



45

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS  
DE AHORRO ELECTRICO-ECONOMICO EN  
SISTEMAS FRIGORIFICOS”**

## **PUBLICACION**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
PRESENTA:**

**CARLOS ANTONIO OLVERA ESPINOZA**

**ASESORA DRA. SILVIA ESTRADA FLORES**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

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

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

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

Publicación: Estudio Comparativo de Estrategias de Ahorro Eléctrico-Económico en Sistemas Frigoríficos.

que presenta el pasante: Carlos Antonio Olvera Espinoza  
con número de cuenta: 9460256-8 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero en Alimentos

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 15 de Enero de 2001.

PRESIDENTE

J.M.E. Javier Hernandez Vega

VOCAL

I.M.E. José A. Lopez González

SECRETARIO

Dra. Silvia Estrada Flores

PRIMER SUPLENTE

L.A. Laura M. Cortazar Figueroa

SEGUNDO SUPLENTE

L.A. Francisco J. Moreno Lopez

**Con agradecimiento y admiración  
por tu incansable lucha, te dedico este logro.**

**Te amo Mamá.**

**Carlos**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

A ti que me has demostrado que me amas a pesar de mis cosas buenas y malas; y que me hiciste un triunfador desde el momento en que nací hasta hoy que culmino un logro más en mi vida; tengo la certeza de que cuento contigo de forma incondicional. Por permitirme experimentar la grandiosa experiencia de la vida.

Gracias

### **A Mis Padres**

Porque con ustedes aprendí el valor de la vida que me ayudó a convertirme el hombre que soy.

Gracias por darme la vida

### **A Mi Abuelita**

Porque tus bendiciones y cariño me acompañaron desde niño y hoy siguen siendo un aliciente y un motivo para seguir adelante.

Que DIOS te guarde donde quiera que estés

### **A Mis Hermanos**

Gracias por su confianza y apoyo incondicional, ya que en los momentos más difíciles estuvieron a mi lado. Comparto con ustedes este triunfo, Ma. Guadalupe, César, Blanca, Adrián, e Isela; Alfredo y María, aunque nunca los conocí quiero decirles que siempre los tendré en mi corazón y que también es suyo este triunfo.

Los quiero mucho

### **A Gaby**

Gracias por compartir conmigo los momentos más difíciles y también los más bellos de esta grandiosa etapa de mi vida, porque con tu amor y comprensión hiciste más ligera mi carga y más feliz mi vida

Gracias por existir, TE AMO

### **A Mis Amigos**

Gracias por los **momentos inolvidables** que vivimos juntos y que dejan una huella imborrable en mi corazón y porque sin ustedes no hubiera sido lo mismo. Alberto, Erika, Oracio, Juan Carlos, Maño, Rodrigo, Aleida, Jennifer, Alicia, Gerardo G., Gerardo L., Lupita, Malinali, Abif, Claudia, Adolfo, Evelia, Vicky, Raquel, Richard, Luis Miguel, Don Luis, El Mosco y demás compañeros de otras generaciones y carreras que me acompañaron en esta maravillosa experiencia.

Nunca los Olvidaré

### **Alberto**

No tengo palabras para agradecerte el que me hayas enseñado el significado y el alcance de una verdadera amistad y por darme el privilegio de ser **AMIGOS**. Donde quiera que estés, se que compartes conmigo esta alegría y este triunfo, que también es tuyo.

Gracias por todo

### **A la Dra. Silvia Estrada**

Porque no eres un ejemplo a seguir, sino el vivo ejemplo de que por muy altos que sean los sueños, con esfuerzo, dedicación y confianza en uno mismo se pueden lograr.

Gracias por tener esa calidad humana que te hace tan especial y diferente a los demás, y porque definitivamente este paso no lo hubiera logrado sin tu apoyo y confianza.

### **A Mis Maestros**

Por su dedicación para compartir conmigo sus conocimientos y experiencias que me hicieron saber que en la vida el éxito no es algo que sólo le sucede a los mejor preparados. Dr. Arjona, Ma. De Luz Zambrano, Guadalupe Amaya, Leticia Badillo, Georgina Franco, Laura Cortazar, Leticia Zúñiga, Sara Valdés.

**A todos y cada uno de ellos gracias**

## INDICE

Resumen	1
Introducción	1
Eficiencia energética y potencial eléctrico	2
Metodología	2
Caso Práctico de energía en almacenes refrigerados	5
Variables de operación seleccionadas	6
Tabla de datos representativos de producto, cámara y envase	6
Tabla de constantes para diferentes refrigerantes	6
Discusión y Conclusiones	8
Tabla de efectos de las condiciones de operación sobre el costo energético del sistema	8
Bibliografía	9
Anexo: Ahorro de energía en sistemas frigoríficos	10



# ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ELÉCTRICO-ECONÓMICO EN SISTEMAS FRIGORÍFICOS

P.I.A. Carlos Antonio Olvera Espinoza  
Friomold, SA de CV

Dra. Silvia Estrada Flores  
Centro de Investigaciones Teóricas  
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Correo electrónico: silviae@prodigy.net.mx

## Resumen

Los procesos frigoríficos consumen alrededor del 85% de la energía eléctrica en la industria alimentaria mexicana. Sin embargo, se ha detectado un potencial de ahorro energético del 40%. En este artículo, se presenta un caso de ahorro energético en un almacén de producto congelado (helado). Para establecer las variables con mayor impacto e importancia de la planta frigorífica, se siguió la metodología propuesta por Cleland (1995). Datos que representan las condiciones normales de operación de una planta fueron empleados como base de cálculo para la obtención de los flujos de calor a eliminar de la cámara, cálculo principal que determina el tamaño de la planta frigorífica y los costos de energía asociados al sistema. Los resultados permitieron establecer modificaciones y ajustes al sistema frigorífico que permiten un ahorro económico significativo, manteniendo el nivel de producción de la planta.

## Introducción

Los procesos frigoríficos representan uno de los mayores rubros de costos de operación en la industria. Se estima que en México, el 85% del total de la energía consumida por la industria alimentaria es requerida por los sistemas de producción de frío (FIDE, 1997). En ocasiones los costos por demanda eléctrica pueden llegar a ser hasta del 30% del valor de la producción (CONAE, 1995). Sin embargo, el mismo organismo señala que existe un ahorro potencial de energía del 40% en estos procesos, lo que señala posibilidades de ahorro y el incremento de la competitividad de las empresas de este giro. Sólo aquellos que hagan el mejor uso de la energía prosperarán en un futuro con industrias cada vez más competitivas y en economías globalizadas.

En el argot de la frigotecnia, la eficiencia energética ( $E$ ) establece la relación entre la energía consumida y el efecto de frío producido. En un sistema eficiente, los evaporadores, condensadores, compresores, motores y otros deben consumir la menor cantidad de energía y operar con  $E \geq 75\%$ . Este factor puede señalar cambios necesarios en la forma de operar un almacén, con la finalidad de disminuir el consumo inútil de energía. El beneficio energético y económico obtenido estará en función de las mejoras y modificaciones realizadas al sistema y la inversión que estas representen. Los ingenieros encargados de proponer estas mejoras deben de contar con una metodología clara para exponer su caso y convencer a la directiva que dichos cambios impactarán a corto, mediano y largo plazo en los costos operativos de la planta. Este artículo tiene como objetivo ejemplificar una metodología propuesta por Cleland (1995), que permite cuantificar el ahorro energético y económico en un almacén frigorífico para helado bajo diferentes estrategias de uso.

## **Eficiencia Energética y Potencial de Ahorro**

La eficiencia energética en sistemas frigoríficos es la serie de acciones que lleva a que la energía eléctrica sea distribuida, utilizada y aprovechada de manera racional. Las acciones incluyen la constante supervisión y registro de las condiciones de operación (temperatura, presión, humedades relativas y otras), que permiten evaluar la eficiencia de la instalación. Olvera *et al* (2000) ahondaron en este tema en un artículo previo.

