



Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional
El Pueblo, Presidente!

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS



Lider en Ciencia y Tecnología



Guía de Eficiencia Energética

Promoviendo
Competitividad y
Responsabilidad Ambiental

Motiva



La Iniciativa Nórdica para el Cambio Climático (NCF) es financiada por el Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF) en implementación conjunta con la Corporación Financiera Nórdica de Ambiente (NEFCO)

Contenido

NOMENCLATURA	4
CONVERSIONES	5
PRESENTACIÓN DE LA GUÍA	6
INTRODUCCIÓN	6
ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA	8
OPCIONES DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA	9
I. AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN	9
1.1 REDUCIR EL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE CUANDO NO SE TRABAJA	9
1.2 SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN DE BAJA EFICIENCIA POR EQUIPOS DE ALTA EFICIENCIA	10
1.3 EVITAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEBIDO A LAS INFILTRACIONES	12
1.4 SUGERENCIAS SOBRE EL USO DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO	14
II. MOTORES ELÉCTRICOS	15
2.1 SUSTITUCIÓN DE MOTORES CON BAJO FACTOR DE CARGA POR MOTORES MÁS EFICIENTES	15
2.2 CAMBIO DE MOTOR DE EFICIENCIA ESTÁNDAR A UNO CON EFICIENCIA PREMIUM ...	17
2.3 SUGERENCIAS EN EL USO EFICIENTE DE MOTORES ELÉCTRICOS	18
III. ILUMINACIÓN	19
3.1 ELIMINAR ALUMBRADO INNECESARIO	19
3.2 REDUCCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA AL SUSTITUIR LÁMPARAS TECNOLOGÍA T12 POR T821	
3.3 SUGERENCIAS EN EL USO EFICIENTE DE ILUMINACIÓN	22
IV. SISTEMAS DE VAPOR	23
4.1 RECUPERAR CALOR POR AISLAR TUBERÍA DEL SISTEMA DE VAPOR	23
4.2 AISLAR EL TANQUE Y TUBERÍA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS	25
4.3 RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS AL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA	26
4.4 EVITAR FUGAS DE VAPOR	28
4.5 RECUPERACIÓN DE CALOR DE LOS GASES DE INCINERACIÓN	29
4.6 USO DE INYECCIÓN DIRECTA DE VAPOR PARA CALENTAR AGUA	30
4.7 SUGERENCIAS EN EL USO EFICIENTE EN SISTEMAS DE VAPOR	32

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

V.	AIRE COMPRIMIDO.....	32
5.1	BAJAR LA PRESIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO AL NIVEL MÍNIMO NECESARIO.....	32
5.2	ELIMINAR FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO	33
5.3	BAJAR LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SUCCIÓN.....	34
5.4	SUGERENCIAS DE USO EFICIENTE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO	35
VI.	CAMBIO DE TARIFA Y MANEJO DE CARGA.....	36
6.1	USO PROGRAMADO DE EQUIPO ELÉCTRICO PARA DISMINUIR LAS MÁXIMAS O DE PICO	36
6.2	CAMBIO TARIFARIO.....	41
6.3	SUGERENCIAS EN ADMINISTRACIÓN DE CARGA Y TIPO DE TARIFA.....	42
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
	ANEXOS	43
	Anexo 1. Determinación del SEER.....	43
	Anexo 2: Pérdidas de calor en tuberías.....	43
	Anexo 3. Tabla de propiedades termodinámicas del agua.....	44

NOMENCLATURA

1. BTU: Unidad térmica británica.
2. *C*: Coeficiente de descarga de orificio
3. cfm: pie cúbico por minuto
4. C_p : calor específico a presión constante (kJ/kg°C)
5. EER: (Energy Efficiency Ratio) : Índice de eficiencia energética.
6. FB: factor por balastro (lámparas fluorescentes)
7. FC: factor de uso: en las maquinas que funcionan con ciclos, sera el tiempo que pase encendido entre el tiempo total de medición.
8. FP: Factor de Potencia
9. ft/min: pie por minuto.
10. HP: Caballos de fuerza; Potencia Mecanica (P_M)
11. K: kilo o mil
12. Kcal: kilocaloría.
13. Kg: kilogramo
14. kilovatio: 1000 Watts: 1000 Joules/segundos
15. kW: Potencia Eléctrica (P_E)
16. kWh: Energía, kilovatio hora.
17. M: MEGA o Millón.
18. m^3 /min: metro cúbico por minuto
19. η : eficiencia
20. P: presión absoluta (psia: libra fuerza sobre pulgada cuadrada).
21. P: presión manométrica (psig: libra fuerza sobre pulgada cuadrada).
22. Potencia específica: kW/TR
23. q: velocidad de transferencia de calor. BTU/hora; kcal/hora; kJ/seg
24. scfm: pie cubico estándar por minuto
25. SEER: (Seasonal Energy Efficiency Ratio): Índice de eficiencia energética estacional
26. T: temperatura (°C: grados Celsius, K: grados Kelvin, °F: grados Fahrenheit, R: grados Rankine)
27. Tsat: temperatura de saturación
28. \emptyset : Diametro
29. Δ : delta o diferencia

