquillas obstruidas en el condensador.

4. Vea si no hay suciedad en la paletas del ventilador o en los rotores, ya que ésta puede causar desequilibrio y vibración. No pinte las paletas del ventilador.

5. No lubrique demasiado los cojinetes del ventilador. Esto evitará que el aceite o la grasa se corran hacia la paletas y retengan polvo y suciedad.

6. Inspeccione la pérdida de agua en la condensación y enfriamiento, a razón de galones por minuto por tonelada de refrigeración.

7. Revise los controles en las entradas de aire exterior, de manera que el suministro de aire externo se aumente cuando está lo suficientemente frío para reemplazar al aire refrigerado.

8. Vea si no hay fugas de aire alrededor de puertas y de otras aberturas, a través de protectores desgastados.

9. Revise si hay empaques desgastados en las puertas del refrigerador.

10. Revise los impulsores ("impellers") y las empaquetaduras de las bombas de recirculación.

11. Asegúrese de que los condensadores estén limpios, para lograr una adecuada transfencia de calor.

12. Para alargar la vida del compresor, asegúrese de que la presión de columna no sea excesiva y de que exista una presión de succión adecuada.

13. Investigue las posibilidades de recuperación del agua del condensado, en donde sea aplicable.

14. Revise los ciclos de descongelamiento, para evitar la pérdida de energía ocasionada por la acumulación de escarcha.

15. Inspeccione el estado de las válvulas y los pistones del compresor.

16. Verifique que no estén dañadas las aletas del condensador de enfriamiento de aire y límpielas.

17. Mantenimiento de temporada. Hacia el final de la época cálida, se debe realizar una inspección completa del equipo de aire acondicionado, mientras esté todavía funcionando.

Deben efectuarse las siguientes rutinas:

a. Posible reemplazo de controles, fajas, filtros de aire, secadoras de filtración del refrigerante y aislamiento.

b. Vea si hay aumento del consumo de energía o de la demanda de agua de enfriamiento para las unidades. Saque de servicio una unidad a la vez y proporciónele mantenimiento, revisando su funcionamiento en vacío, drenando el agua, retirando los prensaestopas, drenando el aceite, lavando a presión los cojinetes, agregando aceite nuevo y limpiando las bandejas colectoras y los depósitos.

c. Revise si hay piezas desgastadas y verifique el espacio de compresión.

La inspección indicada debe realizarse independientemente de cómo haya funcionado la maquinaria durante la temporada previa.

La tabla 5-9 muestra el efecto medido de los evaporadores y condensadores sucios en un enfriador por absorción con una capacidad nominal de 520 toneladas.

TABLA 5-9

EFECTOS DEL MANTENIMIENTO INADECUADO
EN LA EFICIENCIA DE UN ENFRIADOR POR ABSORCIÓN
DE 520 TONELADAS DE CAPACIDAD

Condición	Agua enfriada °F	Agua de la torre °F	Tons	Reducción de capac. %	vapor lb/Ton/h	por-cen-taje
Normal	44	85	520	-	18.7	-
Condensador sucio	44	90	457	12	19.3	3
Evaporador Sucio	40	85	468	10	19.22	2.5
Condensador y evaporador sucios	40	90	396	23.3	20.1	7.5

En el peor de los casos ocurre una reducción en el rendimiento de un 23.8%, con un aumento en el consumo de vapor de 7.5% por tonelada de refrigerante.

Ventiladores

1. Los cojinetes del eje de la rueda en las unidades de transmisión por fajas de todo tipo, con chumaceras prelubricadas y graseras, deben ser lubricados cada tres (3) años. Para condiciones normales de operación, use una grasa que tenga la consistencia de la "NLGI" No. 2.
   Los cojinetes del motor son prelubricados y deben ser lubricados nuevamente cada tres (3) a cinco (5) años. Consulte las instrucciones del motor. Para lubricar los motores que no tienen tapones ni graseras en la caja de cojinetes; se pueden remover los protectores de los extremos del motor.

2. Revise la tensión de las fajas cada seis (6) meses. El ancho de la faja debe hundirse cuando se presiona firmemente hacia adentro en el punto a la mitad de la distancia entre las poleas. La tensión excesiva dañará los cojinetes; la faja debe estar lo suficientemente tensa para evitar que se resbale. Al reemplazar la faja, reemplace la polea del motor si el reborde de la ranura está desgastado. No la reemplace por una polea de diámetro mayor, ya que ésta provocará sobrecarga al motor.

3. Limpie las aspas del ventilador (o soplador) y asegúrese de que no estén dañadas, ya que esto puede ocasionar un desequilibrio en el funcinamiento.

4. Verifique si no hay fugas de aire en la caja del ventilador y en las conexiones de los ductos.

Filtros, serpentines, coladores, ductos y registros

1. Filtros. Se deben seguir las recomendaciones del fabricante respecto al método y frecuencia de limpiezas y reemplazos. El filtro de aire del tipo que recibe mantenimiento manual requiere limpieza o reemplazo periódicamente. La indicación usual de que se requiere limpieza o reemplazo es: (a) una reducción en el flujo de aire que pasa por el filtro (hasta de un 10%), o (b) un aumento en la resistencia de paso del filtro (más del 100%).

   Las instalaciones grandes que tienen una gran cantidad de filtros, pueden diseñar un programa de mantenimiento que incluya una rotación de intervalos regulares de las limpiezas/reemplazos. En ciertas instalaciones con largas líneas y unidades centrales de control de aire, es posible instalar manómetros sencillos para indicar el diferencial de presión a través del filtro.

   Los filtros y precipitadores autolimpiantes también deben ser examinados periódicamente para verificar si el medio desechador mantiene sus propiedades y si no hay acumulación de lodos en la bandeja colectora. Muchos fabricantes instalan en su equipo indicadores que avisan cuando el mantenimiento ya es necesario.

2. Serpentines. La operación eficiente de los serpentines de enfriamiento y de calentamiento depende en su mayor parte de la limpieza de la superficie que transfiere el calor. Las superficies de los tubos con aletas requieren particular atención y pueden ser limpiadas con detergentes y agua de alta presión, utilizando unidades portátiles. Los serpentines rociadores pueden necesitar tratamiento químico para evitar la acumulación de algas y lodo que deposita el

agua de enfriamiento. La limpieza química puede ser muy efectiva, pero se debe tener cuidado al seleccionar los químicos a usarse en ciertas partes metálicas.

3. Coladores. La limpieza regular de las pantallas de los coladores mantiene en un mínimo las pérdidas de presión en los sistemas que funcionan con líquido y así se ahorra energía de bombeo. Puede ser posible reemplazar la malla fina de las canastas de los coladores de malla gruesa, sin afectar la operación del sistema. Esto también reducirá la pérdida de presión en el sistema y ahorrará energía de bombeo.

4. Ductos. Periódicamente se debe limpiar el interior de ductos, cámaras impelentes, unidades de control de aire, etc., para remover los depósitos residuales de polvo y partículas. Esto ayudará a reducir el trabajo del filtro de aire y alargará los intervalos entre los servicios de éste.

5. Registros. Periódicamente observe si no hay acumulación de material o de otras partículas extrañas detrás de los registros. Inspeccione también el sello entre el registro y el ducto para asegurarse de que todas las persianas apunten hacia la dirección requerida.
Se debe revisar el ajuste de los registros, ya que éstos pueden a veces moverse accidentalmente o ser removidos por personal no autorizado.

Motores eléctricos

La inspección de los motores eléctricos incluirá lo siguiente:

1. Revise los contactores eléctricos del arrancador y las

conexiones de los cables que pudieran haberse aflojado.

2. Utilice un amperímetro para comparar las cargas de arranque y de funcionamiento con las cargas nominales.

3. Ajuste la tensión de la faja y déjela ligeramente suelta en el lado superior.

4. Alinee la faja para evitar daños a las fajas y cojinetes y consumo excesivo de energía eléctrica.

5. Revise los cojinetes para observar si no hay desgaste o suciedad.

6. Inspeccione el aislamiento interno para asegurarse de que esté libre de aceite.

7. Revise las ranuras del commutador y la caja del motor para ver que no haya polvo y que la circulación de aire sea buena.

8. Examine que los fusibles y los dispositivos limitadores de corriente tengan la protección adecuada durante el arranque y durante el funcionamiento.

9. Verifique si no están desgastados los cepillos.

Fugas: Vapor, Agua y Aire

No se debe subestimar la importancia del problema de las fugas. Si una planta tiene muchas fugas, esto puede indicar que existe un bajo nivel de operación que involucra la pérdida no sólo de vapor, sino también de agua, condensado, aire comprimido, etc.

Por ejemplo, si el vástago de una válvula está desgastado o su empaquetadura está en mal estado y hay una luz de 0.010 de pulgada entre el vástago, el área de fuga para un vástago con un diámetro de 3/4 de pulgada será igual a un agujero de 3/32 de pulgada de diámetro. La Tabla 5-10 ilustra la pérdida de fluído a través de los agujeros pequeños.

TABLA 5-10

PERDIDA DE FLUIDO A TRAVES DE LOS AGUJEROS PEQUEÑOS

Diámetro del Agujero	Vapor - lb/hora 100 psig*	300 psig*	Agua -galones/hora 20 psig	100 psig	Aire SCFM 80 psig*
1/16"	14	33	20	45	4
1/8"	56	132	30	180	16
3/16"	126	297	180	405	36
1/4"	224	528	320	720	64

(*"psig" = libra fuerza por pulgada cuadrada sobre la presión atmósferica).

Aunque la planta pueda no estar en producción completa durante cada hora del año (es decir 8 760 horas), los sistemas de alimentación de agua de la caldera de la planta y los compresores de aire podrían estar en funcionamiento. Por lo tanto, las pérdidas por fugas son, generalmente, de naturaleza continua.

Aislamiento térmico

Cualquiera que sea el sistema de tubería, hay un requisito fundamental: el aislamiento debe ser adecuado. La Tabla 9-4 proporciona una guía sobre el espesor de aislamiento que se requiere. Es obvio que hay una variedad de tipos de materiales aislantes con diferentes propiedades y a diferentes costos, cada uno de los cuales dará una variación en el retorno de capital. La Tabla 5-11 está basada en el uso de un buen aislamiento de asbesto o magnesia, pero la mayoría de los fabricantes han clasificado sus datos indicando los diferentes beneficios y ahorros que pueden ser logrados con su producto en particular.

TABLA 5-11

PERDIDAS DE CALOR EN LAS TUBERIAS

Diámetro de la tubería, pulgadas	Temperatura de la superficie, °F	Espesor del aislamiento, pulgadas	Pérdida de calor, (Btu/pie/hr) Sin aisl.	Con aisl.	Eficiencia del aislamiento
4	200	1 1/2	300	70	76.7
	300	2	800	120	85.0
	400	2 1/2	1500	150	90.0
6	200	1 1/2	425	95	78.7
	300	2	1300	180	85.8
	400	2 1/2	2000	195	90.25
8	200	1 1/2	550	115	79.1
	300	2	1500	200	86.7
	400	2 1/2	2 750	250	91.0

Trampas de vapor

El método para remover el condensado es a través de trampas de vapor. La mayoría de las plantas tienen sistemas eficaces de trampas. Otras pueden tener problemas tanto con el tipo de trampas como con la eficiencia del sistema.

Los problemas pueden variar desde la instalación del tipo equivocado de trampa hasta la formación de bolsas de aire o de vapor. Un sistema de trampas en buenas condiciones puede ser un gran economizador de vapor. Un mal sistema puede ser un notorio desperdiciador de vapor, particularmente cuando las trampas tienen que ser desviadas o tienen fugas.

Por lo tanto, la clave para la eficacia de la mayoría de sistemas de trampas es la buena instalación y el mantenimiento adecuado. Para facilitar la remoción del condensado, las tuberías deben estar inclinadas en dirección del flujo de vapor. Esto tiene dos ventajas obvias respecto a la remoción del condensador; una en la acción de la gravedad y la otra el impulso del flujo de vapor. Bajo estas circunstancias, la colocación estratégica de las trampas y de los puntos de drenaje se simplifica en gran manera.

Un error común que se comete a menudo desde el principio es la instalación de trampas de tamaño equivocado. Las trampas generalmente se ordenan según el diámetro de la tubería de conexión. Desafortunadamente, el tamaño de este diámetro no tiene nada que ver con la capacidad de la trampa. La capacidad de descarga de la trampa depende del área de la válvula, de la caída de presión a través de ésta y de la temperatura del condensado.