Existen tres entradas evidentes de energía eléctrica en el sistema que generan ahorros potenciales de energía: 1) El compresor; 2) los motores de los ventiladores en el evaporador, que permiten el movimiento de aire frío en la cámara; 3) los motores auxiliares -aquellos destinados al bombeo de agua, refrigerante o aceite, o a mover producto en el interior de la cámara. Frecuentemente, el mayor gasto se detecta en el compresor y es por ello que las inspecciones energéticas se centran en este elemento y en cómo incrementar su eficiencia. Sin embargo, el funcionamiento del compresor obedece a los flujos de calor (en adelante denominados *cargas frigoríficas*) a retirarse de la cámara frigorífica. Si se disminuyen al mínimo las cargas a retirarse, el compresor ejecutará menos trabajo y consecuentemente, el consumo energético disminuirá. Este es el principio de la metodología descrita a continuación.

### **Metodología**

La primera parte de la metodología se basa en el cálculo de las cargas térmicas que deben retirarse de la cámara, que provienen de las siguientes fuentes: producto, empaque, ventilador, iluminación, equipos electro-mecánicos, personal, infiltración en paredes, piso y techo, desescarche de evaporador, infiltración de aire a través de puertas y enfriamiento de estructuras. La carga total a ser desplazada de la cámara es:

$$Q_T = Q_p + Q_e + Q_v + Q_{il} + Q_{em} + Q_{pe} + Q_{in} + Q_d + Q_a + Q_{es} \dots (1)$$

El cálculo de cada carga frigorífica se describe a continuación, usando unidades internacionales de medidas SI en todos los casos:

1) **Carga por producto ( $Q_p$ ):** Calor extraído del producto para alcanzar la temperatura deseada. En el caso de congeladores, debe incluirse el calor latente y sensible del producto. En este caso, sólo existe el componente sensible, que se calcula mediante la masa del producto ( $M_p$ ), el calor específico del mismo ( $C_p$ ), las temperaturas de entrada ( $T_i$ ) y salida ( $T_f$ ) del producto y el tiempo de almacenamiento o proceso dentro del almacén ( $t_a$ ):

$$Q_p = \frac{M_p C_p (T_i - T_f)}{t_a} \dots \dots (2)$$

2) **Carga por empaque ( $Q_e$ ):** Calor extraído de empaques y envases que contienen al producto. Pueden representar el 10% o más del peso total del producto empacado, así que es importante incluirlos en los cálculos frigoríficos. El cálculo se realiza retomando la Ec. (2) y sustituyendo los valores de masa y calor específico por los del empaque. Las temperaturas iniciales y finales son generalmente las mismas que las del producto.

**3) Carga por ventiladores ( $Q_v$ ):** La función del evaporador es retirar el calor del medio mediante la circulación de aire; para ello, los motores que se encargan de producir el movimiento de los ventiladores consumen suficiente energía. Para  $N$  motores en un almacén que son iguales y consumen los mismos watts ( $T$ ), el cálculo es como sigue:

$$Q_v = 0.9 N T \dots \dots \dots (3)$$

En caso de que el fabricante proporcione datos de la caída de presión a través del ventilador ( $\Delta P$ ) y del flujo volumétrico de aire movido por el ventilador ( $F$ ), así como la eficiencia combinada del motor y ventilador ( $\eta_v$ ), la siguiente expresión es más recomendable:

$$Q_v = \frac{\Delta P F}{\eta_v} \dots \dots \dots (4)$$

**4) Carga por iluminación ( $Q_{il}$ ):** La carga frigorífica por fuentes de luz se dan en dos formas: trabajo (luz) y desperdicio (calor). La energía total a retirar de este rubro puede calcularse conociendo el número de bulbos encendidos ( $N$ ) y los watts consumidos por cada uno ( $W$ ):

$$Q_{il} = N W \dots \dots \dots (5)$$

**5) Carga por equipos electromecánicos ( $Q_{em}$ ):** Estos pueden ser bandas y transportadores colocados adentro del almacén, así como montacargas operando continuamente en el mismo. Este rubro puede calcularse usando los datos de número de motores de un mismo tamaño ( $N$ ), el factor de corrección por uso del motor ( $Z$ ) y el valor nominal de watts por motor ( $W$ ). Estos datos se integran como sigue:

$$Q_{em} = Z N W_m \dots \dots \dots (6)$$

**6) Carga por personal ( $Q_{pe}$ ):** El calor desprendido por personal laborando dentro de áreas a bajas temperaturas aumenta mientras menor sea la temperatura. En almacenes de congelados, este calor puede ser significativo dependiendo del tiempo que el personal permanece en éste y el número ( $N$ ) de personas laborando a un tiempo. Este calor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{pe} = 350 N \dots \dots \dots (7)$$

**7) Carga por infiltración a través de envolvente de almacén ( $Q_{in}$ ):** La infiltración de calor en paredes, piso y techo es debida a la incidencia del sol en las paredes expuestas y a la diferencia de temperaturas existentes entre el entorno de la cámara y el interior de la misma. Se calcula usando la conocida expresión que involucra el coeficiente global de transferencia de calor ( $U$ ), el área externa de la pared ( $A$ ) y las temperaturas exteriores ( $T_{ex}$ ) e interiores ( $T_{in}$ ) del almacén:

$$Q_{in} = UA(T_{ex} - T_{in}) \dots \dots \dots (8)$$

El coeficiente  $U$  puede calcularse a través de la expresión:

$$U = \left[ \frac{1}{\frac{1}{a_a} + \sum \frac{x_i}{k_i E} + \frac{1}{a_i}} \right] \dots \dots \dots (9)$$

En donde  $\alpha_a$  es el coeficiente convectivo del aire exterior (usualmente de  $10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ),  $\alpha_i$  es el coeficiente convectivo del aire interior,  $x_i$  es el espesor de cada capa de la pared,  $k_i$  es la conductividad térmica de cada capa y  $E$  aplica sólo a la capa de aislante, ya que un factor de efectividad de aislamiento, dependiente de los años de uso. El valor de  $\alpha_i$  puede calcularse a través de la expresión:

$$a_i = 7.3 v_a^{0.8} \dots\dots\dots(10)$$

Donde  $v_a$  es la velocidad del aire (m/s)

**8) Calor por desescarche de evaporadores ( $Q_d$ ).** Para deshacer el hielo acumulado en evaporadores que funcionan a temperaturas cercanas a  $0^\circ\text{C}$  o por debajo de ellas, es necesario adicionar calor mediante agua, gas caliente del compresor o resistencias eléctricas. Generalmente se adiciona más calor del requerido para fundir el hielo existente; la eficiencia del desescarche ( $\eta_d$ ) puede evaluarse como:

$$h_d = \frac{\text{calor requerido para el deshielo}}{\text{calor total añadido}} \dots\dots\dots(11)$$

Un valor típico para  $\eta_d$  es de 0.2 para gas caliente y 0.3 para agua como medio de calentamiento. Con este dato puede obtenerse la carga por desescarche como:

$$Q_d = 0.13 Q_l \left( \frac{1 - h_d}{h_d} \right) \dots\dots\dots(12)$$

Donde  $Q_l$  es el calor latente generado por la descongelación del evaporador.

**9) Carga por infiltraciones de aire a través de puertas ( $Q_a$ ):** Dependiendo de la aplicación de la cámara, el intercambio de aire puede ser involuntario (carga de producto, inspecciones, etc) o voluntario (cuando se tienen productos con liberación de gas carbónico, volátiles u otros compuestos, común en frutas y hortalizas refrigeradas). En ambos casos, el sistema de refrigeración debe desplazar el calor que ingresa con el recambio de aire (calor sensible) y formación de condensación o hielo en la cámara (calor latente). La expresión que conjunta ambos calores es:

$$Q_a = F \rho_{in} (h_{ex} - h_{in}) \dots\dots\dots(13)$$

Donde  $F$  es el flujo volumétrico que entra a través de la puerta,  $\rho_{in}$  es la densidad del aire que entra al almacén,  $h_{ex}$  es la entalpía del aire de entrada y  $h_{in}$  es la entalpía del aire dentro de la cámara. El cálculo de este parámetro requiere de conocer datos psicrométricos del aire exterior e interior.