CONVERSIONES

Potencia:

1 kW=1000 W=1.341 hp=3412.14
BTU/hora

Energía

1 kWh=3600 kJ=3412.12 BTU

Presión:

1 psi=6.9 kPa
1 atm=14.7 psia=101.3 kPa

Calor específico:

1 BTU/lbm°F= 4.19 kJ/kg°C

Longitud:

1 m=100 cm=39.37 in = 3.2808 pie
1 pie=12 pulg

Masa:

1kg=2.2 lbm

Temperatura:

$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$

$\Delta T(K) = \Delta T(^{\circ}C)$

$T(R) = T(^{\circ}F) + 459.67$

$\Delta T(R) = \Delta T(^{\circ}F)$

PRESENTACIÓN DE LA GUÍA

El presente manual es el resultado de una recopilación de resultados y experiencias obtenidas en la realización de 15 auditorías energéticas a empresas pertenecientes al sector industrial, comercio, y de servicio, y a instituciones de Gobierno.

Se pretende que esta guía sirva de herramienta en la evaluación de oportunidades de ahorro y uso eficiente de la energía más comunes presentados en los casos evaluados, de forma sencilla y práctica.

Para esto, se dividió las diferentes oportunidades por sistemas energéticos, los cuales fueron los más representativos dentro de las empresas e instituciones evaluadas. Estos sistemas consumidores están divididos en: Aire acondicionado, Motores eléctricos, Iluminación, Sistemas de vapor, Sistemas de aire comprimido, y Cambio de tarifa y manejo de carga.

El cálculo de las oportunidades de ahorro y uso eficiente de la energía desarrolladas a lo largo del documento, muestran un caso hipotético actual, la descripción de lo que se propone, memoria de cálculo, resultados de ahorro, y sugerencias de ahorro y uso eficiente de la energía para cada uno de los sistemas consumidores.

INTRODUCCIÓN

Debido a los efectos del cambio climático y los retos que este impone para su mitigación, los temas de eficiencia energética son prioridad para dar solución a estos asuntos, además de ofrecer una seguridad energética nacional.

El alza de los precios de las materias primas energéticas en el 2008 puso de manifiesto la vulnerabilidad de algunas economías y la necesidad de impulsar la eficiencia y el ahorro energético que, además, se constituye como un instrumento que ofrece nuevas oportunidades de negocio y empleo.¹

La energía es cada vez más cara. El balance entre su creciente demanda y su disponibilidad continuará elevando su costo a mayores niveles. Se ha demostrado repetidas veces que las medidas de uso racional de energía o de conservación de esta, puede reducir el uso en un

¹ Fuente: La eficiencia energética: análisis empírico y regulatorio (DT) Gonzalo Sáenz de Miera y Miguel Ángel Muñoz. Rodríguez Economía y Comercio Internacional Real Instituto Elcano.

15%. Más aún, si al ahorrar la energía puede mantener la producción a pesar de la reducción del consumo por líneas de procesos o aumentar la producción pese a las reducciones de consumo, el efecto sobre producción y beneficios es obvio.

Según el Informe Mundial de Energía 2009 de la ONU, el aumento de la eficiencia energética y las tecnologías limpias permitirán que la cantidad de energía primaria requerida para un servicio dado pueda ser reducida, de forma rentable, entre un **25%** hasta un **45%** del consumo para los próximos **20 años** en países en desarrollo. Nicaragua al **2012** presenta, la intensidad energética más alta de la región centroamericana: **3 BEP²**, demandando más energía por cada mil dólares de Producto Interno Bruto (PIB) que la mayoría de los países vecinos con niveles de desarrollo similar.³

El incremento de la productividad de las **Pequeñas y Medianas empresas (PYME)**, las cuales representan aproximadamente el **90%** en Nicaragua y contribuyen alrededor del **40%** del Producto Interno Bruto; no sólo es pertinente, sino crucial, para el fortalecimiento económico, ambiental y social del país.⁴ No obstante, la baja capacidad creada en eficiencia energética y la aplicación de tecnologías obsoletas en las empresas PYME, han ocasionado pérdidas a los diferentes sectores productivos debido a los costos de los recursos energéticos.

En estas circunstancias, surge la oportunidad de implementar medidas de **ahorro y eficiencia energética** en las empresas nicaragüenses. La transferencia e implantación de **prácticas sobre eficiencia energética** en la pequeña y mediana industria requiere de capacidades técnicas, instrumentos de promoción y de inversiones, especialmente en los países de economías emergentes y con poco acceso a la información, como el nuestro.

El presente documento recopila parte de la experiencia del Centro de Producción más Limpia de Nicaragua (**CPmL-N**) en la implementación de prácticas de eficiencia energética en la pequeña y mediana industria nacional. Esta selección de opciones tiene como objetivo brindar a las empresas un conjunto de medidas que ya han sido implementadas y monitoreadas en la práctica, y al presente continúan brindando beneficios ambientales y económicos a las empresas y a la sociedad.

Además, esta guía de eficiencia energética está dirigida a todas aquellas personas que estén relacionadas al desempeño productivo y ambiental de las pequeñas y mediana empresas; gerentes de producción, gerentes de planta, responsable de mantenimiento y personal

² Cantidad de energía requerida para producir 1000 dólares del PIB.