Es necesario, por lo tanto, recordar exactamente lo que es una trampa de vapor. Es un dispositivo que distingue entre el vapor y el agua y, automáticamente, abre una válvula para permitir que pase el agua pero no el vapor. Hay numerosos tipos de trampas con características variadas. Aún dentro de la misma categoría de trampas, por ejemplo las de flotador o termoexpansivas, existen numerosos diseños. Las siguientes indicaciones pueden servir para propósitos de selección.

1. Donde se necesite remover una pequeña cantidad de condensado, es preferible instalar un trampa expansiva o termostática.

2. Donde la descarga intermitente sea aceptable y el aire no constituya un problema mayor, las trampas de cubeta invertida serán suficientemente adecuadas.

3. Donde el condensado deba ser continuamente removido a las temperaturas del vapor, se deben usar trampas de flotador.

4. Donde sea necesario remover grandes cantidades de condensado, deben usarse trampas de reló. Sin embargo, este tipo de trampa de vapor difícilmente será requerido para su uso en la industria alimenticia.

Para asegurar que una trampa de vapor no se quede abierta, es necesario realizar una inspección semanal para efectuar los ajustes necesarios. Las pruebas de las trampas de vapor pueden utilizar diversos métodos para asegurar la operación adecuada:

* Instale una cinta sensible al calor en la descarga de la trampa. El color indica la operación adecuada.

* Utilice un destornillador o un instrumento acústico más sofisticado, colocando un extremo en el oído y el otro en la trampa. Si la trama es del tipo de cubeta, escuche el sonido ("click") de la operación de la trampa.

Aparatos de control

La operación funcional del equipo de control no es de ninguna utilidad a menos que el equipo funcione correctamente en el nivel prefijado. La inspección y recalibración periódica de todo el equipo de control es un aspecto esencial de la conservación de energía.

1. Termostatos. En muchos casos, los termostatos pueden ser revisados con un termómetro de mercurio en tubo de vidrio, para ajustar la calibración. El diferencial de temperatura para una señal generalmente no es ajustable. Si se determina que el diferencial es muy grande, por lo general es necesario reemplazar la unidad. Las inspecciones deben efectuarse en las posiciones tanto máximas como mínimas.

2. Humidistatos. Estos pueden ser revisados con un termómetro de bulbo húmedo y seco. La mayoría de unidades pueden recalibrarse fácilmente, pero los diferenciales de operación más allá de un punto prefijado por lo general no pueden ser ajustados.

3. Válvulas de control. Estas deben ser revisadas y ajustadas en su operación por medio del control de la señal de activación, efectuado a través de un estándar conocido*, o por medio de una señal auxiliar para una fuente correcta alternativa.

Ajustes

1. Actuadores. En estos se debe revisar la operación (y la repetición de la operación) al recibir una señal. Se debe inspeccionar la duración del golpe o el ángulo de arco para asegurar el movimiento de operación completo.

2. Uniones. Verifique la facilidad de movimiento; lubrique el punto de apoyo y detecte si no hay calentamiento. Revise los dispositivos de fijación en las uniones ajustables y asegúrese de que estén en la posición original, determinada durante las pruebas y equilibrio del sistema.

3. Transmisiones de los motores. Estos se usan para el control de algunos tipos de válvulas, reguladores, etc. Verifique la duración del golpe/ángulo de arco, la seguridad de la fijación, y ajuste donde sea requerido.

---

* Válvulas de acción directa: termómetro de mercurio en tubo de vidrio.
Válvulas neumáticas: manómetro de presión
Válvulas operadas eléctricamente:
amperímetro/voltímetro

4. Reguladores manuales. Verifique que estén en las posiciones fijas que se determinaron durante las pruebas y equilibrio del sistema. Vea que no haya fugas alrededor del eje y asegúrese de que el cuadrante permita el movimiento completo de apertura/cierre de la compuerta. Verifique que las compuertas se cierren herméticamente.

5. Registros. Asegúrese de que estén fijados para descargar el aire en la dirección requerida. Asegúrese de que no se infiltre aire acondicionado dentro del sistema de retorno.

CONDICIONES CLIMATICAS EN CENTROAMERICA Y PANAMA

A continuación se presenta información acerca de condiciones climáticas para Centroamérica.

La lista incluye:

a) Datos para diseño de calefacción:

Temperaturas de bulbo seco (°F) las cuales son iguales o exceden el 99% y 97 1/2% del tiempo sobre un promedio, durante los tres meses consecutivos más fríos (determinadas por la temperatura media de bulbo seco).

Datos de criterio para aire acondicionado:

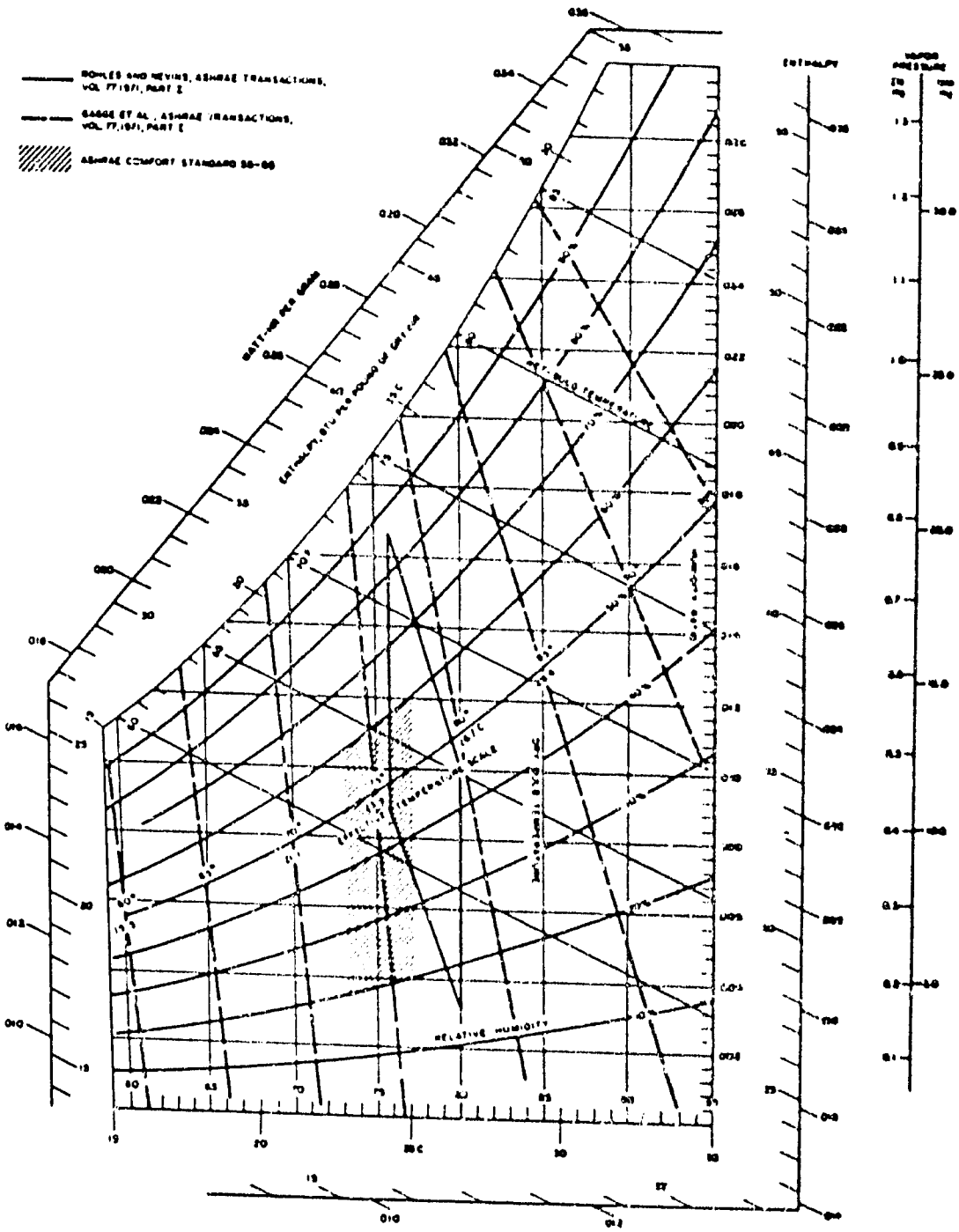
Temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo (°F) las cuales son iguales son iguales o exceden el 1, 2 1/2, 5 y 10% del tiempo sobre un promedio, durante los 4 meses consecutivos más calientes (determinadas por la temperatura media de bulbo húmedo).

Datos para diseño de aire acondicionado:

Número de horas, sobre un promedio, en que las temperaturas de bulbo seco de 93 °F y 80 °F; y las temperaturas de bulbo húmedo de 73 °F y 67 °F son iguales o exceden durante los seis meses consecutivos más calientes (determinadas por la temperatura media de bulbo húmedo).

FUENTE "The Marley Company and Private Consulting Meteorologist"

AREA País Estación	Localización			Datos para diseño de Calefacción		Datos de criterio para aire acondicionado								Datos para diseño de aire acondicionado			
				Bulbo Seco		Bulbo Seco				Bulbo Húmedo				Bulbo Seco		Bulbo Húmedo	
	Lat.	Long.	Elev.	99%	97 1/2	1%	2 1/2%	5%	10%	1%	2 1/2%	5%	10%	93°F	65°F	73°F	67°F
CENTROAMERICA:																	
Zona del Canal:	N	O															
Albrook AFB				72	73	91	90	89	87	81	81	80	79	10	1904	4268	4416
Amador, Port				72	73	91	90	89	87	81	81	80	79	10	1904	4268	4416
Balboa	8 55	79 32	15	72	73	91	90	89	87	81	81	80	79	10	1904	4268	4416
Clayton Port				72	73	91	90	89	87	81	81	80	79	10	1904	4268	4416
Coco Loco NAVSTA				72	73	89	88	87	86	82	81	81	80	5	2158	4245	4331
Farfan				72	73	91	90	89	87	81	81	80	79	10	1904	4268	4416
France AFB				72	73	89	88	87	85	82	81	81	80	5	2158	4245	4331
Howard AFB				72	73	91	90	89	87	81	81	80	79	10	1904	4268	4416
Rodman				72	73	91	90	89	87	81	81	80	79	10	1904	4268	4416
Summit	9 04	79 39	700	71	72	89	88	87	85	80	80	79	78	0	1607	4164	4416
Costa Rica:	N	O															
San José	9 58	84 02	3760	53	54	84	83	82	79	72	71	71	70	0	375	2	1720
El Salvador:	N	O															
San Salvador	13 42	89 13	2238	54	56	95	93	91	88	77	76	75	74	125	1765	1059	3532
Guatemala:	N	O															
Guatemala	14 35	90 32	4873	48	51	81	80	78	77	68	67	66	66	0	114	1	179
Honduras:	N	O															
Tegucigalpa	14 02	87 15	3250	47	50	89	87	85	82	73	72	71	70	30	857	26	1261
Nicaragua:	N	O															
Managua	12 08	86 12	208	66	67	91	90	89	88	81	80	79	78	45	2085	3508	4411



The New ASHRAE Comfort Chart

INFORMACION DEL EDIFICIO

1. INFORMACION GENERAL

Inspeccionado por: _____

Fecha de inspección: _____

IDENTIFICACION:

OPERACION _____

Dirección _____

_____

Tipo(s) de ocupación _____

_____

Nombre de la persona encargada de la energía _____

_____

DATOS FISICOS:

Orientación del edificio _____

No. de pisos _____

Area de piso, grueso, pies^2 _____

Area acondicionada neta (pies^2) _____

Tipo de construcción:

Paredes (mampostería, cortinas, marcos, etc.)

N_____ S_____ E_____ O_____

Techo:

Tipo: Plano _____ Color: Claro _____

Con pendiente _____ Oscuro _____

Ventanas:

Exposición	*Tipo	% Vidrio/área pared exterior
N	_____	_____
S	_____	_____
E	_____	_____
O	_____	_____

*Tipo: Simple, doble, aislado, reflectivo, etc.