**10) Carga por estructuras ( $Q_{es}$ ):** En el arranque de cámaras frigoríficas, las estructuras interiores del almacén (columnas, suelos y otros) deben enfriarse antes de introducir producto. A veces, se requiere lavar pisos y estructuras durante la operación debido a aspectos sanitarios, especialmente en almacenes de carnes y aves, lo que hace que las estructuras se calienten. El cálculo de enfriamiento de estructuras emplea la Ec. (2), usando las propiedades de las mismas.

La segunda parte de la metodología se basa en la siguiente ecuación:

$$E_c = \left( \frac{Q_T (T_d - T_e)}{[273 + T_e][1 - \gamma]^n \eta_i} \right) \dots \dots (14)$$

Donde  $T_d$  y  $T_e$  son temperaturas de descarga y evaporación, respectivamente,  $\gamma$  es una constante empírica que depende del tipo de refrigerante (ver Tabla 2),  $x$  es la fracción vaporizada de refrigerante durante la expansión de  $T_d$  a  $T_e$ ,  $n$  es una constante empírica dependiente del número de etapas de compresión y expansión (en este caso  $n=1$ ) y  $\eta_i$  es la eficiencia isoentrópica del compresor, dato que es dado por el fabricante y que es dependiente del tipo de compresor;  $E_c$  es la energía que el compresor empleará para mantener la planta funcionando a esas condiciones.

El cálculo de costo de refrigeración se realiza mediante los siguientes pasos:

A) *Uso energético total = energía usada por compresor + energía usada por sistemas auxiliares*  
Los sistemas auxiliares se refieren a las bombas de agua de condensadores, bombas de refrigerante, sistemas de control y otros. Se estima en un 15% de la energía usada por el compresor.

B) *Costo de energía = Uso energético total \* tiempo de uso \* cargo por kWh.*

El costo por kWh en la zona centro de México al mes de abril del 2000 era de \$0.454.

C) Cuando la planta es empleada en horarios en la que la tarifa corresponde a la demanda máxima calculada, se debe emplear la siguiente ecuación:

*Costo de demanda máxima = (Energía usada en horario de demanda máx/factor de potencia) \* No. de periodos \* cargo por periodo*

El cargo por periodo de demanda máxima en la zona centro fue de \$60.45/kWh durante el mes de abril del 2000. El factor de potencia depende de la instalación pero los valores típicos se encuentran entre 0.8 y 0.95.

### **Caso práctico de cálculos de energía en almacenes refrigerados**

La Tabla 1 muestra los datos obtenidos a partir de un diagnóstico energético realizado en una empresa dedicada a la renta de espacios frigoríficos, situada en el Distrito Federal. El diagnóstico consistió en un análisis visual de la planta y la recopilación de las condiciones de operación proporcionados por la empresa. El análisis se hizo en base a los requerimientos de una cámara y asumiendo que el sistema frigorífico requiere una planta frigorífica exclusiva para este sistema (unidad compacta).

Basados en estos datos, se realizaron cálculos energéticos variando las condiciones presentadas en la Tabla 3. El efecto de estos cambios se describe a continuación.

**Tabla 1. Datos representativos de producto, cámara y manejo.**

<i>Aplicación y producto</i>	Cámara de conservación de helado
<i>Dimensiones de la cámara</i>	30m x 12m x 4.5m = 1620 m <sup>3</sup>
<i>Espesor de paredes (concreto)</i>	0.1m
<i>Espesor de aislante (poliestireno expandido)</i>	0.2m
<i>T entrada (producto)</i>	-21 °C
<i>T salida (producto)</i>	-23 °C
<i>T exterior (ambiente)</i>	14°C
<i>Envase</i>	Cartón corrugado encerado, espesor=1 mm. Capacidad/envase: 1.9 lt (1 kg) Empaque unitario: Caja de cartón, espesor 1.6 mm. Capacidad/caja:20 envases(19.7 kg)
<i>Tiempo de operación de la planta</i>	3 turnos de 8hr. en proceso continuo
<i>Temperatura evaporación</i>	-25 °C
<i>Humedad Relativa</i>	90 %
<i>Temperatura bulbo húmedo</i>	17 °C
<i>Humedad Relativa exterior</i>	75 %
<i>Temperatura condensación</i>	31 °C
<i>Refrigerante</i>	R-134a
<i>Etapas de compresión/expansión</i>	1
<i>Eficiencia isoentrópica (compresor)</i>	0.68
<i>Temperatura piso</i>	5 °C
<i>Tipo de aislante</i>	Poliestireno expandido, espesor= 20 cm
<i>Iluminación</i>	(3 x 250W) + (15 x 75W) = 1875 W
<i>Tiempo de iluminación</i>	24hr.
<i>Ventiladores</i>	2 x 3 vent. x 10HP c/u = 60HP
<i>Velocidad aire (cámara)</i>	250 ft./min. = 1.27 m/s
<i>Tipo y tiempo de descarche</i>	Gas caliente- 60 min./ día
<i>Dimensiones puerta (sin cortinas)</i>	2.4m x 2m = 4.8 m <sup>2</sup>
<i>Tiempo de apertura</i>	4 hrs/24 hrs
<i>No. personas que entran</i>	3
<i>Montacargas</i>	1 x 1 motor x 10.25HP

**Tabla 2. Constantes  $\gamma$  para diferentes refrigerantes**

Refrigerante	12	22	134a	114	502	717
$\gamma$	0.67	0.77	-0.69	0.53	0.75	1.11

### VARIABLES DE OPERACIÓN SELECCIONADAS

Las variables de operación fueron seleccionadas en cuanto a la factibilidad del manejo de éstas en la instalación visitada. En la Tabla 1 se puede observar que existen variables de diseño que no son posibles cambiar, como las etapas de compresión, la eficiencia isoentrópica (características del compresor instalado) y otras. Las variables descritas a continuación pueden cambiarse con gastos mínimos o nulos, a excepción del reforzamiento de aislante, que implica un desembolso mayor.

Estas variables fueron:

- a) Temperatura de entrada del producto ( $T_i$ ): La entrada de producto tiene un efecto sobre la carga térmica a retirar. Se deseaba observar el impacto del cambio de esta variable sobre el consumo energético de la planta.
- b) Tiempo de iluminación ( $t_i$ ): Se observó que el tiempo empleado en iluminación obedecía más a costumbres del personal que a razones de visión. Por ello, se identificó como fuente de ahorro posible la iluminación de la cámara. Se propuso usar luz solamente en carga y descarga (4 hrs)
- c) Colocación de cortinas (hawaianas) para evitar infiltración de aire ( $I_n$ ): El intercambio de aire es inevitable en carga y descarga, pero para minimizar los efectos del mismo, es indispensable contar con protecciones tales como cortinas.
- d) Tiempo de apertura de puertas ( $t_p$ ): El tiempo que permanecía abierta la puerta era excesivo y obedecía a la comodidad de los operadores de montacargas para entrar y salir sin hacer un tiempo de espera para abrir y cerrar puertas. Se consideró que una reducción del 75% en el tiempo de apertura era factible.
- e) Temperatura de condensación ( $T_c$ ): La temperatura de condensación es excesiva y los resultados pueden mejorarse si el agua de enfriamiento del condensador tiene una temperatura menor. Se consideró que una  $T_c$  de 26°C era alcanzable sin realizar un costo excesivo en el enfriamiento.
- f) Reforzamiento del aislamiento ( $x_a$ ): La antigüedad de la cámara señala que la efectividad del aislamiento ha minado en casi la mitad de la efectividad del aislante nuevo. Para contrarrestar este efecto, se propuso una capa extra de aislamiento en paredes. El espesor se aumentó con 10 cm más de aislamiento.
- g) Refrigerante ( $R$ ): Por último, se realizaron los cálculos para un sistema de freón 22 en vez de emplear R-134a.