³ Fuente: Ministerio de Energía y Minas, La eficiencia energética en Nicaragua 2009.

⁴ Plan Nacional de Desarrollo Operativo 2005-2009.

técnico, así como también a responsables de capacitación y consultores en el área energética.

ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA⁵

El establecimiento de un Sistema de Administración de la Energía es definido según **La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)**, como la implementación de las medidas que optimizan el uso de la energía, mejorando (sin afectar) la operación del proceso o el confort de la instalación.

Para implementar programas en el ahorro y uso eficiente de la energía dentro de una empresa o institución, el primer paso consiste en lograr que el **personal se involucre directamente en las iniciativas energéticas**, sensibilizándolos de esta forma en los beneficios del buen manejo de los recursos energéticos. Asimismo se recomienda realizar las siguientes actividades:

1. Identificar las fuentes de energía que utiliza la empresa o institución
2. Monitorear y registrar los consumos de los recursos energéticos
3. Organizar y sistematizar la información
4. Identificar y poner en marcha proyectos para el uso eficiente de la energía en la empresa

Una vez establecidas las bases para la implementación de un programa en eficiencia energética se propone realizar un **diagnóstico** del estado actual de la gestión de la energía en la empresa o una **auditoría energética**. Ver la figura 1.

¿Qué es una auditoría Energética?⁶

Es un estudio que permite determinar dónde y cómo se utiliza la energía. Se identifican los puntos del diagrama de proceso de mayor uso de energía haciendo resaltar aquellos donde esta se desperdicia y aquellos en donde es posible generar algún ahorro. Con el único objetivo de utilizarla racional y eficientemente y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de incorporar una evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir el costo de la energía de manera rentable sin afectar la cantidad y calidad de su producto.

⁵ Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), octubre del 2003.

⁶ Metodología de una auditoría energética CYTES.

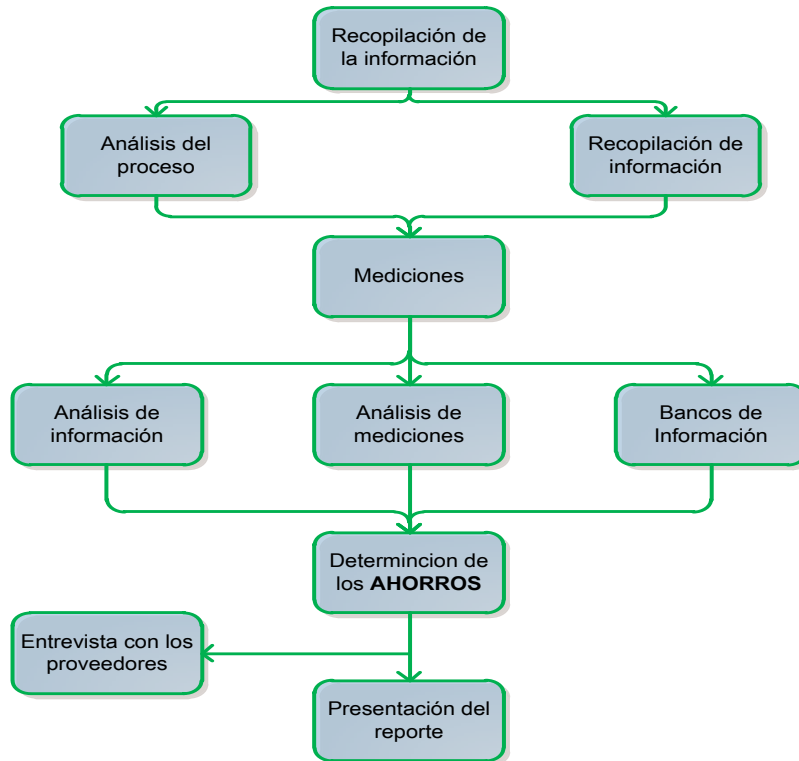


Figura 1: Diagrama de flujo de una auditoría energética

OPCIONES DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

I. AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN

1.1 REDUCIR EL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE CUANDO NO SE TRABAJA

Caso Base: En una fábrica manufacturera donde se utiliza el aire acondicionado (AA) de forma continua, se obtuvieron ahorros considerables al eliminar el clima artificial cuando éste no era indispensable. La potencia instalada por climatización es de 236 kW y trabaja 6,000 horas al año.

Caso Propuesto: El aire acondicionado se desconectaba por las tardes, al terminar las labores. La temperatura interior aumentaba paulatinamente por las

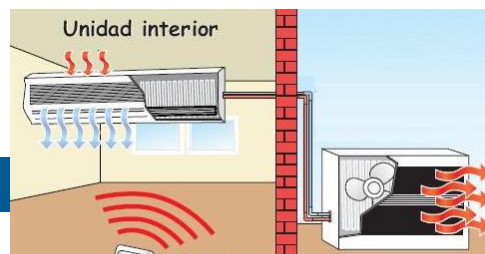


Ilustración 1: Sistema de control de AA.