Sombra empleada en el exterior del vidrio (verificar):

Tablillas _____ Superior _____ Ninguna _____ Otra _____

ESQUEMA DEL EDIFICIO MOSTRANDO LAS DIMENSIONES PRINCIPALES:

TIPO DE EDIFICIO:

Energía

Electricidad: _____

Gas: _____

Aceite combustible: _____

Otros: _____

USO Y OCUPACION DEL EDIFICIO

Días entre semana: Ocupado por*_____ personas de _____ a _____(horas)

_____ _____ _____

_____ _____ _____

_____ _____ _____

_____ _____ _____

Sábados: _____ _____ _____

Domingos y días de feriado: _____ _____ _____

Horas de aire acondicionado:

Entre semana, de_____a_____; Sábados, de_____a_____; Domingos y días de feriado de_____a_____

*(Un día = 24 horas. Si no es ocupado poner cero)

2. CONDICIONES AMBIENTALES

CONDICIONES EXTERIORES:

Invierno: Día:_____ °F. BS_____mph viento Noche:_____ °F. BS_____mph viento

Verano: Día:_____ °F. BS_____mph viento Noche:_____ °F. BS_____mph viento

CONDICIONES MANTENIDAS EN EL INTERIOR:

Invierno: Día:_____ °F. BS_____ % HR Noche:_____ °F. BS_____ % HR

Verano: Día:_____ °F. BS_____ % HR Noche:_____ °F. BS_____ % HR

3. DATOS DE EQUIPOS Y SISTEMAS

SISTEMAS DE "HVAC":

Manejo de sistemas de aire (verificar apropiadamente):

Indicación del exterior del sistema:

Una zona _____ Multizona _____

Ventilador _____ Inducción _____

Terminal de recalentamiento _____ Unidad individual _____

Bomba de calor _____

Indicación del interior del sistema:

Ventilador _____ Volúmen de aire variable _____

Una zona _____ Otros (describa) _____

Principio de operación:

Apagado de calefacción-enfriamiento _____

Variación del volumen de aire _____

Control de mezcla de aire _____

Variación de temperatura _____

Interior:

Apagado de calefacción-enfriamiento _____

Variación del volúmen de aire _____

Variación de temperatura _____

4. MANEJO DE LA UNIDAD DE AIRE - SUMINISTRO, RETORNO, SALIDA

Descripción del sistema _____

_____

Potencia (HP)_____ Reguladores de aire Sí ____ No ____ Temperatura fijada_____ °F

Localización_____ Area inspeccionada _____

Unidades terminales: Cantidad_____ Tipo_____

Operaciones (encendido/apagado)	Hora de encendido	Hora de apagado
Lunes a viernes	_____	_____
Sábado	_____	_____
Domingo	_____	_____
Días feriados	_____	_____

Método de encendido - apagado:

Reloj _____ Manual _____ Otro _____

5. PLANTA DE ENFRIAMIENTO

Enfriadores: Número _____ Toneladas totales/kW _____

Bombas de agua para enfriamiento _____ Total, HP _____

Bombas de agua para condensador _____ Total, HP _____

Ventilador(es) torre de enfriamiento _____ Total, HP _____

Temperatura del agua fría suministrada _____ °F

Operaciones (encendido/apagado)	Hora de encendido	Hora de apagado
Lunes a viernes	_____	_____
Sábado	_____	_____
Domingo	_____	_____
Días feriados	_____	_____

Método de encendido - apagado:

Reloj _____ Manual _____ Otro _____

Meses de operación por año _____

Observaciones: _____

_____

6. PLANTA DE CALDERA

No. de calderas _____ Tamaño _____ Tipo _____

Combustible usado _____

Temperatura del agua caliente suministrada _____ °F Presión del vapor _____ psig

No. de bombas _____ Total, HP _____

Observaciones: _____

_____

7. SISTEMAS UNITARIOS/DE TECHO

Fabricante y modelo _____

Cantidad _____ Localización _____

Capacidad de enfriamiento _____ Total de toneladas

Capacidad de calentamiento _____ Btu de salida _____ Btu de entrada (gas/aceite combustible) _____

Electricidad ___ Gas ___ Vapor/HP ___

Unidades de una zona_____ Unidades multizona_____ Número de zonas_____

Control de los reguladores de aire _____

Ventiladores:	CFM	HP
Suministro	_____	_____
Retorno	_____	_____
Salida	_____	_____

Operaciones (encendido/apagado)	Hora de encendido	Hora de apagado
Lunes a viernes	_____	_____
Sábado	_____	_____
Domingo	_____	_____
Días feriados	_____	_____

Método de encendido - apagado:

Reloj _____ Manual _____ Otro _____

8. AIRE DE ALIMENTACION A SISTEMAS Y DE SALIDA

Descripción	Localización	Area inspeccionada	CFM	HP
		TOTAL		

Programa de operación

_____

_____

_____

Todos los ventiladores (suministro, retorno y salida)

Localización	Potencia (HP)	Tipo	Método de operación

Fuente de energía para celentamiento

Agua caliente _____ Vapor _____ Resistencia eléctrica _____

Otro _____

Planta de calentamiento:

Caldera No. _____ Btu/h _____

_____ _____

_____ _____

Tipo de caldera:

Tubos de fuego _____ Tubos de agua _____ Resistencia eléctrica _____

Electrodos _____ Otro _____

Combustible usado _____ Otro recurso _____

Temperatura del agua caliente suministrada _____ °F Retorno _____ °F

Presión del vapor _____ psig

Número de bombas _____ Total de HP _____

Unidades de calentamiento individuales:

Tipo: Friso _____ Convectores _____ Aletas _____

Páneles de cielo raso o pared _____ Unidades calentadoras _____

Otro _____

Planta de enfriamiento:

Enfriadores: No. _____ Capacidad total (Tons) _____

Tipo: Centrífugo _____ Reciprocante _____ Absorción _____

Capacidad controlada por: _____

Operación del enfriador: Controles de encendido _____

Controles de apagado _____

Temperatura del agua fría suministrada _____ °F, Retorno _____ °F

Temperatura del agua del condensador _____ entrada °F _____ salida °F

Aparatos para la disipación del calor

Condensador evaporativo _____

Condensador enfriador de aire _____

Torre de enfriamiento _____

Ventilador de condensador/torre de enfriamiento, HP _____

Aparato recuperador de calor: Condensador doble camisa _____ Otro _____

Bombas de agua fría _____ Total, HP _____

Bombas de agua para condensador _____ Total, HP _____

Unidades individuales:

Tipo: De pared _____ Otro _____

No. de unidades _____ Modelo básico inspeccionado _____

Capacidad (Tons) _____

9. APARATOS DE CONSERVACION DE ENERGIA

Tipo:

Agua del condensador usada para calentamiento _____

Limitadores de demanda _____

Energía almacenada _____

Ruedas para recuperar calor _____

Controles de entalpía del regulador de aire de suministro y retorno _____

_____

Recuperadores _____

Otros _____

ILUMINACION:

Tipo de iluminación interior: _____

Watts/pie^2: Pasillos/corredores _____

Areas de trabajo _____

Areas de circulación dentro del área de trabajo _____

Panel de encendido-apagado _____ Interruptores de pared _____

Control de encendido _____

Iluminación exterior: Tipo _____ kW, totales _____

CALENTAMIENTO DOMESTICO DE AGUA

Tamaño _____ Flujo entrando _____ Temperatura del agua _____ °F

Fuente de energía: Gas ____ Aceite combustible ____ Electricidad ____ Otro _____

OTRO EQUIPO (Cocina, etc.):

Descripción	Cantidad	Tamaño/Capacidad en Btu, kW, HP, etc.

10. PROGRAMA DE OPERACION

OPERACION (Encendido-apagado)

Descripción del equipo	Días entre semana	Sábado	Domingo	Dias feriado
Refrigeradores				
Ventiladores - suministro				
Ventiladores - retorno/salida				
Ventiladores sólo salida				
Equipo auxiliar de HVAC				
Iluminación - interior				
exterior				
Ventilador de salida de cocina				
Elevadores				
Escaleras				

Calentamiento doméstico de agua _____ _____ _____ _____

Otro (describa_____) _____ _____ _____ _____

11. ILUMINACION

1. Tipo de iluminación interior _____

   Watts/pie^2 Oficinas _____ Otro _____

   Total de kW instalados _____ Pie-candelas _____

   Panel de encendido-apagado _____

   Interruptor de pared _____ Control de encendido _____

   Programa de operación _____

2. Tipo de iluminación exterior _____

   kW, totales _____

   Programa de operación _____

3. Observaciones

   _____

   _____

12. FACTURAS

Factura eléctrica _____

Tipo _____ Cobro _____

Nombre de la empresa _____ Teléfono _____

Factura de gas _____

Tipo _____ Cobro _____

Nombre de la empresa _____ Teléfono _____

Factura de agua _____

Tipo _____ Cobro _____

Nombre de la empresa _____ Teléfono _____

GENERADORES DE EMERGENCIA

Número _____ Tamaño _____ kW _____

Encendido: Manual _____ Automático _____

Equipos/sistemas operados _____

_____

_____

ENTALPIA Y DENSIDAD DE AGUA

Temperatura (°F)	Entalpía (Btu/lb)	Densidad (lb/pie^3)
50	18	62.41
70	38	62.30
90	58	62.12
100	68	62.00
120	88	61.71
140	108	61.38
160	128	61.00
180	148	60.58
200	168	60.13
212	180	59.83

Calor específico del agua

c_p = 1.0 Btu/lb °F (1.3 kJ/Kg °C)

PROPIEDADES FISICAS DEL AIRE

Temperatura °F	Entalpía Btu/lb	Calor específico Btu/lb °F	Densidad lb/pie^3
0	109.90	0.239	0.086
32	117.56	0.240	0.081
100	133.86	0.240	0.071
200	157.92	0.241	0.060
300	182.08	0.243	0.052
400	206.46	0.245	0.046
500	231.06	0.247	0.041
600	255.96	0.250	0.037
700	281.14	0.253	0.034
800	306.66	0.256	0.031
900	332.48	0.259	0.029
1000	358.63	0.262	0.027
1500	493.65	0.286	0.020
2000	634.34	0.286	0.016
2500	778.98	0.292	0.013
3000	926.50	0.297	0.011

ANALISIS TIPICO DE ACEITES COMBUSTIBLES

Grado	Punto de inflamabilidad	Azufre	$O_2 + N_2$	H_2	C	Ceniza
No. 1	100	0.10	0.20	13.20	86.50	Trazas
No. 2	100	0.70	0.20	12.70	86.40	Trazas
No. 4	130	1.50	0.48	11.90	86.10	0.02
No. 5	130	2.00	0.70	11.70	85.55	0.05
No. 6	150	2.80	0.92	10.50	85.70	0.08

PROPIEDADES DEL VAPOR Y AGUA SATURADOS (TEMPERATURA)