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de la variación de cada uno de estos factores. Como base de comparación, se tienen los datos operativos de la Tabla 1. Se variaron los parámetros previamente descritos, uno a la vez (es decir, manteniendo todos los niveles originales de la Tabla 1 excepto el parámetro variado), en los niveles descritos en la Tabla 3. Es evidente que en las condiciones de la Tabla 1, no existe ahorro económico porque esa es la base de comparación. En el caso de la temperatura inicial es obvio que el aumento de temperatura no beneficia la economía del sistema; por el contrario, se esperaba un costo mayor al costo base de la Tabla 1. Sin embargo, se deseaba observar el efecto de un mal control de la temperatura inicial del producto en vez de ser más optimistas usando una temperatura inicial menor. En el caso del cambio de refrigerante, por la magnitud de las constantes de la Tabla 2 se esperaba también un aumento del costo energético, pero igualmente se deseaba ver en términos numéricos.

La energía total al mes incluye el costo de equipo auxiliar, calculado como se describió en el cálculo de costo de refrigeración. No se hicieron los cálculos para demanda máxima, pero la tendencia será similar a los datos de la Tabla 3.

**Tabla 3. Efecto de las condiciones de operación sobre el costo energético del sistema**

Condiciones de operación	Carga térmica total (kW)	Energía usada por compresor (Ec, kW/24 h)	Energía total/ mes (kW.h)	Costos de energía/ mes (\$)	Ahorro mensual (\$)	Ahorro anual (\$)
Condiciones de Tabla 1	59.3	15.8	13,198	5,940	0.0	0.0
A. $T_i = -18^\circ\text{C}$	68.5	18.3	15,152	6,879	-939.0	-11,268.0
B. $t_i = 4 \text{ hrs}$	57.6	15.3	12,668	5,751	188.5	2,262.5
C. c/hawaiana	57.2	15.3	12,668	5,751	188.5	2,262.5
D. $t_p = 1 \text{ h}$	57.6	15.3	12,668	5,751	188.5	2,262.5
E. $T_c = 26^\circ\text{C}$	59.3	14.7	12,172	5,526	414.0	4,968.0
F. $x_i = 30 \text{ cm}$	57.6	15.3	12,668	5,751	188.5	2,262.5
G. R-22	59.3	25.6	21,197	9,623	-3,683	-44,200.0
H. Ahorro conjunto de B, C y D	53.6	14.3	11,840	5,375	564.5	6,773.5

### Discusión y conclusiones

De la Tabla 3, puede observarse que el refrigerante usado en el sistema es un factor determinante en el ahorro energético a largo plazo. En este caso, se tomó el ejemplo del freón 22, que dejará de ser producido en menos de 40 años de acuerdo al protocolo de Montreal, tratado que prevé la desaparición de refrigerantes dañinos al ambiente. La restricción a dicho refrigerante y su sustitución por R-134a ha sido adelantada en Nueva Zelanda y Australia, así como en otros países de importancia en el sector frigorífico. De los resultados obtenidos en cuanto a su desempeño energético, es probable que el sector salga ganando en este cambio.

La temperatura de entrada del producto es un factor importante en el ahorro energético de este sistema: Si existe un control inadecuado de la temperatura a la que entra el producto (por ejemplo, dejando producto en los pasillos provocando un aumento de temperatura del mismo), esto provocará gastos energéticos que costarán alrededor del doble del gasto normal bajo condiciones controladas.

El ahorro conjunto que se obtiene disminuyendo el tiempo de iluminación, colocando hawaianas en la puerta y disminuyendo el tiempo en el que la puerta permanece abierta, es bastante atractivo, considerando que la única inversión a realizar es la colocación de cortinas plásticas. El control del tiempo de iluminación y apertura de puertas puede lograrse capacitando adecuadamente al personal que opera en los almacenes y hacerles ver el efecto de sus acciones en el costo de la operación de la planta

Otras de las alternativas de ahorro de energía que pueden considerarse para la reducción en el consumo energético son las siguientes:

- Control y monitoreo constante de la temperatura, HR y velocidad del aire en la cámara.
- Instalación de un mecanismo electrónico de encendido de luz y cerrado en cada apertura de puertas.
- Disminución del uso del sistema en horarios picos.



- Alteraciones en la planta frigorífica, como el uso de dos etapas de compresión o dos etapas de expansión. Desde luego, estos cambios deben de balancearse respecto al costo capital del equipo.

### **Bibliografía**

1. Ambríz, J.J y Romero, P.H. (1997). Conservación de energía en sistemas de refrigeración. Revista FIDE, 5(22): 1. pp 22 – 28.
2. Cleland, A.C. y Cleland, D.J. (1995). Cost-Effective Refrigeration. Dept. of Process and Enviromental Technology, Massey University.
3. CONAE (1995). Perfiles Energéticos de la Industria Química y Alimenticia. Secretaría de Energía. 251 p.
4. CONAE (1995). Diagnósticos Energéticos. Secretaría de Energía. 143 p.
5. Reay, D. (1977). Uso eficiente de Energía en la Industria. Pergamon Press. 1ª Ed. 241 pp.
6. Olvera, C.E, Valencia, L.E y Estrada-Flores, S. (2000). Ahorro de energía en sistemas frigoríficos. Lácteos Mexicanos. En prensa.

### **RESUMEN CURRICULAR DE LOS AUTORES**

*Carlos A. Olvera Espinoza* es Pasante de Ingeniería en Alimentos de la Fac. de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C). Ha cursado diferentes seminarios encaminados al ahorro energético en la industria, patrocinados por la Comisión Nacional de Energía y su servicio social consistió en la elaboración de encuestas energéticas en la industria frigorífica. Actualmente es representante de ventas para la Empresa FrioMold, SA de CV.

*Silvia Estrada Flores* es egresada de Ingeniería en Alimentos de la FES-C (1991). Obtuvo su Doctorado en el área de simulación de procesos frigoríficos en la Universidad de Massey, Nueva Zelanda, en 1997. Actualmente labora en la FES-C como profesora y asesora de la industria alimentaria mediante cursos conjuntos en el área de refrigeración y congelación con el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey, (Campus Edo. de México) y con su propio bufete consultor (CONESAL).

## **ANEXO**

### **AHORRO DE ENERGIA EN SISTEMAS FRIGORIFICOS.**

## **AHORRO DE ENERGIA EN SISTEMAS FRIGORIFICOS.**

Carlos A. Olvera Espinoza, Ma. de J. Erika Valencia Lua y Silvia Estrada Flores  
Cátedra de Modelación Matemática de Procesos Alimentarios. FES-C, Campo 1. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México. C.P.54740. Correo electrónico: strada@servidor.unam.mx

### **INTRODUCCION**

Sin duda alguna, la energía es la fuerza que mueve al mundo de la industria. Por eso es importante saber como emplearla de una manera responsable. Sólo aquellos que hacen el mejor uso de la energía pueden prosperar en un mundo en el que la crisis de los energéticos, el alto costo de la energía y las futuras fuentes de obtención son temas de uso común. En la industria moderna, el ahorro de energía es una de las claves para abatir costos y poder competir en el ámbito mundial en una economía cada vez más globalizada.

La industria mexicana emplea porcentajes significativos de energía eléctrica. En el Estado de México, la industria emplea alrededor del 70% de energía. En Nuevo León, ocupa porcentajes superiores al 90% y en Querétaro, el 60% (CONAE, 1999). De la gama de industrias manufactureras mexicanas, la industria alimentaria (IA) contribuyó con un 26% del total del producto interno bruto del país y un 28% de mano de obra empleada en el sector manufacturero durante 1995. Para lograr ésto, la IA consumió un 17% del combustible total de todo el ramo industrial y el 8% de la energía eléctrica (CONAE, 1995a)<sup>1</sup>. Aunque esta cifra pudiera parecer pequeña, los costos energéticos de empresas pequeñas (aquellas que ocupan hasta 5 empleados) representan el 15% de los costos totales de producción. En empresas de más de 100 empleados, los costos energéticos suman alrededor del 65% del total. Mientras que la pequeña empresa gasta un 2.5% de sus costos totales en energía para producir 1% del valor agregado, las empresas grandes sólo gastan un 0.8% en energía para obtener 1% de valor agregado (CONAE, 1995a).