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

tardes, debido al calor retenido en las paredes, llegando a su máximo alrededor de las 23 horas, a partir de entonces comenzaba a disminuir por la baja temperatura nocturna. A las 8 de la mañana, el aire en los locales tenía una temperatura adecuada para desarrollar las labores, ya que a esa hora empezaban a funcionar los aires acondicionados.

La reducción del acondicionamiento de aire trae como consecuencia un ahorro de 826,000 kWh de energía eléctrica durante la temporada en que se requiere el servicio. El costo de la energía es de US\$/kWh 0.19.

Tabla 1: Beneficios económicos.

<i>Consumo de energía actual</i>	$=236 \text{ kW} \times 6,000 \text{ horas/año}$ $=1,416,000 \text{ kWh/año}$
<i>Consumo de energía propuesto</i>	$=236 \text{ kW} \times 2500 \text{ horas/año}$ $=590,000 \text{ kWh/año}$
<i>Ahorro de energía</i>	$=1,416,000 - 590,000$ $=826,000 \text{ kWh/año}$
<i>Beneficio Económico</i>	$=826,000 \text{ kWh/año} \times 0.19 \text{ US\$/kWh}$ $=156,940 \text{ US\$/año}$

Esta oportunidad de ahorro no necesita de inversión, se trata solamente de ocupar el sistema de climatización cuando realmente se necesite, en este caso se lograron bajar las horas de ocupación del sistema en un 41.7%. Además del ahorro en el consumo energético, se percibe una disminución en los (GEI) de **437,780 kg de CO₂**, principal responsable los cambios climáticos.

1.2 SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN DE BAJA EFICIENCIA POR EQUIPOS DE ALTA EFICIENCIA

Caso Base: Una empresa cuenta con un aire acondicionado de 18,000 BTU/hora de capacidad de enfriamiento, que trabaja **2880 horas al año**. Se estima un factor de uso del equipo de 65% ya que

son equipos de refrigeración que tienen pausas en su operación normal para mantener la temperatura programada. Se realizó la medición de la potencia eléctrica consumida por el equipo, lo cual fue de 2.13 kW.



Caso Propuesto: Se propone el cambio de este aire acondicionado por uno de mayor eficiencia, se recomendó un aire acondicionado de SEER 18. El SEER⁷ determina el desempeño energético global de un equipo de aire acondicionado para períodos climáticos en que se requiera un enfriamiento del aire, principalmente la estación de verano. Por este motivo las condiciones de

⁷ Cita tomada de la dirección electrónica:

http://www.energystar.gov/index.cfm?c=airsrc_heat.pr_crit_as_heat_pumps

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

operación bajo las cuales es determinado varían considerablemente con respecto al EER. Se determina de la siguiente manera:

$$SEER = \frac{Q_{CE}}{P_E}$$

Donde,

Q_{CE} : es la potencia de enfriamiento estacional en BTU/h

P_E : es la potencia eléctrica consumida por el equipo (kW)

Se calcula el SEER actual del equipo analizado de la siguiente forma:

$$SEER = \frac{18,000 \text{ BTU/h}}{2130 \text{ W}} = 8.45$$

El equipo propuesto demanda una potencia de:

$$W = \frac{Q_C}{SEER} = \frac{18,000 \text{ BTU/h}}{18 \frac{\text{BTU}}{\text{Wh}}} = 1000 \text{ Watts} = 1 \text{ kW}$$

Tabla 2: Cálculos de los beneficios.

Actual	
Capacidad (BTU/hora)	18000
horas al año	2880
Factor de uso	67%
Potencia Medida (P_A)	2.13
Consumo del AA (C_A)	4,090
SEER (BTU/kWh)	8.45
Propuesto	
Capacidad (BTU/hora)	18000
horas al año	2880
Factor de uso	67%
SEER	18
Potencia (P_P)	1
Consumo del AA (C_P)	1920
Energía ahorrada al año ($C_A - C_P$) (kWh)	2169.6
Ahorro de potencia al mes ($P_A - P_P$) (kW)	1.13

Beneficio Ambiental kg de CO ₂	1150
---	------

$$\text{Beneficios Economicos} = \left(\frac{kWh}{\text{año}} \text{ ahorrados} \times \frac{US\$}{kWh} \right)^8 + \left(\frac{kW}{\text{mes}} \text{ ahorrados} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \times \frac{US\$}{kW} \right)^9$$

$$\text{Beneficios Economicos} = \left(2170 \frac{kWh}{\text{año}} \times 0.19 \frac{US\$}{kWh} \right) + \left(1.13 \frac{kW}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \times 23.31 \frac{US\$}{kW} \right) = 740.5 \text{ US\$/año}$$

1.3 EVITAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEBIDO A LAS INFILTRACIONES

Un edificio cuenta con un sistema de climatización para el confort de sus ocupantes. La característica de este edificio es que las ventanas son de paleta y se encuentran en mal estado, teniendo fisuras y permitiendo la entrada de aire caliente. Esto provoca que el compresor del sistema de climatización de 24,000 BTU/hora y SEER 10, trabaje más, ya que, tendrá que disminuir la temperatura a todo el aire caliente que se infiltra debido a las rendijas de las ventanas de paleta.