Temp °F	Pres. psia	Volumen, pie³/lb: Agua v_f	Vapor v_{fg}	Vapor v_g	Entalpía, Btu/lb: Agua h_f	Vapor h_{fg}	Vapor h_g	Entropía, Btu/lb °F: Agua s_f	Vapor s_{fg}	Vapor s_g	Temp °F
32	0.08859	0.01602	3305	3305	-0.02	1075.5	1075.5	0.0000	2.1873	2.1873	32
35	0.09991	0.01602	2948	2948	3.00	1073.8	1076.8	0.0061	2.1706	2.1767	35
40	0.12163	0.01602	2446	2446	8.03	1071.0	1079.0	0.0162	2.1432	2.1594	40
45	0.14744	0.01602	2037.7	2037.8	13.04	1068.1	1081.2	0.0262	2.1164	2.1426	45
50	0.17796	0.01602	1704.8	1704.8	18.05	1065.3	1083.4	0.0361	2.0901	2.1262	50
60	0.2561	0.01603	1207.6	1207.6	28.06	1059.7	1087.7	0.0555	2.0391	2.0946	60
70	0.3629	0.01605	868.3	868.4	38.05	1054.0	1092.1	0.0745	1.9900	2.0645	70
80	0.5068	0.01607	633.3	633.3	48.04	1048.4	1096.4	0.0932	1.9426	2.0359	80
90	0.6981	0.01610	468.1	468.1	58.02	1042.7	1100.8	0.1115	1.8970	2.0086	90
100	0.9492	0.01613	350.4	350.4	68.00	1037.1	1105.1	0.1295	1.8530	1.9825	100
110	1.2750	0.01617	265.4	265.4	77.98	1031.4	1109.3	0.1472	1.8105	1.9577	110
120	1.6927	0.01620	203.25	203.26	87.97	1025.6	1113.6	0.1646	1.7693	1.9339	120
130	2.2230	0.01625	157.32	157.33	97.96	1019.8	1117.8	0.1817	1.7295	1.9112	130
140	2.8892	0.01629	122.98	123.00	107.95	1014.0	1122.0	0.1985	1.6910	1.8895	140
150	3.718	0.01634	97.05	97.07	117.95	1008.2	1126.1	0.2150	1.6536	1.8686	150
160	4.741	0.01640	77.27	77.29	127.96	1002.2	1130.2	0.2313	1.6174	1.8487	160
170	5.993	0.01645	62.04	62.06	137.97	996.2	1134.2	0.2473	1.5822	1.8295	170
180	7.511	0.01651	50.21	50.22	143.00	990.2	1138.2	0.2631	1.5480	1.8111	180
190	9.340	0.01657	40.94	40.96	158.04	984.1	1142.1	0.2787	1.5148	1.7934	190
200	11.526	0.01664	33.62	33.64	168.09	977.9	1146.0	0.2940	1.4824	1.7764	200
210	14.123	0.01671	27.80	27.82	178.15	971.6	1149.7	0.3091	1.4509	1.7600	210
212	14.696	0.01672	26.78	26.80	180.17	970.3	1150.5	0.3121	1.4447	1.7568	212
220	17.186	0.01678	23.13	23.15	188.23	965.2	1153.4	0.3241	1.4201	1.7442	220
230	20.779	0.01686	19.364	19.381	198.33	958.7	1157.1	0.3388	1.3902	1.7290	230
240	24.968	0.01693	16.304	16.321	208.45	952.1	1160.6	0.3533	1.3609	1.7142	240
250	29.825	0.01701	13.802	13.819	218.59	945.4	1164.0	0.3677	1.3323	1.7000	250
260	35.427	0.01709	11.745	11.762	228.76	938.6	1167.4	0.3819	1.3043	1.6862	260
270	41.856	0.01718	10.042	10.060	238.95	931.7	1170.6	0.3960	1.2769	1.6729	270
280	49.200	0.01726	8.627	8.644	249.17	924.6	1173.8	0.4098	1.2501	1.6599	280
290	57.560	0.01736	7.443	7.460	259.4	917.4	1176.8	0.4236	1.2238	1.6473	290
300	67.005	0.01745	6.448	6.466	269.7	910.0	1179.7	0.4372	1.1979	1.6351	300
310	77.67	0.01755	5.609	5.626	280.0	902.5	1182.5	0.4506	1.1726	1.6232	310
320	89.64	0.01766	4.896	4.914	290.4	894.8	1185.2	0.4640	1.1477	1.6116	320
340	117.99	0.01787	3.770	3.788	311.3	878.8	1190.1	0.4902	1.0990	1.5892	340
360	153.01	0.01811	2.939	2.957	332.3	862.1	1194.4	0.5161	1.0517	1.5678	360
380	195.73	0.01836	2.317	2.335	353.6	844.5	1198.0	0.5416	1.0057	1.5473	380
400	247.26	0.01864	1.8444	1.8630	375.1	825.9	1201.0	0.5667	0.9607	1.5274	400
420	308.78	0.01894	1.4808	1.4997	396.9	806.2	1203.1	0.5915	0.9165	1.5080	420
440	381.54	0.01926	1.1976	1.2169	419.0	785.4	1204.4	0.6161	0.8729	1.4890	440
460	466.9	0.0196	0.9746	0.9942	441.5	763.2	1204.8	0.6405	0.8299	1.4704	460
480	566.2	0.0200	0.7972	0.8172	464.5	739.6	1204.1	0.6648	0.7871	1.4518	480
500	680.9	0.0204	0.6545	0.6749	487.9	714.3	1202.2	0.6890	0.7443	1.4333	500
520	812.5	0.0209	0.5386	0.5596	512.0	687.0	1199.0	0.7133	0.7013	1.4146	520
540	962.8	0.0215	0.4437	0.4651	536.8	657.5	1194.3	0.7378	0.6577	1.3954	540
560	1133.4	0.0221	0.3651	0.3871	562.4	625.3	1187.7	0.7625	0.6132	1.3757	560
580	1326.2	0.0228	0.2994	0.3222	589.1	589.9	1179.0	0.7876	0.5673	1.3550	580
600	1543.2	0.0236	0.2438	0.2675	617.1	550.6	1167.7	0.8134	0.5196	1.3330	600
620	1786.9	0.0247	0.1962	0.2208	646.9	506.3	1153.2	0.8403	0.4689	1.3092	620
640	2059.9	0.0260	0.1543	0.1802	679.1	454.6	1133.7	0.8686	0.4134	1.2821	640
660	2365.7	0.0277	0.1166	0.1443	714.9	392.1	1107.0	0.8995	0.3502	1.2498	660
680	2708.6	0.0304	0.0808	0.1112	758.5	310.1	1068.5	0.9355	0.2720	1.2086	680
700	3094.3	0.0366	0.0386	0.0752	822.4	172.7	995.2	0.9901	0.1490	1.1390	700
705.5	3208.2	0.0508	0	0.0508	906.0	0	906.0	1.0612	0	1.0612	705.5

PROPIEDADES DEL VAPOR Y AGUA SATURADOS (PRESION)

Pres. psia	Temp °F	VOLUMEN, PIE³/LB Agua v_f	Evap v_{fg}	Vapor v_g	ENTALPIA, BTU/LB Agua h_f	Evap h_{fg}	Vapor h_g	ENTROPIA, BTU/LB °R Agua s_f	Evap s_{fg}	Vapor s_g	ENERGIA INTERNA, BTU/LB Agua u_f	Evap u_{fg}	Vapor u_g	Pres. psia
0.0886	32.018	0.01602	3302.4	3302.4	0.00	1075.5	1075.5	0	2.1872	2.1872	0	1021.3	0.0886
0.10	35.023	0.01602	2945.5	2945.5	3.03	1073.8	1076.8	0.0061	2.1705	2.1766	3.03	1022.3	0.10
0.15	45.453	0.01602	2004.7	2004.7	13.50	1067.9	1081.4	0.0271	2.1140	2.1411	13.50	1025.7	0.15
0.20	53.160	0.01603	1526.3	1526.3	21.22	1063.5	1084.7	0.0422	2.0738	2.1160	21.22	1028.3	0.20
0.30	64.484	0.01604	1039.7	1039.7	32.54	1057.1	1089.7	0.0641	2.0168	2.0809	32.54	1032.0	0.30
0.40	72.869	0.01606	792.0	792.1	40.92	1052.4	1093.3	0.0799	1.9762	2.0562	40.92	1034.7	0.40
0.5	79.586	0.01607	641.5	641.5	47.62	1048.6	1096.3	0.0925	1.9446	2.0370	47.62	1036.9	0.5
0.6	85.218	0.01609	540.0	540.1	53.25	1045.5	1098.7	0.1028	1.9186	2.0215	53.24	1038.7	0.6
0.7	90.09	0.01610	466.93	466.94	58.10	1042.7	1100.8	0.1	1.8966	2.0083	58.10	1040.3	0.7
0.8	94.38	0.01611	411.67	411.69	62.39	1040.3	1102.6	0.1117	1.8775	1.9970	62.39	1041.7	0.8
0.9	98.24	0.01612	368.41	368.43	66.24	1038.1	1104.3	0.1264	1.8606	1.9870	66.24	1042.9	0.9
1.0	101.74	0.01614	333.59	333.60	69.73	1036.1	1105.8	0.1326	1.8455	1.9781	69.73	1044.1	1.0
2.0	126.07	0.01623	173.74	173.76	94.03	1022.1	1116.2	0.1750	1.7450	1.9200	94.03	1051.8	2.0
3.0	141.47	0.01630	118.71	118.73	109.42	1013.2	1122.6	0.2009	1.6854	1.8864	109.41	1056.7	3.0
4.0	152.96	0.01636	90.63	90.64	120.92	1006.4	1127.3	0.2199	1.6428	1.8626	120.90	1060.2	4.0
5.0	162.24	0.01641	73.515	73.53	130.20	1000.9	1131.1	0.2349	1.6094	1.8443	130.18	1063.1	5.0
6.0	170.05	0.01645	61.967	61.98	138.03	996.2	1134.2	0.2474	1.5820	1.8294	138.01	1065.4	6.0
7.0	176.84	0.01649	53.634	53.65	144.83	992.1	1136.9	0.2581	1.5587	1.8168	144.81	1067.4	7.0
8.0	182.86	0.01653	47.328	47.35	150.87	988.5	1139.3	0.2676	1.5384	1.8060	150.84	1069.2	8.0
9.0	188.27	0.01656	42.385	42.40	156.30	985.1	1141.4	0.2760	1.5204	1.7964	156.28	1070.8	9.0
10	193.21	0.01659	38.404	38.42	161.26	982.1	1143.3	0.2836	1.5043	1.7879	161.23	1072.3	10
14.696	212.00	0.01672	26.782	26.80	180.17	970.3	1150.5	0.3121	1.4447	1.7568	180.12	1077.6	14.696
15	213.03	0.01673	26.274	26.29	181.21	969.7	1150.9	0.3137	1.4415	1.7552	181.16	1077.9	15
20	227.96	0.01683	20.070	20.087	196.27	960.1	1156.3	0.3358	1.3962	1.7320	196.21	1082.0	20
30	250.34	0.01701	13.7266	13.744	218.9	945.2	1164.1	0.3682	1.3313	1.6995	218.8	1087.9	30
40	267.25	0.01715	10.4794	10.497	236.1	933.6	1169.8	0.3921	1.2844	1.6765	236.0	1092.1	40
50	281.02	0.01727	8.4967	8.514	250.2	923.9	1174.1	0.4112	1.2474	1.6586	250.1	1095.3	50
60	292.71	0.01738	7.1562	7.174	262.2	915.4	1177.6	0.4273	1.2167	1.6440	262.0	1098.0	60
70	302.93	0.01748	6.1875	6.205	272.7	907.8	1180.6	0.4411	1.1905	1.6316	272.5	1100.2	70
80	312.04	0.01757	5.4536	5.471	282.1	900.9	1183.1	0.4534	1.1675	1.6208	281.9	1102.1	80
90	320.28	0.01766	4.8777	4.895	290.7	894.6	1185.3	0.4643	1.1470	1.6113	290.4	1103.7	90
100	327.82	0.01774	4.4133	4.431	298.5	888.6	1187.2	0.4743	1.1284	1.6027	298.2	1105.2	100
120	341.27	0.01789	3.7097	3.728	312.6	877.8	1190.4	0.4919	1.0960	1.5879	312.2	1107.6	120
140	353.04	0.01803	3.2010	3.219	325.0	868.0	1191.0	0.5071	1.0681	1.5752	324.5	1109.6	140
160	363.55	0.01815	2.8155	2.834	336.1	859.0	1195.1	0.5206	1.0435	1.5641	335.5	1111.2	160
180	373.08	0.01827	2.5129	2.531	346.2	850.7	1196.9	0.5328	1.0215	1.5543	345.6	1112.5	180
200	381.80	0.01839	2.2689	2.287	355.5	842.8	1198.3	0.5438	1.0016	1.5454	354.8	1113.7	200
250	400.97	0.01865	1.8245	1.8432	376.1	825.0	1201.1	0.5679	0.9585	1.5264	375.3	1115.8	250
300	417.35	0.01889	1.5238	1.5427	394.0	808.9	1202.9	0.5882	0.9221	1.5105	392.9	1117.2	300
350	431.73	0.01913	1.3064	1.3255	409.8	794.2	1204.0	0.6059	0.8909	1.4968	408.6	1118.1	350
400	444.60	0.0193	1.14162	1.1610	424.2	780.4	1204.6	0.6217	0.8630	1.4847	422.7	1118.7	400
450	456.28	0.0195	1.01224	1.0318	437.3	767.5	1204.8	0.6360	0.8378	1.4738	435.7	1118.9	450
500	467.01	0.0198	0.90787	0.9276	449.5	755.1	1204.7	0.6490	0.8148	1.4639	447.7	1118.8	500
550	476.94	0.0199	0.82183	0.8418	460.9	743.3	1204.3	0.6611	0.7936	1.4547	458.9	1118.6	550
600	486.20	0.0201	0.74962	0.7697	471.7	732.0	1203.7	0.6723	0.7738	1.4461	469.5	1118.2	600
700	503.08	0.0205	0.63905	0.6556	491.6	710.2	1201.8	0.6928	0.7377	1.4304	488.9	1116.9	700
800	518.21	0.0209	0.54809	0.5690	509.8	689.6	1199.4	0.7111	0.7051	1.4163	506.7	1115.2	800
900	531.95	0.0212	0.47968	0.5009	526.7	669.7	1196.4	0.7279	0.6753	1.4032	523.2	1113.0	900
1000	544.58	0.0216	0.42436	0.4460	542.6	650.4	1192.9	0.7434	0.6476	1.3910	538.6	1110.4	1000
1100	556.24	0.0220	0.37863	0.4006	557.5	631.5	1189.1	0.7578	0.6216	1.3794	553.1	1107.5	1100
1200	567.19	0.0223	0.33013	0.3625	571.9	613.0	1184.8	0.7714	0.5969	1.3683	566.9	1104.3	1200
1300	577.42	0.0227	0.30722	0.3299	585.6	594.6	1180.2	0.7841	0.5731	1.3572	580.1	1100.9	1300
1400	587.07	0.0231	0.27871	0.3018	598.8	576.5	1175.3	0.7966	0.5507	1.3474	592.9	1097.1	1400
1500	596.20	0.0235	0.25372	0.2772	611.7	558.4	1170.1	0.8085	0.5293	1.3378	605.2	1093.1	1500
2000	635.80	0.0257	0.16766	0.1933	672.1	466.2	1138.3	0.8625	0.4256	1.2881	662.6	1064.6	2000
2500	668.11	0.0286	0.10209	0.1307	731.7	361.6	1093.3	0.9139	0.3206	1.2345	718.5	1012.9	2500
3000	695.33	0.0343	0.05073	0.0850	801.8	218.4	1020.3	0.9728	0.1891	1.1619	782.8	973.1	3000
3208.2	705.47	0.0508	0	0.0508	906.0	0	906.0	1.0612	0	1.0612	875.9	875.9	3208.2