Las IA que ocupan más energía eléctrica en sus procesos son la láctea (11%), la panadera (incluyendo cereales, 19%), aguas envasadas (9%) y la industria cárnica (6%). Esta última destina alrededor del 50% de la energía eléctrica hacia procesos de refrigeración (CONAE, 1995a). Para lácteos, esta cifra se estima en 40% y en conservas es de alrededor del 35%.

A fin de apoyar a las industrias con mayores consumos de energía eléctrica, la Secretaría de Energía creó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). Para enfatizar la importancia del ahorro energético, esta Comisión constituyó el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Prevención y Uso Racional de los Recursos Energéticos. Este Comité es el organismo encargado de la elaboración de las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética. La Secretaría de Energía, a través de la CONAE, también ha emprendido medidas económicas destinadas a financiar medidas de ahorro energético, mediante prestamos para la compra de equipo de medición y otorgamiento de créditos puente. Las Unidades de Enlace para la Eficiencia Energética (U3Es) y el Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE) han actuado en colaboración para desarrollar estrategias de eficiencia energética industrial, que incluyen diagnósticos energéticos, proyectos de demostración, promoción mediante visitas a empresas, revistas y folletos informativos, organización de seminarios y capacitación de empresas consultoras y productivas.(CONAE, 1995b).

La estrategia nacional desarrollada para lograr la eficiencia energética por estos organismos ha detectado 5 niveles de incremento de ahorro en la industria (CONAE, 1995a):

- 1) **Potencial de gestión energética (diagnóstico energético):** La gestión energética comprende el seguimiento del consumo energético mediante un registro frecuente de estos, la comparación de índices energéticos con otras empresas de ramos similares, mantenimiento y limpieza de equipos que coadyuven a la eficiencia energética, instalación de equipo simple de control y mejoramientos menores con inversiones bajas presupuestadas por la empresa a lo largo del año, que no requieran apoyos especiales de financiamiento.
- 2) **Potencial viable de ahorros:** Incluye mejoras técnicas del proceso que requieren financiamiento especial, que cumplan con la viabilidad económica del proyecto energético de la empresa en un lapso de 1 a 5 años.
- 3) **Potencial técnico de ahorro:** Implementación de tecnología de punta para ahorro energético que presenten tasas de retorno mayor a 3 años.
- 4) **Potencial viable de ahorros y cogeneración:** Combina el nivel 2 (potencial viable de ahorros) con el potencial de ahorro mediante la implementación de técnicas de cogeneración de energía.
- 5) **Potencial técnico de ahorro y cogeneración:** Combina el nivel 3 (potencial técnico de ahorro) con el potencial de ahorro mediante la implementación de técnicas de cogeneración de energía.

Es necesario resaltar que los niveles de ahorro energético son secuenciales. El nivel de mayor importancia es el 1, ya que este detecta medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales. Los niveles 2, 3, 4 y 5 requieren de mayores inversiones, alcanzando mayores beneficios. Sin embargo, éstos dependen del máximo ahorro de energía que puede alcanzar la planta en estudio. Por lo anterior es indispensable definir el término diagnóstico energético, así como la descripción de la metodología para la realización del mismo

### **DIAGNOSTICO ENERGÉTICO**

El término diagnóstico es asociado comúnmente con el área médica, definiéndose como un conjunto de signos o síntomas particulares de una enfermedad, a partir de los cuales el médico toma las medidas necesarias para combatir los agentes que la causaron. De manera análoga el "diagnóstico energético" efectúa una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia/deficiencia que tiene una planta refrigeradora. Tiene como base la identificación del consumo energético, que puede definirse como la respuesta a la pregunta ¿Cómo, dónde y cuanta energía es empleada o desperdiciada? En sistemas de refrigeración, además del análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

Los diagnósticos energéticos a menudo crean conciencia sobre el uso racional de la energía, pero su objetivo práctico es lograr procesos energéticamente eficientes y económicamente más rentables (FIDE, 1995a). En nuestro país, son contadas las empresas que se han sometido a un diagnóstico energético, debido a que existen dudas respecto a los beneficios obtenidos con éstas: Un auditor puede enfrentarse a las políticas de privacidad de datos en la empresa privada, que impiden el acceso a la información general de la planta (proceso y equipo); en tales casos, el auditor puede firmar contratos de secrecía para llevar a cabo la auditoría y convencer a la alta gerencia de la utilidad de estos diagnósticos.

El diagnóstico energético puede dividirse por etapas, como se ilustra en la Figura 1. Para efectos de análisis, se consideran sólo las cuatro etapas significativas.

### Etapa 1. INSPECCIÓN

En esta etapa se realiza un análisis visual, que permite obtener un primer acercamiento de las condiciones de operación físicas, operacionales y de personal de la planta. El auditor se hace acompañar de una persona que conozca el funcionamiento de la planta y labore en puestos técnicos que impliquen la operación de equipos de interés para el auditor. Asimismo, se analiza el consumo histórico de energía eléctrica mediante los recibos de electricidad de los últimos dos años. Estas actividades permiten evaluar las áreas susceptibles de mejora en la eficiencia energética, así como jerarquizar los equipos a monitorearse de acuerdo al consumo de energía que requieren y consumen. En plantas frigoríficas generalmente se enfatiza en el comportamiento del compresor, ya que es el equipo que presenta mayor consumo directo de electricidad. Sin embargo, el resto de los equipos frigoríficos presentan oportunidades de ahorro importantes, si se adoptan las estrategias correctas.

### Etapa 2. MONITOREO

Se evalúa el funcionamiento y operación de los equipos, identificando y cuantificando los parámetros de diseño (especificaciones del proveedor) y operación de los equipos (condiciones de trabajo en planta), así como su consumo energético. Esto permite obtener el grado de desviación existente entre la operación ideal y real de los equipos, determinando si hay una sub-utilización de los mismos o si se trabajan a niveles mayores de los diseñados. En ambos casos, existirá un consumo de energía elevado, dando como consecuencia altos costos de energía eléctrica.

El monitoreo se efectúa en los equipos de líneas de proceso, sistemas de refrigeración y servicios auxiliares. Se hace un registro de los datos obtenidos en planta, tales como temperaturas, presiones, capacidades, tiempos de funcionamiento, frecuencia de mantenimiento y otros. Para retomar los resultados iniciales hacia la industria involucrada e interpretar éstos de manera objetiva, generalmente se realiza una junta con los encargados del área de producción, cuarto de máquinas y mantenimiento, a fin de contrastar los datos y observaciones obtenidos en el monitoreo con la experiencia de los encargados de estas áreas.

### Etapa 3. ANALISIS

Para verter los resultados obtenidos del análisis de campo realizado en el paso anterior, se preparan hojas de cálculo con el fin de validar los datos estadísticamente, convertir las unidades de energía a índices más ilustrativos y gráficos que muestren a simple vista el comportamiento de los equipos y su consumo energético. Esto da paso a la planificación y realización de un programa de ahorro energético, el cual incluye medidas tanto de carácter preventivo como correctivo.

### Etapa 4. SEGUIMIENTO, CONTROL Y EVALUACIÓN

Estos tres términos son una forma de complementar e integrar el programa de ahorro de energía permitiendo una mejor administración y ahorro de la misma. El seguimiento asegura que siempre se conozca el consumo de energía de la planta; el control permite prever situaciones que pudieran afectar al sistema y la evaluación supervisa constantemente las condiciones de operación asegurando que se lleve a cabo el programa de ahorro de energía dando como resultado una reducción en los costos de producción. Si no existe un seguimiento y control adecuado, todas las acciones emprendidas en un inicio podrían no servir de nada y lo que es peor incidir en mayores consumos de energía. Otra medida no menos importante es la concientización del personal que labora en la planta para el uso racional de la energía y evitando que esta se desperdicie, pero no sólo es ahí donde se debe de tener conciencia del uso de la energía, sino que los directivos y administrativos deben ser partícipes y ser los primeros en tomar estas consideraciones (CONAE, 1995b).