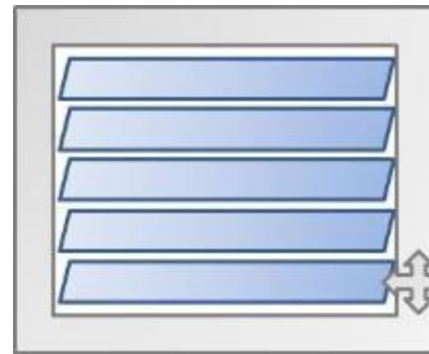


Ilustración 3: ventanas de paleta

Existen **15 ventanas** con **13 infiltraciones** cada una, debido a las paletas que tienen rendijas con **55 cm de largo y 1 cm de alto**. La temperatura exterior es de 90°F y la interior es de 74°F, en flujo de aire infiltrado es de **3.06 pie³/min**, el compresor trabaja 2880 horas al año.

⁸ 0.1953 US\$/kWh

⁹ 0.2356 US\$/kW

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times \Delta T$$

Dónde:

CFM: flujo (pie^3/min)

ΔT : diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$)

Y el calor sensible producto de la infiltración será igual a

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times \Delta T = 1.1 \times 3.06 \text{pie}^3/\text{min} \times (90^{\circ}\text{F} - 74^{\circ}\text{F})$$

$$Q_s = 53.85 \text{ BTU/h}$$

Cada rendija estará perdiendo **53.85 BTU/h**.

Siendo **13** paletas que provocan la infiltración el calor sensible será igual a

$$= (53.85 \text{ BTU/h}) (13 \text{ infiltraciones}) (15 \text{ ventanas}) = 10,501.92 \text{ BTU/h.}$$

Sabiendo que la eficiencia del ciclo de refrigeración, podríamos saber cuántos kWh invertidos en la climatización del aire se están fugando por las infiltraciones.

Si el Aire Acondicionado es de 24,000 BTU/h y es de SEER 10.

El cálculo de la energía consumida será así:

$$SEER = \frac{Q}{P_e} = 10$$

$$P_e = \frac{Q}{SEER} = \frac{10,501.92 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{10} = 1050.19 \text{ W} = 1.0519 \text{ kW}$$

Sabiendo que el compresor trabaja 2880 horas al año.

$$\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \text{ ahorrados} = (1.0519 \text{ kW}) \left(2880 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) = 3030 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Los ahorros energéticos serían iguales a 3030 kWh al año los beneficios económicos serán iguales a **US\$ 574.66 al año**¹⁰.

Eliminando infiltraciones, el compresor no tiene que enfriar el aire caliente que está siendo infiltrado, se reducen las horas de operación del compresor y por ende el consumo. Además se percibe una disminución en los gases de efecto invernadero (GEI) de **1, 603 kg de CO₂**, principal responsable los cambios climáticos.

¹⁰ 0.19 US\$/kWh

1.4 SUGERENCIAS SOBRE EL USO DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

- Apagado del aire acondicionado después de la jornada laboral. Programar los equipos del tipo “split” para que enciendan media hora después de la llegada a la oficina.
- Realizar tareas de mantenimiento y limpieza de filtros en los equipos de aire acondicionado.
- El trabajo del compresor se disminuirá si se baja la temperatura del condensador. Muchas veces estos quedan expuestos a la intemperie, encima de techos directamente expuestos a la radiación solar, provocando una alta temperatura con efectos negativos en el desempeño del ciclo de refrigeración. Se recomienda instalar estas unidades bajo sombra en donde se encuentren a una temperatura cercana a la del ambiente en donde su desempeño sea óptimo.

En la siguiente tabla se muestra los efectos que tienen la temperatura del condensador y el evaporador en el desempeño de la máquina.

Tabla 3: Efectos que tiene en el desempeño del equipo la temperatura del condensador y el evaporador.

Temperatura del evaporador (°C)		Temperatura del condensador (°C)			
		+35	+40	+45	+50
+5	Capacidad (TR)	151	143	135	127
	Potencia	94	102.7	110.6	117.8
	Potencia específica (kW/TR)	0.62	0.72	0.82	0.93
0	Capacidad (TR)	129	118	111	104
	Potencia	90	96.8	103	108.9
	Potencia específica (kW/TR)	0.7	0.82	0.93	1.05
-5	Capacidad (TR)	103	96	90	84
	Potencia	84.2	89.6	94.7	99.4
	Potencia específica (kW/TR)	0.82	0.93	1.05	1.18

Analizando la potencia específica, entre más pequeño sea el número resultante de la relación, menos potencia eléctrica usará, es decir que entre mayor sea la temperatura del evaporador, digamos +5°C y la temperatura del condensador a +35°C nos dará la relación más baja equivalente a 0.62 kW/TR. A medida que bajemos la temperatura del evaporador o subamos la temperatura del condensador, esta relación tiende a crecer, volviendo menos eficiente el desempeño.

Por esto se recomienda subir la temperatura del evaporador hasta la temperatura de confort recomendada de **24°C** (la regulación del evaporador se encuentra en termostato de estos equipos).