PROPIEDADES DE VAPOR SOBRECALENTADO Y AGUA COMPRIMIDA (TEMPERATURA Y PRESION)

Pres. Psia		Temperatura, °F														
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
1 (101.74)	v	0.0161	392.5	452.3	511.9	571.5	631.1	690.7								
	h	68.00	1150.2	1195.7	1241.8	1288.6	1336.1	1384.5								
	s	0.1295	2.0509	2.1152	2.1722	2.2237	2.2708	2.3144								
5 (162.24)	v	0.0161	78.14	90.24	102.24	114.21	126.15	138.08	150.01	161.94	173.86	185.78	197.70	209.62	221.53	233.45
	h	68.01	1148.6	1194.8	1241.3	1288.2	1335.9	1384.3	1433.6	1483.7	1534.7	1586.7	1639.6	1693.3	1748.0	1803.5
	s	0.1295	1.8716	1.9369	1.9943	2.0460	2.0932	2.1369	2.1776	2.2159	2.2521	2.2866	2.3194	2.3509	2.3811	2.4101
10 (193.21)	v	0.0161	38.84	44.96	51.03	57.04	61.03	69.00	74.98	80.94	86.91	92.87	98.84	104.80	110.76	116.72
	h	68.02	1146.6	1193.7	1240.6	1287.8	1335.5	1384.0	1433.4	1483.5	1534.6	1586.6	1639.5	1693.3	1747.9	1803.4
	s	0.1295	1.7928	1.8593	1.9173	1.9692	2.0166	2.0603	2.1011	2.1394	2.1757	2.2101	2.2430	2.2744	2.3046	2.2337
15 (213.03)	v	0.0161	0.0166	29.899	33.963	37.945	41.986	45.978	49.964	53.946	57.926	61.905	65.882	69.858	73.833	77.807
	h	68.04	168.09	1192.5	1239.9	1287.3	1335.2	1383.8	1433.2	1483.4	1534.5	1586.5	1639.4	1693.2	1747.8	1803.4
	s	0.1295	0.2940	1.8134	1.8720	1.9242	1.9717	2.0155	2.0563	2.0946	2.1309	2.1653	2.1982	2.2297	2.2599	2.2890
20 (227.96)	v	0.0161	0.0166	22.356	25.428	28.457	31.466	34.465	37.458	40.447	43.435	46.420	49.405	52.388	55.370	58.352
	h	68.05	168.11	1191.4	1239.2	1286.9	1334.9	1383.5	1432.9	1483.2	1534.3	1586.3	1639.3	1693.1	1747.8	1803.3
	s	0.1295	0.2940	1.7805	1.8397	1.8921	1.9397	1.9836	2.0244	2.0628	2.0991	2.1336	2.1665	2.1979	2.2282	2.2572
40 (267.25)	v	0.0161	0.0166	11.036	12.624	14.165	15.685	17.195	18.699	20.199	21.697	23.194	24.669	26.183	27.676	29.168
	h	68.10	168.15	1186.6	1236.4	1285.0	1333.6	1382.5	1432.1	1482.5	1533.7	1585.8	1638.8	1692.7	1747.5	1803.0
	s	0.1295	0.2940	1.6992	1.7608	1.8143	1.8624	1.9065	1.9476	1.9860	2.0224	2.0569	2.0899	2.1224	2.1516	2.1537
60 (292.71)	v	0.0161	0.0166	7.257	8.354	9.400	10.425	11.438	12.446	13.450	14.452	15.452	16.450	17.448	18.445	19.441
	h	68.15	168.20	1181.6	1233.5	1283.2	1332.3	1381.5	1431.3	1481.8	1533.2	1585.3	1638.4	1692.4	1747.1	1802.8
	s	0.1295	0.2939	1.6492	1.7134	1.7681	1.8166	1.8612	1.9024	1.9410	1.9774	2.0120	2.0450	2.0765	2.1068	2.1359
80 (312.04)	v	0.0161	0.0166	0.0175	6.218	7.018	7.794	8.560	9.319	10.075	10.829	11.581	12.331	13.081	13.829	14.577
	h	68.21	168.24	269.74	1230.5	1281.3	1330.9	1380.5	1430.5	1481.1	1532.6	1584.9	1638.0	1692.0	1746.8	1802.5
	s	0.1295	0.2939	0.4371	1.6730	1.7349	1.7842	1.8289	1.8702	1.9089	1.9454	1.9800	2.0131	2.0446	2.0750	2.1041
100 (327.82)	v	0.0161	0.0166	0.0175	4.915	5.588	6.216	6.833	7.441	8.050	8.655	9.258	9.860	10.460	11.060	11.659
	h	68.26	168.29	269.77	1227.4	1279.3	1329.6	1379.5	1429.7	1480.4	1532.0	1584.6	1637.6	1691.6	1746.5	1802.2
	s	0.1295	0.2939	0.4371	1.6516	1.7088	1.7586	1.8036	1.8451	1.8839	1.9205	1.9552	1.9883	2.0199	2.0502	2.0794
120 (341.27)	v	0.0161	0.0166	0.0175	4.0786	4.6341	5.1637	5.6851	6.1928	6.7006	7.2060	7.7096	8.2119	8.7130	9.2134	9.7130
	h	68.31	168.33	269.81	1224.1	1277.4	1328.1	1378.4	1428.8	1479.8	1531.4	1583.9	1637.1	1691.3	1746.2	1802.0
	s	0.1295	0.2939	0.4371	1.6286	1.6872	1.7376	1.7829	1.8246	1.8635	1.9001	1.9349	1.9680	1.9996	2.0300	2.0592
140 (353.04)	v	0.0161	0.0166	0.0175	3.4661	3.9526	4.4119	4.8585	5.2995	5.7364	6.1709	6.6036	7.0349	7.4652	7.8946	8.3231
	h	68.37	168.38	269.85	1220.8	1275.3	1326.8	1377.4	1428.0	1479.1	1530.8	1583.4	1636.7	1690.9	1745.9	1801.7
	s	0.1295	0.2939	0.4370	1.6085	1.6686	1.7196	1.7652	1.8071	1.8461	1.8828	1.9176	1.9508	1.9825	2.0129	2.0421
160 (363.55)	v	0.0161	0.0166	0.0175	3.0060	3.4411	3.8480	4.2420	4.6295	5.0132	5.3945	5.7741	6.1522	6.5293	6.9055	7.2811
	h	68.42	168.42	269.89	1217.4	1273.3	1325.4	1376.4	1427.2	1478.4	1530.3	1582.9	1636.3	1690.5	1745.6	1801.4
	s	0.1294	0.2938	0.4370	1.5906	1.6522	1.7039	1.7499	1.7919	1.8310	1.8678	1.9027	1.9359	1.9676	1.9980	2.0273
180 (371.08)	v	0.0161	0.0166	0.0174	2.6474	3.0411	3.4091	3.7621	4.1084	4.4505	4.7907	5.1293	5.4667	5.8014	6.1363	6.4704
	h	68.47	168.47	269.92	1213.8	1271.2	1324.0	1375.3	1426.3	1477.7	1529.7	1582.4	1635.9	[illegible]	1745.3	1801.2
	s	0.1294	0.2938	0.4370	1.5741	1.6376	1.6900	1.7362	1.7784	1.8176	1.8545	1.8894	1.9227	1.9545	1.9849	2.0142
200 (381.80)	v	0.0161	0.0166	0.0174	2.3508	2.7242	3.0583	3.3783	3.6915	4.0008	4.3077	4.6128	4.9165	5.2191	5.5209	5.8219
	h	68.52	168.51	269.96	1210.1	1269.0	1322.6	1374.3	1425.5	1477.0	1529.1	1581.9	1635.4	1689.8	1745.0	1800.9
	s	0.1294	0.2938	0.4369	1.5591	1.6242	1.6776	1.7239	1.7663	1.8057	1.8426	1.8776	1.9109	1.9427	1.9732	2.0025
250 (400.97)	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0146	2.1534	2.4662	2.6872	2.9410	3.1889	3.4352	3.6837	3.9278	4.1709	4.4131	4.6546
	h	68.65	168.63	270.05	329.10	1264.5	1319.0	1371.6	1424.4	1475.3	1527.6	1580.6	1634.4	1688.9	1744.2	1800.2
	s	0.1294	0.2937	0.4368	0.5667	1.5951	1.6502	1.6976	1.7405	1.7801	1.8173	1.8524	1.8858	1.9177	1.9482	1.9776
300 (417.35)	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	1.7665	2.0344	2.2251	2.4407	2.6509	2.8585	3.0641	3.2688	3.4721	3.6746	3.8764
	h	68.79	168.74	270.14	329.15	1257.7	1315.2	1369.3	1421.1	1473.6	1526.2	1579.4	1633.3	1688.0	1743.4	1799.6
	s	0.1294	0.2937	0.4367	0.5655	1.5703	1.6274	1.6758	1.7192	[illegible]	1.7964	1.8317	1.8652	1.8972	1.9278	1.9572
350 (431.73)	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	1.4911	1.7028	1.8970	2.0832	2.2652	2.4445	2.6219	2.7980	2.9730	3.1471	3.1205
	h	68.92	168.85	270.24	329.21	1250.5	1311.4	1366.2	1419.2	1471.8	1524.7	1578.2	1632.3	1687.1	1742.6	1799.0
	s	0.1294	0.2936	0.4367	0.5564	1.5481	1.6077	1.6571	1.7009	1.7411	1.7787	1.8141	1.8477	1.8795	1.9105	1.9400
400 (444.60)	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	1.2241	1.4763	1.6499	1.8151	1.9753	2.1319	2.2861	2.4383	2.5887	2.7375	2.8847
	h	69.05	168.97	270.31	329.27	1245.1	1307.4	1363.4	1417.0	1470.1	1523.3	1576.9	1631.2	1686.2	1741.9	1798.2
	s	0.1294	0.2935	0.4366	0.5563	1.5282	1.5901	1.6406	1.6850	1.7255	1.7632	1.7983	1.8325	1.8647	1.8955	1.9250
500 (467.01)	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.9919	1.1584	1.3037	1.4397	1.5708	1.6992	1.8256	1.9507	2.0746	2.1977	2.3200
	h	69.32	168.19	270.51	329.38	1231.2	1299.1	1357.7	1412.7	1466.6	1520.3	1575.4	1629.1	1684.4	1740.3	1796.9
	s	0.1292	0.2934	0.4364	0.5560	1.4921	1.5595	1.6121	1.6578	1.6990	1.7371	1.7730	1.8069	1.8393	1.8702	1.8998