## **REFRIGERACION: FALLAS QUE SE TRADUCEN EN CONSUMOS INUTILES DE ENERGIA**

Comúnmente se asume que el equipo crítico en cuanto a consumo energético en plantas de refrigeración es el compresor. Aun cuando el compresor efectivamente gasta un gran porcentaje de energía, su funcionamiento está ligado al resto del sistema. Un cambio en las condiciones de operación impacta en forma directa o indirecta en el consumo de energía del compresor. Por tanto, existen fallas que ocasionan pérdidas de energía en forma directa (pérdidas de energía eléctrica) e indirecta (pérdidas de energía térmica). Las Tablas 1 y 2 muestran las fallas más comunes en sistemas frigoríficos que repercuten en desperdicios directos o indirectos de energía. Desde luego, existen otras fallas asociadas a un mal diseño de instalación, pero no se hace énfasis en éstas debido a que en este artículo nos interesa describir posibilidades de ahorro para plantas ya en funcionamiento.

### **COSTOS DE ENERGIA ELECTRICA EN SISTEMAS FRIGORIFICOS**

La tarifa eléctrica a nivel industrial se clasifica en base a la demanda contratada y la tensión de suministro. Dentro de éstas se encuentran la tarifa OM para consumos menores o iguales a 1,000 kilowatts (kW) y las tarifas HM, H-S, H-SL, H-T, H-TL, HM-R, HM-RF, HM-RM, HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF y HT-RM, todas ellas para consumos superiores a 1,000 kW.

La tarifa OM es la única a la que se le denomina ordinaria y no se le clasifican los consumos y demandas en periodos de punta y base; en el resto de las clasificaciones eléctricas (conocidas como de servicio horario) si existe dicha separación.

Para realizar la factura eléctrica es necesario conocer:

- La demanda facturable.
- La energía consumida.
- El cargo por ajuste de combustible
- La multa o bonificación por factor de potencia bajo o alto
- Los cargos extras por impuestos, mantenimiento, y otros rubros.

Para verificar los diferentes cargos de la factura, se debe conocer la tarifa contratada y la región a la que pertenece el consumidor, ya de ello dependerán los costos de energía. En la tarifa OM el cargo por demanda máxima medida y por la energía consumida, representa un costo el cual varía de acuerdo al mes y región como se muestra en la Tabla 3.

En el caso de la tarifa HM, los cargos son por demanda facturable y por periodos de consumo (base, intermedia y punta) como se presentan en la Tabla 4. La Tabla 5 presenta las diferentes regiones mencionadas en las tablas anteriores, desglosadas por municipios.

Como se observó en los cargo por energía de punta y base, la primera es alrededor de 4 veces más cara que la energía de base. Es por ello que se debe gastar un mínimo de energía en las horas punta y se debe buscar un consumo de energía lo más constante posible.

Si se deseara conocer la energía utilizada por un sistema de refrigeración, se puede recurrir a la siguiente metodología (Cleland & Cleland, 1996):

- 1) Estimar la energía gastada en el cuarto frigorífico. Incluye ventiladores de evaporadores, luz, motores, resistencias eléctricas para deshielo o calentamiento subterráneo, etc. Estos sistemas también contribuyen a aumentar la carga frigorífica a eliminar del sistema, por lo que irónicamente se paga dos veces por ellos: se paga la alimentación eléctrica necesaria para que ejecuten su función mecánica y se paga para eliminar el calor cedido a la cámara.
- 2) Estimar la energía gastada por sistemas auxiliares. Estos engloban las bombas de agua o ventiladores de condensadores, bombas de refrigerante, sistemas de control, etc. Para condensadores evaporativos o enfriados por agua, la energía auxiliar es típicamente del 10 al 15% de la energía gastada por el compresor. Puede ser más elevada para condensadores enfriados por aire.
- 3) Estimar el uso total de energía como la suma de la energía gastada en el punto 1 más la energía del punto 2 más la energía del punto 3.
- 4) Calcular el costo de la energía total de la unidad de refrigeración (kWxh):

$$kW \cdot h = \text{Energía promedio}(kW) * \text{tiempo de uso}(h)$$

$$\text{Costo global} (\$) = kW \cdot h * (\text{costo por } kW \cdot h)$$

- 5) Calcular el costo para periodos de punta.

$$\text{Energía punta (kVA)} = \frac{\text{Energía punta gastada (kW)}}{\text{Factor de potencia}}$$

$$\text{Costo punta} (\$) = \text{Energía punta (kVA)} * \text{No. de periodos} * \text{costo por periodo} (\$ / \text{kVA} / \text{periodo})$$

- 6) Calcular el costo total de energía como la suma del costo obtenido del punto 3 y el costo obtenido del punto 4.

El factor de potencia (FP) es un indicativo de la eficiencia con la que se está empleando la energía eléctrica. La potencia activa (kW) actúa dando trabajo o calor útil. La potencia aparente o total (kVA) es la suma vectorial de kW y la potencia reactiva, kVAR, que es usada para generar el campo magnético y que no produce ningún efecto útil. El FP se define entonces como:  $FP (\%) = kW \div kVA \times 100$ . Los sistemas que presentan cargas variables, como equipos de aire acondicionado y refrigeración, presentan bajos valores de FP (FIDE, 1995b).

### **ESTRATEGIAS ESPECIFICAS PARA AHORRO DE ENERGIA EN PLANTAS FRIGORIFICAS**

Algunas de las tácticas de ahorro que pueden emplearse en instalaciones frigoríficas se enumeran a continuación. Los porcentajes que a continuación se presentan son un promedio de los diagnósticos realizados por el CONAE en asociación con la Comisión de la Unión Europea y la Secretaría de Energía (CONAE, 1995a). Sin embargo, cada empresa es diferente y los puntos señalados pueden variar de planta a planta, por lo que debe hacerse un análisis detallado dependiendo del tipo de industria. La aplicación de una o varias de estas medidas debe hacerse sobre bases firmes en el conocimiento de tecnología frigorífica y aspectos específicos de la planta en cuestión.

*Estrategias generales para lograr un ahorro del 15%*

Las estrategias que a continuación se presentan pertenecen al *Nivel 1*:

- Aumento de las temperaturas de evaporación.
- Reducción de las temperaturas de condensación.
- Aislamiento de tubería.
- Tratamiento de agua en condensadores y torres de enfriamiento con productos químicos para evitar depósitos.
- Limpieza frecuente de evaporadores y condensadores.
- Deshielo frecuente.
- Aumento de las temperaturas requeridas.
- Cierre de zonas refrigeradas cuando no se usan.
- Aumento de las temperaturas a las necesidades requeridas.
- Reducción de las cargas térmicas en las zonas refrigeradas mediante cortinas hawaianas en las puertas.
- Uso de luz eficiente y reducción de las intensidades de luz.
- Ruptura de barrera de vapor.
- Mala ubicación del bulbo de la válvula de expansión.
- Sobrecarga en espacios refrigerados.
- Parcializar las cargas de los compresores alternando reciprocantes y de tornillo, para que funcionen a plena carga.
- Capacitación del personal que opera el área de producción y/o la instalación frigorífica.
- Mejoras en los servicios como lubricación de los compresores, variaciones en la alimentación de electricidad lo cual puede dañar los equipos, bombas de recirculación de agua a los condensadores, agua proveniente de la torre de enfriamiento para el condensador o el área de producción, etc.

#### *Estrategias para lograr un ahorro del 25%*

Las estrategias que a continuación se presentan pertenecen al **Nivel 1:**

- Mejoramiento del enfriamiento de los condensadores.
- Mejoramiento del movimiento del movimiento de aire en cámaras.
- Mejoramiento de la regulación de los compresores.

Las estrategias que a continuación se presentan pertenecen al **Nivel 2:**

- Aislamiento de las zonas refrigeradas.
- Cambio de compresores, condensadores, evaporadores, ventiladores de los evaporadores, motores, bombas, etc.
- Aislamiento de tuberías.
- Uso de sistemas de enfriamiento natural para temperaturas medias en lugar de equipo de refrigeración.

Las estrategias que a continuación se presentan pertenecen al **Nivel 3:**

- Automatización de la línea de proceso y/o sistemas de refrigeración.
- Sustitución tecnológica ya sea por que el equipo es obsoleto en cuanto a su tecnología o por que el equipo no cumple ya con su función y consume demasiada energía.