Por regla de dedo, se estima que por un aumento en 1° C de la temperatura de evaporación, la potencia específica (kW/TR) se reduce hasta entre un 2% y 3%.¹¹

II. MOTORES ELÉCTRICOS

2.1 SUSTITUCIÓN DE MOTORES CON BAJO FACTOR DE CARGA POR MOTORES MÁS EFICIENTES

Caso actual: En una empresa de productos agrícolas se encontró que hay motores sobredimensionados, que están funcionando a factores de carga por debajo del 75%. Dos motores de 3HP y uno de 5HP.

En la tabla 5 se presenta la eficiencia de los motores para distintos factores de carga de operación. Tomando en cuenta la eficiencia y la disponibilidad del equipo en el mercado se recomienda adquirir un equipo con un factor de carga entre el 50 y 80%.



Ilustración 4: Motores eléctricos trifásicos

Tabla 4: Valores de eficiencia según el porcentaje factor de carga

Potencia del motor (HP)	Factor de carga			
	25%	50%	75%	100%
1	39	59	69	72
2	41	61	73	74
3	48	64	75	77
5	51	67	78	78
10	55	69	79	79
15	56	70	81	80
20	63	77	85	83
25	68	85	89	87

Para calcular el factor de carga se utiliza la siguiente ecuación:

¹¹ Cita tomada de la dirección electrónica del “Bureau of Energy Efficiency”: http://beeindia.in/content.php?page=miscellaneous/useful_download.php

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

$$FC = \frac{P_r}{P_n}$$

donde:

FC : Factor de carga

P_r : Potencia real (kW, W)

P_n : Potencia nominal del motor (HP, kW)

$$2. \quad FC = \frac{0.67kW}{2.24kW} = 0.299$$

$$3. \quad FC = \frac{1.16kW}{3.73kW} = 0.31$$

$$1. \quad FC = \frac{0.87kW}{2.24kW} = 0.388$$

Caso Propuesto: Se recomienda la sustitución de los motores sobredimensionados para garantizar un factor de carga entre 75 y 80%. Para determinar la potencia requerida se puede determinar de dos formas:

Forma 1:

$$P_n = \frac{P_e}{FC}, \text{ donde:}$$

P_n : Potencia del motor propuesto (HP, kW)

P_e : Potencia del eje de la máquina (HP, kW)

$$1. \quad P_n = \frac{0.87kW}{0.80} = 1.08kW = 1.44HP$$

$$2. \quad P_n = \frac{0.67kW}{0.80} = 0.84kW = 1.12HP$$

$$3. \quad P_n = \frac{1.16kW}{0.80} = 1.45kW = 1.94HP$$

Se recomienda sustituir los dos de 3HP por dos motores de 1.5HP, y el de 5HP por uno de 2 HP. Para calcular el ahorro de acuerdo a la eficiencia, se determina con los aproximados de la tabla 5:

$$\text{Ahorro estimado} = P_n \times FC \times \left(\frac{100}{\eta_a} - \frac{100}{\eta_n} \right)$$

Se estiman las eficiencias del motor que se eliminó, con la tabla 5, la eficiencia con un $FC=75\%$ o 0.75 es de $\eta_n=75\%$ y eficiencia con un $FC=38.8$ o 0.388 es $\eta_a=64\%$ (estimado aproximado) y 3HP.

$$\text{Ahorro estimado} = 2.24kW \times 0.388 \times \left(\frac{100}{55} - \frac{100}{75} \right) = 0.42kW$$

$FC=0.299$ estimado $\eta_a=0.52$ y 3HP

$$\text{Ahorro estimado} = 2.24kW \times 0.299 \times \left(\frac{100}{52} - \frac{100}{75} \right) = 0.32kW$$

$FC=0.31$ estimado $\eta_a=55$ y 5HP

$$\text{Ahorro estimado} = 3.73kW \times 0.31 \times \left(\frac{100}{55} - \frac{100}{75} \right) = 0.56kW$$

Ahorro total en los tres motores retirados es 1.3 kW.

$$\text{Ahorro consumo} = 1.3kW * \frac{12h}{\text{dia}} * \frac{22\text{dia}}{\text{mes}} * \frac{12\text{mes}}{\text{año}} = 4,118kWh \text{ anual.}$$

Se obtiene ahorros económicos en base a la reducción de consumo de **4,118kWh anual**, que equivale a **\$823 anuales**. Además se percibe una disminución en los gases de efecto invernadero (GEI) de **2, 183 kg de CO₂**, principal responsable los cambios climáticos. La inversión es de \$1,557.4 y el período simple de recuperación es de 1.9 años.,

Nota: Hay que tomar en cuenta que la alternativa es factible si el factor de carga del motor actual es menor a 50%, y que funcione al menos 8 horas al día. Los motores retirados pueden ser utilizados en otras máquinas y usarlos en su factor de carga adecuado.

2.2 CAMBIO DE MOTOR DE EFICIENCIA ESTÁNDAR A UNO CON EFICIENCIA PREMIUM

Caso actual: Una empresa posee un motor de eficiencia estándar que trabaja 4, 500 horas año, con una potencia de 7.5 HP (5.6 kW) y eficiencia de 85.5% a plena carga.