(Continuation)

Pres. Psia		Temperature, °F														
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.7944	0.9456	1.0726	1.1892	1.3003	1.4093	1.5160	1.6211	1.7252	1.8284	1.9311
600	h	69.58	169.42	270.70	375.49	1215.9	1290.3	1351.6	1408.3	1463.0	1517.4	1571.9	1627.0	1682.6	1738.8	1795.6
(486.20)	s	0.1292	0.2933	0.4362	0.5657	1.4590	1.5329	1.5844	1.6351	1.6769	1.7155	1.7517	1.7859	1.8184	1.8494	1.8792
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.7328	0.9072	1.0102	1.1078	1.2023	1.2948	1.3858	1.4757	1.5647	1.6530
700	h	69.84	169.65	270.89	375.61	487.93	1281.0	1345.6	1403.7	1459.4	1514.4	1569.4	1624.8	1680.7	1737.2	1794.3
(503.08)	s	0.1291	0.2932	0.4360	0.5655	0.6883	1.5090	1.5673	1.6154	1.6560	1.6970	1.7335	1.7679	1.8006	1.8316	1.8617
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.6774	0.7828	0.8759	0.9631	1.0470	1.1289	1.2093	1.2885	1.3669	1.4446
800	h	70.11	169.88	271.07	375.71	487.88	1271.1	1339.2	1399.1	1455.8	1511.4	1566.9	1622.7	1678.9	1735.0	1792.9
(518.21)	s	0.1290	0.2930	0.4358	0.5652	0.6885	1.4869	1.5484	1.5930	1.6413	1.6807	1.7175	1.7522	1.7851	1.8164	1.8464
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.5869	0.6858	0.7713	0.8504	0.9262	0.9998	1.0720	1.1430	1.2131	1.2825
900	h	70.37	170.10	271.26	375.84	487.81	1264.6	1332.7	1394.4	1452.2	1508.5	1564.4	1620.6	1677.1	1734.1	1791.6
(531.95)	s	0.1290	0.2929	0.4357	0.5649	0.6881	1.4659	1.5311	1.5822	1.6263	1.6662	1.7033	1.7382	1.7713	1.8029	1.8329
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.5137	0.6000	0.6875	0.7601	0.8299	0.8966	0.9622	1.0266	1.0901	1.1529
1000	h	70.63	170.33	271.44	375.96	487.79	1249.3	1325.9	1389.6	1448.5	1504.4	1561.9	1618.4	1675.3	1732.5	1790.3
(544.58)	s	0.1289	0.2928	0.4355	0.5647	0.6876	1.4457	1.5149	1.5677	1.6126	1.6530	1.6905	1.7256	1.7589	1.7905	1.8207
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0185	0.0203	0.4531	0.5440	0.6168	0.6865	0.7505	0.8121	0.8723	0.9313	0.9894	1.0468
1400	h	70.90	170.56	271.63	376.08	487.75	1217.3	1314.8	1384.7	1444.7	1502.4	1559.4	1616.3	1673.5	1731.0	1789.0
(56.28)	s	0.1289	0.2922	0.4353	0.5644	0.6872	1.4253	1.4986	1.5542	1.6000	1.6410	1.6787	1.7141	1.7475	1.7791	1.8097
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0185	0.0203	0.4016	0.4905	0.5615	0.6250	0.6845	0.7418	0.7974	0.8519	0.9055	0.9584
1200	h	71.16	170.78	271.82	376.20	487.72	1224.2	1311.5	1379.7	1440.3	1499.4	1556.9	1614.2	1671.6	1729.4	1787.6
(567.19)	s	0.1288	0.2926	0.4351	0.5642	0.6868	1.4061	1.4851	1.5415	1.5883	1.6288	1.6659	1.7015	1.7371	1.7691	1.7996
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0185	[illegible]	0.3126	0.4059	0.4712	0.5282	0.5809	0.6311	0.6795	0.7272	0.7737	0.8195
1400	h	71.64	171.24	272.19	376.44	487.65	1204.1	1305.1	1369.3	1431.2	1491.2	1551.8	1609.9	1668.0	1726.3	1785.0
(596.37)	s	0.1287	0.2923	0.4348	0.5636	0.6859	1.3952	1.4575	1.5182	1.5670	1.6096	1.6484	1.6845	1.7185	1.7508	1.7815
	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0185	0.0202	0.2336	0.3335	0.4032	0.4553	0.5011	0.5432	0.5815	0.6186	0.6548	0.7153
1600	h	72.21	171.69	272.57	376.69	487.60	616.77	1293.4	1360.5	1425.2	1486.9	1546.6	1605.6	1664.3	1723.2	1782.3
(621.02)	s	0.1286	0.2921	0.4344	0.5631	0.6851	0.8129	1.4312	1.4968	1.5478	1.5916	1.6312	1.6678	1.7022	1.7344	1.7657
	v	0.0160	0.0165	0.0174	0.0185	0.0202	0.0235	0.2896	0.3500	0.3996	0.4426	0.4836	0.5229	0.5609	0.5980	0.6343
1800	h	72.74	172.15	272.95	376.93	487.56	615.58	1281.1	1347.2	1411.3	1472.6	1541.1	1601.2	1660.2	1720.1	1779.7
(621.02)	s	0.1284	0.2918	0.4341	0.5626	0.6843	0.8109	1.4054	1.4768	1.5302	1.5753	1.6156	1.6528	1.6876	1.7204	1.7516
	v	0.0160	0.0165	0.0174	0.0184	0.0201	0.0231	0.2498	0.3072	0.3534	0.3942	0.4320	0.4680	0.5027	0.5365	[illegible]
2000	h	73.26	172.60	273.32	377.19	487.51	614.43	1270.9	1334.4	1398.7	1447.1	1516.2	1576.9	1637.0	1717.0	1777.1
(636.80)	s	0.1283	0.2916	0.4337	0.5621	0.6834	0.8091	1.3798	1.4578	1.5138	1.5603	1.6014	1.6391	1.6743	1.7075	1.7389
	v	0.0160	0.0165	0.0174	0.0184	0.0200	0.0210	0.1681	0.2293	0.2712	0.3068	0.3390	0.3692	0.3980	0.4259	0.4529
2500	h	74.57	173.74	274.27	377.82	487.10	612.94	1176.7	1301.4	1356.7	1457.5	1522.9	1585.9	1647.8	1709.2	1770.4
(668.11)	s	0.1280	0.2910	0.4329	0.5609	0.6815	0.8048	1.3076	1.4129	1.4766	1.5269	1.5703	1.6094	1.6456	1.6795	1.7116
	v	0.0160	0.0165	0.0172	0.0183	0.0200	0.0225	0.0962	0.1759	0.2161	0.2444	0.2770	0.3011	0.3242	0.3522	0.3753
3000	h	75.93	174.84	275.22	378.47	487.57	610.06	1069.5	1267.0	1363.2	1440.2	1509.4	1574.8	1638.5	1701.4	1761.8
(695.33)	s	0.1277	0.2904	0.4320	0.5597	0.6796	0.8009	1.1906	1.3692	1.4429	1.4976	1.5434	1.5841	1.6214	1.6561	1.6886
	v	0.0160	0.0165	0.0172	0.0183	0.0199	0.0227	0.0335	0.1598	0.1987	0.2301	0.2576	0.2822	0.3045	0.3291	0.3510
3200	h	76.4	175.3	275.6	378.7	487.5	609.4	800.8	1270.9	1351.4	1431.1	1503.8	1570.1	1634.8	1699.1	1761.2
(705.03)	s	0.1276	0.2902	0.4317	0.5592	0.6788	0.7984	0.9708	1.3515	1.4300	1.4866	1.5315	1.5743	1.6126	1.6477	1.6806
	v	0.0160	0.0164	0.0172	0.0181	0.0199	0.0225	0.0307	0.1364	0.1764	0.2066	0.2326	0.2563	0.2784	0.2995	0.3198
3500	h	77.2	176.0	276.2	379.1	487.6	608.4	779.4	1224.6	1331.2	1422.2	1495.5	1563.1	1627.2	1691.6	1755.2
	s	0.1274	0.2899	0.4312	0.5585	0.6777	0.7973	0.9508	1.3242	1.4112	1.4729	1.5194	1.5618	1.6002	1.6358	1.6691
	v	0.0159	0.0164	0.0172	0.0182	0.0198	0.0223	0.0287	0.1062	0.1461	0.1752	0.1994	0.2210	0.2411	0.2601	0.2783
4000	h	78.5	177.2	277.1	379.8	487.7	606.9	761.0	1174.3	1311.6	1401.6	1481.3	1552.2	1620.8	1685.5	1750.6
	s	0.1271	0.2893	0.4304	0.5573	0.6760	0.7950	0.9143	1.2294	1.3307	1.4461	1.4976	1.5417	1.5812	1.6177	1.6516
	v	0.0159	0.0164	0.0171	0.0181	0.0196	0.0219	0.0264	0.0831	0.1038	0.1212	0.1353	0.1474	0.1583	0.1685	0.1783
5000	h	81.1	179.5	279.1	381.2	488.1	604.6	746.0	1042.9	1256.9	1374.6	1452.1	1522.1	1589.9	1656.9	1723.4
	s	0.1265	0.2881	0.4287	0.5550	0.6726	0.7880	0.9151	1.1931	1.3207	1.4001	1.4582	1.5061	1.5481	1.5863	1.6216
	v	0.0159	0.0163	0.0170	0.0180	0.0195	0.0216	0.0256	0.0737	0.0787	0.1000	0.1221	0.1311	0.1344	0.1464	0.1617
6000	h	83.7	181.7	281.0	382.2	488.6	602.9	736.1	915.1	1183.8	1318.6	1422.3	1495.9	1562.0	1627.2	1724.2
	s	0.1258	0.2870	0.4271	0.5528	0.6711	0.7826	0.9326	1.0176	1.2615	1.3974	1.4229	1.4743	1.5194	1.5591	1.5952
	v	0.0158	0.0161	0.0170	0.0180	0.0193	0.0213	0.0248	0.0335	0.0573	0.0816	0.1034	0.1160	0.1298	0.1424	0.1542
7000	h	86.2	184.4	281.0	384.2	489.3	601.7	729.3	873.8	1124.3	1281.7	1402.2	1487.6	1564.1	1633.6	1711.1
	s	0.1252	0.2859	0.4256	0.5507	0.6683	0.7777	0.8926	1.0150	1.2055	1.3171	1.3684	1.4166	1.4588	1.5385	1.5735

TASAS TIPICAS DE CONSUMO DE VAPOR

BAKERIES	Operating pressure PSIG	Lbs per hr	
		Average	Maximum
Dough room trough, 8 ft long	10	4	
Proof boxes, 300 cu ft capacity		7	
Ovens, Peel O/ Quick Type	18		
White bread, 120 sq ft surface		29	
Rye bread, 10 sq ft surface		38	
Mixer Baker Ovens		29	
Century Reel, w/pb per 100 lb bread		29	
Rotary ovens, per deck		29	
Bennett 600 single deck		44	
Hobbard (any size)		38	
Middleby Marshall w/pb		38	
Baker Perkins travel ovens, long tray (per 100 lbs)		13	
Baker Perkins travel ovens, short tray (per 100 lbs)		29	
General Electric		20	
Fish Dunkerma Rotary, per deck		38	
Revolving ovens 8-10 bun pan		29	
12-18 bun pan		38	
18-28 bun pan		87	
BOTTLE WASHING	5		
Soft drinks, beer, etc per 100 bottles/min		310	
Milk quarts per 100 cases per hr		38	
CANDY and CHOCOLATE	90		
Candy cook sq ft gr cooker 1 hour, 325 deg		66	
Chocolate melter jacketed 24" dia		29	
Chocolate dipping per 10 sq ft cool surface		29	
Chocolate tempering, depositing, each 20 sq ft active surface		29	
Candy kettle per sq ft of jacket	30		60
Candy kettle per sq ft of jacket	75		100
CREAMERIES and DAIRIES	15-75		
Creamery cook 1 per min			310
Pasteurizer per 100 gal heated 20 min			373
DISH WASHERS	10-30		
3-Compartment tub type			38
Large conveyor or roller type			38
Automatic coil depending on size		29	117
Champion, depending on size		58	310
Hobart Crescent depending on size		29	186
Fan Spray depending on size		58	248
Crescent manual steam control	30		
Hobart model AM 3	10		
Dishwashing machine	15-20	60-90	
HOSPITAL EQUIPMENT	40-50		
Stills, per 100 gal distilled water		102	
Sterilizers, bed pan		3	
Sterilizers dressing per 10" length, approx.		7	
Sterilizers instrument, per 100 cu in approx		5	
Sterilizers water, per 10 gal, approx.		6	
Disinfecting Ovens, Double Door	40-50		
Up to 30 cu ft, per 10 cu ft approx.		29	
30 to 100 cu ft per 10 cu ft approx.		21	
100 and up per 10 cu ft, approx.		14	