Las estrategias que a continuación se presentan pertenecen al *Nivel 4*:

- Instalación de sistemas de refrigeración de absorción en base a energía térmica de cogeneración o excedente de energía.
- Instalación de capacitores de corrección de FP o controladores automáticos, que dan la porción reactiva necesaria de forma que la instalación eléctrica no tiene que ceder esta energía.

## CONCLUSIONES

El ahorro de energía eléctrica en plantas frigoríficas repercute en una forma inmediata en bajos costos de producción. Hoy en día existen varias técnicas de ahorro y se han instrumentado las instancias gubernamentales necesarias para poder asesorar a la pequeña, mediana y gran industria en esta área. De acuerdo a las estadísticas energéticas encontradas, son justamente la pequeña y mediana industria las que deben hacer un esfuerzo mayor por prepararse y formar una conciencia de ahorro energético a todos los niveles: desde el gerencial hasta el obrero. No sólo por el impacto monetario de la empresa, sino también por el impacto en nuestro medio ambiente. Es necesario realizar planes de ahorro energético que se caractericen por su continuidad, independientemente de cambios de personal en la empresa. Si se forma realmente una cultura de ahorro energético en la empresa, esta cultura se preservará y extenderá entre los empleados de la misma.

Las auditorías energéticas constituyen la base de todo esfuerzo de ahorro energético. Sin embargo, los datos con los que se cuenta hoy en día para nuestro país no permiten hacer un análisis concienzudo de las estrategias más viables de ahorro. La cátedra de Modelación Matemática de Procesos Alimentarios está realizando en estos meses una serie de encuestas energéticas, destinadas a analizar de una forma más consistente las posibilidades de ahorro energético en la industria frigorífica. Los resultados de estas encuestas son privados si la empresa lo pide así. De estas encuestas, se harán comparativos por ramo (cárnicos, lácteos, frutos y hortalizas, almacenes y otros) y se propondrán estrategias de ahorro energético específicas mediante seminarios. Si su empresa tiene sistemas frigoríficos y desea contestar la encuesta energética, favor de contactarse al 5-8815454 o vía correo electrónico a: [strada@servidor.unam.mx](mailto:strada@servidor.unam.mx) para enviarle dicha encuesta.

## GLOSARIO

Carga frigorífica ó térmica. Es la cantidad de calor retirado a un producto ya sea de manera mecánica, absorción, etc., mediante un sistema de refrigeración, sus unidades son Kcal/Kg.

Carga por demanda facturable. La demanda facturable en la tarifa ordinaria (OM) es la demanda máxima medida en cualquier momento del periodo de facturación, sin embargo para las tarifas secundarias la demanda facturable se definirá en función de la demanda máxima medida tanto en periodo de punta como en periodo de base, por lo anterior es necesario definir la demanda máxima.

Carga por energía consumida. Para la tarifa OM, toda la energía se cobra a un solo precio. Para las tarifas horarias, se realiza una separación de la energía consumida en los diferentes periodos cobrándose por separado, de la energía de punta y energía de base.

Demanda máxima. Es la potencia máxima requerida por los equipos eléctricos para su operación.

Energía de punta: Es la energía que tiene el mayor costo, consumida durante el periodo de punta, que comprende de las 18:00 a las 22:00 hrs de Lunes a Sábado. Los Domingos y días feriados no hay periodo de punta.

Energía de base: Es la energía con costo medio, consumida durante el periodo de base. El periodo de base está integrado por las horas no comprendidas en el periodo de punta, de las 22:00 a las 18:00 hrs. de Lunes a Sábado, los Domingos y días feriados solo están integrados por periodo de base.

*kVA*: kilovolts-ampere

*kVAR*: kilovolt-amperes reactivos

Multa o bonificación por factor de potencia. El consumidor debe asegurar que el factor de potencia no sea menor al 90% bajo el riesgo de hacerse acreedor a una multa. Así mismo si el factor de potencia es superior al 90% recibirá una bonificación.

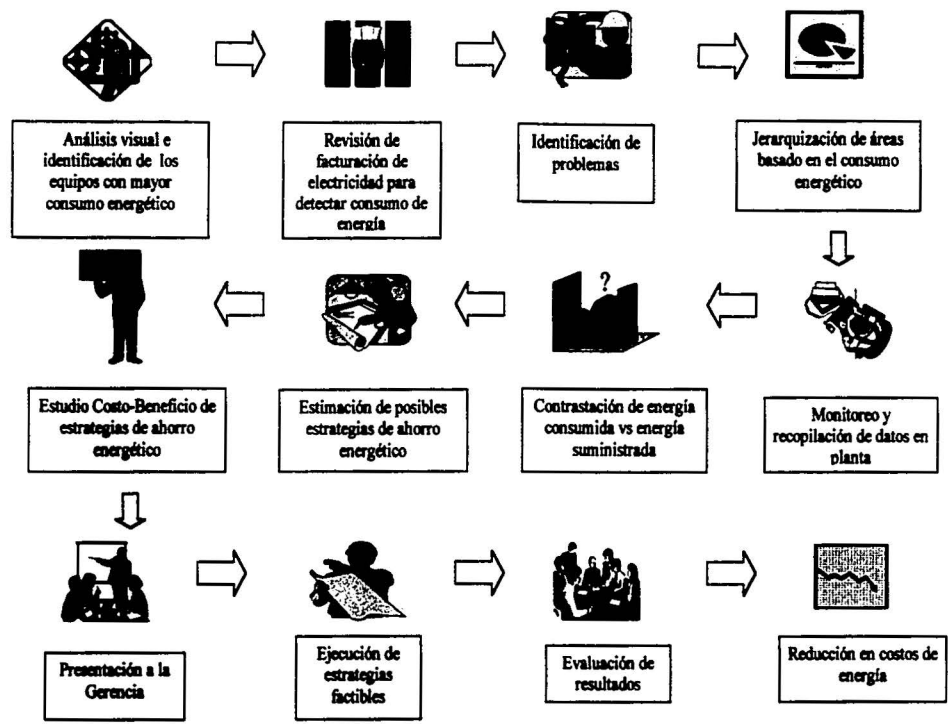
#### REFERENCIAS

1. CONAE (1995a). Perfiles energéticos de la Industria Química y Alimentaria. En conjunto con la Comisión de la Unión Europea. México. 85 pp.
2. CONAE (1995b). Seminario de Ahorro de Energía. Memoria. México. 299 pp.
3. FIDE (1995a). Elementos básicos de un diagnóstico energético orientado a la aplicación de un programa de ahorro de energía. México. 10 pp.
4. FIDE (1995b). Recomendaciones para el ahorro de energía en motores eléctricos. México. 10 pp.
5. Dossat, R.J. (1997). Principios de Refrigeración. 4a ed. Ed. CECSA, México, D.F.
6. Cleland, A.C. & Cleland, D.J. (1996). Cost-effective refrigeration. Memorias de curso. Massey University, New Zealand.
7. Sitio web de CONAE: <http://www.conae.gob>

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

UNA TESIS NO SE APTA  
POR LA RINNOLOGIA 19

Figura 1. Etapas de una Auditoria Energética



**Tabla 1.**

**FALLAS QUE OCASIONAN PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN FORMA DIRECTA<sup>1</sup>**

<b>FALLA<sup>1,2,3</sup></b>	<b>CAUSAS POSIBLES</b>	<b>EFFECTOS</b>
El motor no arranca	-fusibles fundidos -falta de corriente -caída de voltaje y frecuencia -carga excesiva -motor mal conectado	Desperdicio de energía al no haber transformación de energía eléctrica en energía mecánica, por ende no hay trabajo de compresión, transporte de fluidos y/o aire.
El motor tarda en alcanzar su vel. normal	-colector sucio o rayado -voltaje bajo -bobinas de rotor comunicadas -la frecuencia de la corriente no responde a la del motor.	Se presenta un par de arranque alto (energía necesaria para vencer la fuerza estática) por lo que el consumo de energía inicial es alto.
El motor se calienta en exceso	-caída o exceso de voltaje  -conexiones defectuosas o equivocadas  -falta de una fase y el motor trabaja en monofásico.	Cuando hay un alto voltaje se produce un desperdicio de energía en la operación de los equipos, causando un calentamiento que puede provocar que los equipos se quemen debido a que no hay transformación de la energía eléctrica.
Motor quemado	Cualquiera de las condiciones anteriores durante un tiempo prolongado puede llegar a causar la inutilización total del motor y por consecuencia quemarlo.	Simplemente no se produce ningún trabajo mecánico y toda esa energía que llega al motor es desaprovechada.
La válvula term. eléctrica no abre	-Frecuencia de voltaje baja  -Conexiones eléctricas defectuosas	No hay expansión y por lo tanto no hay alimentación de refrigerante hacia el evaporador provocando sobrecalentamiento y que los gases succionados que llegan al compresor provocan una temperatura de descarga alta.
La válvula term. eléctrica no cierra	-está cortocircuitada no sirve el sensor o bobina electromagnética	Baja temperatura de evaporación Sobre-alimentación y posible entrada de líquido al compresor, provocando que se desviele.