Caso propuesto: Se propone realizar el cambio de este motor por uno de alta eficiencia de la misma potencia que trabaje las mismas horas con una eficiencia de 90.2% trabajando a plena carga.

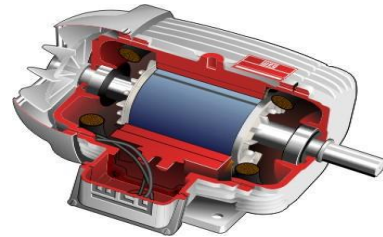


Ilustración 5: Motor eléctrico.

$$(n) = \frac{P_M}{P_E}$$

$$P_E = \frac{P_M}{n}$$

$$P_{E \text{ Actual}} = \frac{5.60}{0.855} kW = 6.54 kW$$

El motor estándar necesita un suministro de potencia de 6.54 kW para brindar una potencia mecánica de 7.5 HP (5.60 kW).

$$P_{E \text{ Propuesto}} = \frac{5.60}{0.902} kW = 6.21 kW$$

El motor estándar necesita un suministro de potencia de 6.21 kW para brindar una potencia mecánica de 7.5 HP (5.60 kW).

Tabla 5: Cálculo de los beneficios.

Motor Actual (estándar)	
Potencia Mecánica (HP)	7.50
P _A -Potencia Eléctrica (kW)	6.54
horas al año	4,500
Motor propuesto (PREMIUM)	
Potencia Mecánica (HP)	7.50
P _P -Potencia Eléctrica (kW)	6.20
horas al año	4,500
Ahorros	
Ahorro Energía ((P _A -P _P) x horas/año)	1534
Disminución en la demanda (P _A -P _P)	0
Beneficio Económico (US\$/año)	292 ¹²
Inversión (US\$)	800
PRS	3
Beneficio Ambiental (kg CO ₂ al año)	813

2.3 SUGERENCIAS EN EL USO EFICIENTE DE MOTORES ELÉCTRICOS

- Realizar un inventario de motores para identificar los de mayor potencia, consumo y uso, y analizar la posibilidad de sustitución y reordenamiento según requerimiento de los procesos.
- Sustituir o reubicar los motores que están trabajando a sobre carga o a un porcentaje menor al 40%.
- Contar con un programa de arranque de motores y maquinaria para evitar picos de demanda.
- Contar con un plan de mantenimiento preventivo.
- Corregir desbalanceo o diferencias de voltaje.
- Instalar equipos de control de la operación y variadores de velocidad.
- Instalar un banco de capacitores, controles de voltaje y mejorar las conexiones a tierra

¹² El costo del kWh es de **US\$/kWh 0.19**

- Alinear correctamente el motor y el equipo accionado.
 - Colocar controles de consumo.

III. ILUMINACIÓN

3.1 ELIMINAR ALUMBRADO INNECESARIO

Caso Actual: En una fábrica de fundas existe alumbrado innecesario que opera 8 horas por día, de lunes a viernes (250 días al año). Un total de 2200 lámparas fluorescentes de 110 watts. Debido a la poca iluminación de la planta estas pasan encendidas las 24 horas del día.



Ilustración 6: Lámparas fluorescentes

Caso Propuesto: Reducir las luces innecesarias cuidando los niveles de iluminación óptimos, únicamente para las horas laborales (10 horas diarias).

Tabla 6: Beneficios de la propuesta técnica

<i>Ahorro anuales de electricidad</i>	<i>= (24-10) hr/día x 250 días/año x 0.12 kW/lámpara x 2200 lámparas. =924 000 kWh/año.</i>
<i>Ahorros anuales en costos de electricidad</i>	<i>=924, 000 kWh/año x 0.19 US\$/kWh =175, 560 US\$/año</i>

Deben de agregarse a los costos de por concepto de reemplazo de lamparas, estos dependen, entre otras cosas, del ciclo de operación actual, los costos anuales por reemplazo de lamparas fluorecentes se calculan a como sigue:

$$\text{Costo anual} = (P + H) \times \left(\frac{cxd}{L} \right) \times n \text{ por reemplazo.}$$

Donde: P: precio de reemplazo de la lámpara.

H: costo de la mano de obra.