(continuación)

HOSPITAL EQUIPMENT (Continued)	Operating pressure PSIG	Lbs per hr	
		Minimum	Maximum
Sterilizers, Non Pressure Type			
For boiling or pasteurizing	40		
Start with water at 70°F maintained for 20 minutes at boiling at a depth of 3"		31	69
Instruments and Utensils	40		
Start with water at 70°F but vigorously for 20 min			
Depth 3½" Size 3 × 9 × 18"		27	27
Depth 3½" Size 9 × 20 × 10"		30	30
Depth 4" Size 10 × 12 × [illegible]"		39	39
Depth 4" Size 12 × 16 × 24"		60	60
Depth 4" Size 10 × 12 × 16"		64	64
Depth 10" Size 16 × 13 × 20"		93	93
Depth 10" Size 20 × 20 × 24"		144	144
LAUNDRY EQUIPMENT	100		
Vacuum mills per 10 gal		14	
Spotting board, trouser stretcher		29	
Dress finisher, overcoat shaper, each		58	
Jacket finisher, Suite Q each		44	
Air vacuum finishing board 18" Mushroom Topper, ea		30	
Steam irons each		6	
Flat Iron Workers	100		
48" × 120", 1 cylinder		248	
48" × 120", 2 cylinder		310	
4-Roll, 100 to 120"		217	
6-Roll, 100 to 120"		141	
8 Roll, 100 to 120"		461	
Shirt Equipment	100		
Single cuff, neckband, yoke No. 3, each		7	
Double sleeve		13	
Body		29	
Bosom		44	
Dry Rooms	100		
Blanket		30	
Conveyor, per loop approx		7	
Truck, per door, approx		58	
Curtain, 50 × 114		29	
Curtain, 64 × 130		58	
Starch cooker per 10 gal cap		7	
Starcher, per 10-in length approx		5	
Laundry presses, per 10-in length, approx		7	
Handy irons per 10-in length approx		5	
Collar equipment Collar and Cuff Ironer		21	
Deodorizer		27	
Wind Whip, Single		58	
Wind Whip, Double		87	
Tumblers, General Usage Other Source	100		
36" per 10" length approx		29	
40", per 10" length, approx		58	
42" per 10" length, approx		32	
Vacuum, 36" × 120"		310	
Presses, central vacuum, 42"		30	
Presses steam, 42"		29	

(continuación)

	Operating pressure PSIG	Lbs per hr	
		In use	Maximum
PLASTIC MOLDING			
Each 12 to 13 sq ft platen surface	125	2[illegible]	
PAPER MANUFACTURE			
Corrugators per 1 000 sq ft	175	29	
Wood pulp paper per 100 lb paper	50	37[illegible]	
RESTAURANT EQUIPMENT	5-20		
Standard steam tables per ft length		34	
Standard steam tables per 20 sq ft area		29	
Bain Marie per ft length 10" wide		13	
Bain Marie per 10 sq ft area		29	
Coffee urns per 10 gal total make up		13	
3 compartment egg boiler		13	
Oyster steamers		13	
Clam or lobster steamer		29	
Steam Jacketed Kettles	5-30		
10 gal capacity		13	
25 gal steam kettle		29	
40 gal steam kettle		44	
60 gal steam kettle		58	
Plate And Dish Warmers	5-20		
Per 100 sq ft shelf		58	
Per 20 cu ft shelf		29	
Warming ovens per 20 cu ft		29	
Direct vegetable steamer, per compartment		29	
Potato steamer		29	
Marendi Proctor 30 comp., no return		87	
Pot sink steam jets average use		29	
Silver burnishers, Tahara		58	
SILVER MIRRORING			
Average steam tables	5	102	
TIRE SHOPS	100		
Truck molds, large		87	
Truck molds, medium		58	
Passenger molds		29	
Sections, per section		7	
Pull irons, each		7	

CALORES ESPECIFICOS

VARIOS SOLIDOS

Material	Btu/lb°F
Aluminio	0.22
Antimonio	0.05
Asbestos	0.20
Baquelita	0.33
Baquelita	0.38
Bario	0.07
Roca basáltica	0.20
Bérilio	0.20
Bismuto	0.03
Bórax	0.24
Boro	0.31
Cadmio	0.06
Calcita, 32-100F	0.19
Calcita, 32-212F	0.20
Calcio	0.15
Carbón	0.17
Cemento seco	0.37
Cemento en polvo	0.20
Carbón (de leña)	0.24
Cromo	0.12
Arcilla	0.22
Carbón	0.26-0.37
Cobalto	0.11
Concreto, piedra	0.19
Ceniza de concreto	0.18
Cobre	0.09
Corindón	0.10
Diamante	0.15
Roca de dolomita	0.22
Fluorita	0.22
Estato Fluor	0.21
Galena	0.05
Granate	0.18
Vidrio, común	0.20
Vidrio, cristal	0.12
Lana de vidrio	0.16
Oro	0.03
Granito	0.19
Antibol	0.20
Hielo-112F	0.35
Hielo-40F	0.43
Hielo-4F	0.47
Lana	0.33
Zinc	0.09

Material	Btu/lb°F
Hielo, 32F	0.49
Hierro fundido	0.12
Hierro dulce	0.12
Lava	0.20
Plomo	0.03
Piedra caliza	0.02
Magnetita	0.14
Magnesio	0.25
Malaquita	0.18
Manganeso	0.11
Mármol	0.21
Mercurio	0.03
Mica	0.21
Molibdeno	0.06
Niquel	0.11
Yeso	1.14
Platino	0.03
Porcelana	0.26
Potasio	0.13
Pirolusita	0.16
Cuarzo, 55-212F	0.19
Cuarzo, 32F	0.17
Roca de sal	0.22
Caucho	0.48
Piedra Arenisca	0.22
Sosa	0.33
Plata	0.06
Sodio	0.30
Acero	0.12
Piedra	0.20
Lata	0.19
Talco	0.21
Alquitrán	0.35
Telurio	0.04
Estaño	0.05
Teja	0.15
Titanio	0.14
Tobacia	0.21
Tugsteno	0.04
Vanadio	0.12
Ebonita	0.31
Madera	0.32-0.48
Galena falsa	0.11

VARIOS LIQUIDOS

Liquido	Btu/lb°F
Acetona	0.51
Alcohol etílico 32F	0.55
Alcohol etílico, 104F	0.65
Alcohol, metílico, 40-50F	0.59
Alcohol, metílico, 60-70F	0.60
Amoníaco, 32F	1.10
Amoníaco, 104F	1.16
Amoníaco, 176F	1.29
Amoníaco, 212F	1.48
Amoníaco, 218F	1.41
Anilina	0.52
Benzol	0.42
Cloruro de calcio, gr 1.20	0.73
Aceite castor	0.43
Aceite citrón	0.44
Eter etílico	0.53
Glicol etileno	0.53
Aceite combustible, gr sp 96	0.40

Liquido	Btu/lb°F
Aceite combustible, gr sp 86	0.41
Aceite combustible, gr sp.81	0.50
Gasolina	0.53
Glicerina	0.58
Kerosene	0.48
Mercurio	0.033
Naftalina	0.41
Nitrobenzol	0.36
Aceite de oliva	0.47
Petróleo	0.51
Potasio hidratado	0.38
Agua de mar, gr. sp 1.0265	0.94
Cloruro de sodio	0.79
Sodio hidratado	0.94
Aguarrás	0.41
Agua	1.00
Xileno	0.41
Aceite combustible, gr sp 91	0.44

(continuación)

GASES Y VAPORES

Gas o vapor	Calor específico Btu/lb°F a presión constante	Calor específico Btu/lb°F a volumen constante	Gas o vapor	Calor específico Btu/lb°F a presión constante	Calor específico Btu/lb°F a volumen constante
Acetona	0.35	0.315	Éter	0.48	0.446
Aire seco, 50F	0.24	0.172	Ácido cianídrico	0.19	0.136
Aire seco, 32-392F	0.24	0.173	Hidrógeno	3.41	2.410
Aire seco, 68-824F	0.25	0.178	Metano	0.59	0.446
Aire seco, 68-1166F	0.25	0.184	Nitrógeno	0.24	0.170
Alcohol, C_2H_5OH	0.45	0.398	Óxido nítrico	0.23	0.184
Alcohol CH_3OH	0.46	0.366	Tetróxido de nitrógeno	1.12	1.098
Amoníaco	0.54	0.422	Óxido nitroso	0.21	0.164
Argón	0.12	0.072	Oxígeno	0.22	0.157
Benceno, C_6H_6	0.26	0.236	Vapor, 1 psia 120-600°F	0.46	0.349
Bromo	0.06	0.047	Vapor, 14.7 psia 220-600°F	0.47	0.359
Ácido carbónico	0.20	0.150	Vapor, 150 psia 360-600°F	0.54	0.421
Cloruro	0.11	0.082	Dióxido de azufre	0.15	0.119
Cloroformo	0.15	0.131			

CAPACIDAD CALORÍFICA DE ALIMENTOS

Alimento	Calor específico Btu/lb°F, arriba del congelamiento	Calor específico Btu/lb°F, abajo del congelamiento	Alimento	Calor específico Btu/lb°F, arriba del congelamiento	Calor específico Btu/lb°F, abajo del congelamiento
Manzana	0.87	0.42	Huevos	0.76	0.40
Albar coque fresco	0.88	0.43	Berenjena	0.94	0.45
Alcachofa	0.87	0.42	Escarola	0.95	0.45
Espárragos	0.94	0.45	Higo fresco	0.82	0.41
Espárragos (haba)	0.88	0.43	Higo seco	0.39	0.46
Ñamos	0.80	0.40	Higo en dulce	0.37	0.26
Barracuda	0.80	0.40	Harina	0.38	0.28
[illegible]	0.82	0.41	Ancas de rana	0.88	0.44
[illegible] de res	0.68	0.48	Ajo	0.79	0.40
Lomo de res	0.66	0.35	Mollejas	0.78	0.35
Costilla de res	0.67	0.36	Gansa	0.61	0.34
Redondo de res	0.74	0.38	Grosellero silvestre	0.86	0.42
Anca de res	0.62	0.34	Granadilla	0.84	0.41
Caña de res	0.78	0.39	Toronja	0.91	0.44
Remolachas	0.90	0.43	Uva	0.86	0.42
Zarzamora	0.87	0.42	Jugo de uva	0.82	0.41
Mirtilo	0.87	0.42	Gallina de guinea	0.74	0.38
Sesos	0.84	0.41	Lefefino	0.85	0.42
Brócoli	0.92	0.44	Arenque ahumado	0.71	0.37
Bretones	0.82	0.43	Rábano fresco	0.79	0.40
Mantequilla	0.30	0.24	Rábano preparado	0.88	0.43
Mantequilla de pescado	0.77	0.39	Helado	0.74	0.42
Col	0.94	0.45	Pasta	0.89	0.43
Confites	0.93	-	Riñones	0.81	0.40
Zanahorias	0.91	0.44	Riñones secos	0.28	0.23
Coliflor	0.93	0.44	Carne de cordero	0.73	0.38
Apio	0.94	0.45	Pierna de cordero	0.71	0.37
Cereza, quinda	0.88	0.43	Costilla de cordero	0.61	0.34
Cereza dulce	0.84	0.41	Espalda de cordero	0.67	0.35
Pollo asado	0.77	0.39	Manteca de cerdo	0.54	0.31
Pollo frito	0.74	0.38	Puerro	0.91	0.44
Gallina	0.65	0.35	Limones	0.91	0.44
Almeja	0.84	0.41	Jugo de limón	0.92	0.44
Leche y carne de coco	0.68	0.36	Lechuga	0.96	0.45
Leche de coco (sólo)	0.95	0.45	Judía (frijol)	0.73	0.38
Bacalao	0.86	0.42	Lima	0.89	0.43
Cangrejo	0.84	0.41	Jugo de lima	0.93	0.44
Manzana silvestre	0.85	0.41	Langostas	0.82	0.41
Arándalo agrio	0.90	0.43	Leche de vaca	0.90	0.47
Crema	0.90	0.38	Mango fresco	0.93	0.44
Pepino	0.97	0.45	Mango seco	0.30	0.23
Pasa de corinto	0.97	0.45	Melón	0.94	0.45
Dátiles	0.20	0.007	Nueces	0.78	0.24
Anguila	0.77	0.39	Aceitunas verdes	0.80	0.40
Naranjas frescas	0.90	0.43	Cebollas	0.90	0.43
Jugo de naranja	0.89	0.43	Ruibarbo	0.96	0.45
Ostras	0.84	0.41	Manzana rosa	0.89	0.43
Melocotones	0.87	0.42	Salmón	0.71	0.37
Jugo de melocotón	0.89	0.43	Sapote	0.73	0.37
Peras, secas	0.39	0.26	Salchichas (res y cerdo)	0.54	0.32