<sup>1</sup> Como puede observarse todas las fallas producen un mismo efecto; consumos elevados de energía eléctrica; en los últimos dos casos cuando hay una frecuencia baja de voltaje, no funciona la válvula, pero si se hace una sumatoria de la energía consumida es mayor a la que en un inicio era la necesaria.

**Tabla 2.**

<b>FALLAS QUE OCASIONAN PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN FORMA INDIRECTA</b>		
<b>FALLA<sup>1,2,3</sup></b>	<b>CAUSAS POSIBLES</b>	<b>EFFECTOS</b>
Fugas de refrigerante	-Ruptura de tuberías  -Mala unión de tuberías  -Coples o juntas erosionadas	Si se encuentra en la parte baja del sistema, cuando el compresor opera a una presión menor a la atmosférica, la humedad del aire se verterá en el sistema. El aire se puede extraer pero la humedad que entra al sistema puede causar daño un permanente lo que haría necesario cambiar el compresor.
Baja o alta alimentación al evaporador	-Mala ubicación del bulbo -Sobrecarga de producto -Ajuste inapropiado de la válvula de exp. -Contacto inapropiado entre el bulbo y la línea de succión -Sobrecalentamiento inútil de los gases de aspiración	-Temperatura de evaporación baja -Baja producción frigorífica -Disminución en la eficiencia del evap. -Pérdida de producto
Falta de lubricación en compresores	Rozamiento de las partes móviles del compresor	Sobrecalentamiento de los gases aumentando la temperatura de descarga y el calor a retirar por el condensador.
Bajo rendimiento en condensador y evaporador	Incrustación de sales, adhesión de aceite a las paredes de los tubos, bajo flujo de agua en condensador	Disminución en el coeficiente de transferencia de calor y disminución en la superficie de contacto.
Ruptura de barrera de vapor	Perforación en paredes de las cámaras frigoríficas	Entrada de humedad provocando la formación de escarcha y con ello fugas de calor y mal control de la temperatura.
Fugas de energía térmica	Mal aislamiento de cámaras y tuberías	Desperdicio de energía eléctrica al reducirse la producción frigorífica y necesitar un mayor flujo de refrigerante.

**TABLA 3.****Tarifa Eléctrica OM por Región**

Región	Cargo por KW de Demanda Max. Medida	Cargo por KWCh de energía consumida
Baja California	\$41.025	\$0.31267
Baja California Sur	\$44.629	\$0.38093
Baja California Sur (verano)	\$50.101	\$0.51330
Noroeste	\$45.712	\$0.34665
Central	\$51.209	\$0.38283
Noreste	\$47.073	\$0.35385
Norte	\$47.284	\$0.35653
Peninsular	\$52.880	\$0.38521
Sur	\$51.209	\$0.36883

Nota: las cuotas indicadas se determinan conforme a lo dispuesto en el Acuerdo de Autorización de ajuste y modificación, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de Diciembre de 1998. Tomado del sitio web de la CONAE: <http://www.conae.gob/precios/>

**Tabla 4.****Tarifa Eléctrica HM por Región**

Región	Cargo por KW de demanda Fact.	Cargo por KWh de energía de punta	Cargo por KWh de energía intermedia	Cargo por KWh de energía de base
Baja California	\$ 76.540	\$ 1.04604	\$ 0.28948	\$ 0.22784
Baja California Sur	\$ 73.523	\$ 0.83944	\$ 0.40153	\$ 0.28440
Central	\$ 53.071	\$ 1.00239	\$ 0.32073	\$ 0.26784
Noreste	\$ 48.779	\$ 0.92616	\$ 0.29785	\$ 0.24930
Noroeste	\$ 92.149	\$ 0.88738	\$ 0.31789	\$ 0.25569
Norte	\$ 48.996	\$ 0.93295	\$ 0.30058	\$ 0.24456
Peninsular	\$ 54.798	\$ 1.04867	\$ 0.33603	\$ 0.25769
Sur	\$ 53.071	\$ 0.98171	\$ 0.30668	\$ 0.25475

Nota: las cuotas indicadas se determinan conforme a lo dispuesto en el Acuerdo de Autorización de Ajuste y Modificación, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de Diciembre de 1998. Tomado del sitio web de la CONAE: <http://www.conae.gob/precios/>

<b>Tabla 5. Municipios Comprendidos en las Regiones de Tarifas Eléctricas</b>	
<b>REGION</b>	<b>ESTADOS Y MUNICIPIOS</b>
<b>BAJA CALIFORNIA</b>	- Todos los municipios del estado de Baja California - Municipios del Estado de Sonora, San Luis Río Colorado
<b>BAJA CAL. SUR NOROESTE</b>	- Todos los municipios del Estado de Baja California Sur - Todos los municipios del Estado de Sonora excepto los de Baja California - Todos los municipios del Estado de Sinaloa
<b>NORTE</b> Sombrerete, Mazapil,	- Todos los municipios de los Estados de Chihuahua y Durango. - Municipios del Estado de Zacatecas: Calchihuites, Jimenez del Tétel, Sáin Alto, Jerez, Juan Aldama, Río Grande, General Francisco Murguía, Melchor O. - Municipios del estado de Coahuila : Torreón, San Pedro de las Colonias, Matamoros, Viesca, Parras de la Fuente, Ocampo, Sierra Mojada.
<b>NOROESTE</b>	- Todos los municipios de los Estados de Nuevo León y Tamaulipas - Todos los municipios de Coahuila excepto los comprendidos en el Norte - Municipios del Estado de Zacatecas: Concepción del Oro y el Salvador - Municipios del Estado de l Estado de San Luis Potosí: Vanegas, Cedral, Cerritos, Guadalcazar,, Ciudad Fernandez, Rioverde, San Ciro de Acosta, Lagunillas, Santa Catalina, Rayón, Cárdenas, Alaquines, Ciudad del Maíz, Ciudad Valles, Tamazopo, Aquismon, Axtla de terrazas, Tamazunchale, huehuetlán, Tamuín, Tancahuitz, Tanlajas, Sna Antonio, Coscatlán, Tampamolón, Sna Vicente, Ebano, Xilitla.
<b>CENTRAL</b>	- Todas las Delegaciones del Distrito Federal - Municipios del Estado de México: Tultepec, Ixtapaluca, Chalco, Huixquilucan, San Mateo Atenco, Atizapan, Cuautitlan, Coacalco, Ecatepec, Tlalnepantla, etc - Municipios del Estado de Morelos: Cuernavaca
<b>SUR</b>	- Todos los municipios de los Estados de: Nayarit, Jalisco, Colima , Michoacán, Aguascalientes, Guanajuato, Queretaro, Hidalgo, Guerrero, Tlaxcala, Puebla, Oax. Chiapas, Tabasco. Todos los municipios de los Estados de: Zacateca, Sa n Luis Potosí y Veracruz no Comprendidos en el Norte o Noreste - Todos los municipios del Estado de México y Morelos no comprendidos en el Centro.
<b>PENINSULAR</b>	- Todos los municipios de Yucatán, Campeche y Quintana Roo