(continuación)

Guisante tierno	0.85	0.41	Salchicha salami	0.45	0.28
Guisante sazón	0.81	0.40	Sardisco	0.77	0.39
Guisante maduro	0.88	0.43	Sábalo	0.76	0.39
Guisante partido	0.28	0.23	Camarón	0.83	0.41
Chiles maduros	0.91	0.44	Fresas	0.95	0.45
Faisán	0.75	0.36	Jugo de fresas	0.79	0.39
Encurtido dulce	0.82	0.41	Mebichuela verde	0.91	0.44
Encurtido agrio	0.96	0.45	Esturión crudo	0.83	0.41
Encurtido mixto dulce	0.78	0.29	Esturión ahumado	0.71	0.37
Encurtido mixto agrio	0.95	0.45	Manzana azucarada fresca	0.79	0.39
Pierna de cerdo curtida	0.50	0.31	Pez espada	0.85	0.40
Piña fresca	0.88	0.43	Tomates rojos	0.95	0.45
Piña en tajadas	0.87	0.41	Tomates verdes	0.96	0.45
Jugo de piña	0.90	0.43	Jugo de tomate	0.95	0.45
Ciruelas	0.89	0.43	Lengua de res	0.74	0.38
Granada	0.85	0.41	Lengua de ternera	0.79	0.40
Tocino de cerdo	0.36	0.25	Lengua de cordero	0.76	0.38
Tocino de cerdo	0.36	0.25	Lengua de cerdo	0.74	0.39
Jamón de cerdo	0.67	0.34	Lengua de carnero	0.69	0.36
Lomo de cerdo	0.66	0.35	Trucha	0.82	0.41
Espalda de cerdo	0.59	0.33	Atún	0.76	0.39
Costilla de cerdo	0.62	0.34	Pavo	0.67	0.35
Carne de cerdo ahumada	0.65	0.35	Ganso	0.93	0.44
Carne de cerdo salada	0.31	0.24	Tortuga	0.84	0.41
Papas	0.82	0.41	Carne de ternera	0.74	0.38
Ciruela pasa	0.81	0.40	Lomo de ternera	0.75	0.38
Calabaza	0.92	0.44	Costilla de ternera	0.75	0.38
Membrillo	0.88	0.43	Caña de ternera	0.77	0.39
Conejo	0.76	0.39	Cuarto de ternera	0.74	0.38
Peras	0.35	0.26	Carne de venado	0.78	0.39
Frambuesa negra	0.85	0.41	Sandía	0.94	0.45
Frambuesa roja	0.89	0.43	Ganso	0.78	0.39
Jugo de frambuesa negra	0.91	0.44	Jugo de frambuesa roja	0.93	0.44

FACTORES DE CONVERSION DE UNIDADES AL SISTEMA SI

En orden alfabético

Observaciones

Los factores de conversión se presentan de manera que sean un número mayor que uno y menor que diez, seguido de seis o menos decimales. A este número le sigue la letra E (por exponente), un signo de más o de menos y dos dígitos que indican la potencia de base diez a la que el número debe de multiplicarse para obtener el valor correcto. Ejemplo 6.973 333 E - 02 significa 6.973 333 x 10^{-2} que es igual a 0.069 733 33.

Un asterisco (*) al final del factor de conversión indica que es exacto, por lo que los dígitos que seguirían serían igual a cero. Los otros factores de conversión han sido aproximados en su último dígito de acuerdo a las reglas usuales de aproximación.

Para convertir	A	Multiplique por	
angstrom	metro (m)	1.000 000*	E - 10
atmósfera normal	pascal (Pa)	1.013 252	E + 05
atmósfera técnica	pascal (Pa)	9.806 650*	E + 04
bar	pascal (Pa)	1.000 000*	E + 05
barril para petróleo (USA	metro cúbico (m^3)	1.589 873	E - 01
Btu media (unidad térmica inglesa media)	joule (J)	1.055 87	E + 03
Btu (Tablas Internac.)	joule (J)	1.055 056	E + 03
Btu (tablas Internac.)-pie por hora-pie cuadrado-grado Fahrenheit (conductibilidad térmica)	watt por metro-kelvin (W/m.K)	1.730 735	E + 00
Btu (Tablas Internac.) por hora	watt (W)	2.930 711	E - 01
Btu (Tablas Internac.) por segundo-pie cuadrado grado Fahrenheit	watt por metro cuadrado-kelvin ($W/m^2.K$)	2.044 175	E + 04
Btu (Tablas Internac.) por libra masa	joule por kilogramo (J/kg)	2.326 000*	E + 03

Btu (Tablas Internac.) por libra masa-grado Fahrenheit (capacidad calorífica)	joule por kilogramo -kelvin (J/kg.K)	4.186 800*	E + 03
caballo de fuerza (550 pie-libra fuerza por segundo)	watt (W)	7.456 999	E + 02
caballo de fuerza (caldera)	watt (W)	9.809 50	E + 03
caballo de fuerza (eléctrico)	watt (W)	7.460 000*	E + 02
caballo de fuerza (métrico)	watt (W)	7.354 99	E + 02
caballo de vapor	véase "caballo de fuerza (métrico)"		
caloría (media)	joule (J)	4.190 02	E + 00
caloría (Tablas Internac.)	joule (J)	4.186 800*	E + 00
centímetro de agua (a 4 grados Celsius)	pascal (Pa)	9.806 38	E + 01
centímetro de mercurio (a 0 grados Celsius)	pascal (Pa)	1.333 22	E - 03
centipoise	pascal-segundo (Pa.s)	1.000 000*	E - 03
dina	newton (N)	1.000 000*	E - 03
dina-centímetro	newton-metro (N.m)	1.000 000*	E - 07
ergio	joule (J)	1.000 000*	E - 07
ergio por segundo	watt (W)	1.000 000*	E - 07
ESU (unidad electroestática cgs) de corriente eléctrica	ampere (A)	3.335 6	E - 10
galón (USA líquido)	metro cúbico (m^3)	3.785 412	E - 03
galón del país (CRI)	metro cúbico (m^3)	3.350	E - 03
galón del país (SLV)	metro cúbico (m^3)	3.080	E - 03
galón del país (NIC)	metro cúbico (m^3)	4.0	E - 03
grado Fahrenheit	grado Celsius	°C = (°F - 32)/1.8	
grado Fahrenheit-hora-pie cuadrado por Btu (Tablas Internac.) (resistencia térmica)	kelvin-metro cuadrado por watt ($K.m^2/W$)	1.761 102	E - 01
hp	véase "caballo de fuerza"		
joule (USA internacional)	joule (J)	1.000 182	E + 00
kilocaloría (media)	joule (J)	4.190 02	E + 03
kilocaloría (Tablas Internac.)	joule (J)	4.186 800*	E + 03
kilocaloría (Tablas Internac.) por hora	watt (W)	1.163 000*	E + 00
kilogramo fuerza	newton (N)	9.806 650*	E + 00
kilogramo fuerza-metro	newton-metro (N.m)	9.806 650*	E + 00
kilogramo fuerza-metro por segundo	watt (W)	9.806 650*	E + 00
kilogramo fuerza por centímetro cuadrado	pascal (Pa)	9.806 650*	E + 04
kilogramo fuerza por metro cuadrado	pascal (Pa)	9.806 650*	E + 00
kilopondio(kilogramo fuerza)	newton (N)	9.806 650*	E + 00
kilowatt-hora	joule (J)	3.600 000*	E + 06
kilowatt-hora (USA Internac)	joule (J)	3.600 655	E + 06
kip (1000 libras fuerza)	newton (N)	4.448 222	E + 03

kip por pulgada cuadrada	pascal (Pa)	6.894 757	E + 06
ksi	véase "kip por pulgada cuadrada"		
libra fuerza (avoirdupois)	newton (N)	4.448 222	E + 00
libra fuerza-pie	newton-metro (N.m)	1.355 818	E + 00
libra fuerza por pulgada cuadrada (psi)	pascal (Pa)	6.894 757	E + 03
libra fuerza por pie cuadrado	pascal (Pa)	4.788 026	E + 01
libra masa (avoirdupois)	kilogramo (kg)	4.535 924	E - 01
libra masa (USA)	kilogramo (kg)	4.535 924	E - 01
libra masa por galón (USA líquido)	kilogramo por metro cúbico (kg/m^3)	1.198 264	E + 02
libra masa por pie cúbico	kilogramo por metro cúbico (kg/m^3)	1.601 846	E + 01
libra masa por pie-segundo	pascal-segundo (Pa.s)	1.488 164	E + 00
micrón (micra)	metro (m)	1.000 000*	E - 06
milibar	pascal (Pa)	1.000 000*	E + 02
pie	metro (m)	3.048 000*	E - 01
pie (USA survey)	metro (m)	3.048 006	E - 01
piecandela	lumen por metro cuadrado (lm/m^2)	1.076 391	E + 01
piecandela	lux (lx)	1.076 391	E + 01
pielambert	candela por metro cuadrado (cd/m^2)	3.426 259	E + 00
pie cuadrado	metro cuadrado (m^2)	9.290 304*	E - 02
pie cúbico	metro cúbico (m^3)	2.831 685	E - 02
pie de agua (convencional)	pascal (Pa)	2.989 07	E + 03
pie-libra fuerza	joule (J)	1.355 818	E + 00
pie-libra fuerza por hora	watt (W)	3.766 161	E - 04
psi	véase "libra fuerza por pulgada cuadrada"		
pulgada	metro (m)	2.540 000*	E - 02
pulgada de agua (convencional)	pascal (Pa)	2.490 89	E + 02
pulgada de agua (a 15.5 grados Celsius)	pascal (Pa)	2.488 4	E + 02
pulgada de mercurio (convencional)	pascal (Pa)	3.386 39	E + 03
pulgada de mercurio (a 15.5 grados Celsius)	pascal (Pa)	3.376 85	E + 03
stokes (viscosidad cinemática)	metro cuadrado por segundo (m^2/s)	1.000 000*	E - 04
tonelada (UK)	véase "tonelada larga"		
tonelada masa (USA)	véase "tonelada corta"		
tonelada corta	kilogramo (kg)	9.071 847	E + 02
tonelada fuerza (métrica)	newton (N)	9.806 650*	E + 03
tonelada fuerza (UK)	newton (N)	9.964 017	E + 03
tonelada fuerza (USA)	newton (N)	8.896 443	E + 03
tonelada larga	kilogramo (kg)	1.016 047	E + 03
tonelada masa (métrica)	kilogramo (kg)	1.000 000*	E + 03
unidad electrostática cgs	véase "ESU"		
unidad térmica inglesa	véase "Btu"		
watt (USA Internacional)	watt (W)	1.000 182	E + 00

BIBLIOGRAFIA

THUMANN ALBERT P.E., C.E.M.
"Handbook of Energy Audits"
Segunda Edición, 1983

ICAITI, PEEIR
Manual de Auditorías de Energía
Guía Práctica de Consulta para Auditores de Energía
Primera Edición, 1985

ICAITI, PEEIR
El Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en la Industria
Primera Edición, 1984

Ottaviano Technical Services Inc.
"Energy Management"
OTS Publication, 1984