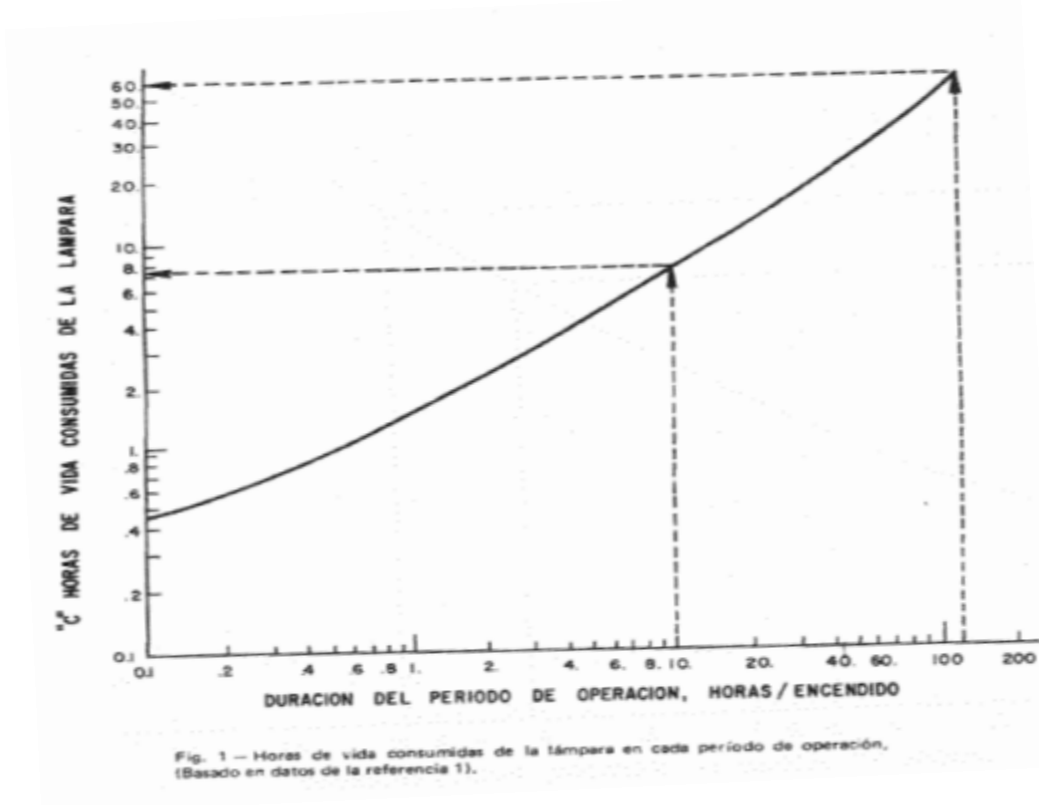
c: horas de vida de la lámpara por periodo de operación.

d: número de periodos de operación por año.

L: vida promedio de la lámpara.

N: número de lámparas.

Nos apoyamos en la siguiente gráfica para obtener los datos de C.



En este ejemplo se considera un costo de mano de obra de US\$ 2 por lámpara, con un precio de US\$ 3.50 por lámpara, una vida promedio de 12, 000 horas y como ya se mencionó, el número de lámparas “n” es de 2200.

El antiguo plan donde se tenía $5 \times 24 = 120$ h, de operación, se encuentra que $c = 60$ h, aproximadamente. Había 50 periodos de operación por año.

Tabla 7: Costo actual del replazo

Costo del replazo (viejo)	$= (2 + 3.5) \text{US\$} / \text{lámpara} * 60 \text{h} / \text{periodo} * 50 \text{periodos} * 2200 \text{lámparas} / 1200 \text{hr}$ $= 3,025 \text{US\$} / \text{año}$
---------------------------	---

Con un nuevo plan de 250 periodos de 10 horas cada uno, C es igual a 7.5

Tabla 8: costo del remplazo propuesto

Costo del remplazo (nuevo)	$= (2+3.5) \text{US\$/lámpara} * 7.5 \text{h/periodo} * 250 \text{periodos} * 2200 \text{lámparas} / 1200 \text{hr}$ $= 1,890.63 \text{ US\$/año}$
----------------------------	---

Beneficios	
Beneficio de la propuesta técnica. (US\$/año)	175560
Beneficio por el disminución del precio de remplazo (US\$/año)	1134
Beneficio total (US\$/año)	176694
Beneficios Económicos (kg CO ₂ anual)	489720

Además se percibe una disminución en los gases de efecto invernadero (GEI) de **489, 720 kg de CO₂**, principal responsable los cambios climáticos.

3.2 REDUCCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA AL SUSTITUIR LÁMPARAS TECNOLOGÍA T12 POR T8

Caso Base: En un edificio existen 229 lámparas de 40 W y tecnología T-12 que se encienden 2,640 horas al año. Esta tecnología se caracteriza por usar balastro electromagnético que demanda un 25% de potencia adicional.



Ilustración 7: Lámpara fluorescente.

La demanda de este sistema de iluminación es de:

$$kW \text{ totales} = \frac{\# \text{ de lámparas} * \text{potencia} * F_B}{1000}$$

$$kW \text{ totales} = \frac{229 * 40 * 1.25}{1000} = 11.45 \text{ kW}$$

El sistema estaría demandando 11.45 kW durante 2640 horas del año, es decir que consume

$$kWh \text{ al año} = \text{Potencia} * \text{horas de uso} = (11.45 \text{ kW})(2640 \text{ horas/año}) = \mathbf{30,228 \text{ kWh/año}}$$

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

Caso Propuesto: Se recomienda un cambio de iluminación de tecnología T-12, por lámparas de 32 Watts de tecnología T-8, que permiten mayor iluminación con menor consumo de energía y mayor vida útil reflejada en mayor cantidad de hora de trabajo. Este tipo de tecnología usa balastro electrónico y no demanda más potencia que lo nominal.

La demanda de este nuevo sistema será:

$$kW \text{ totales} = \frac{\text{número de lámparas} * \text{potencia} * F_B}{1000}$$

$$kW \text{ totales} = \frac{(229)*(32)*(1)}{1000} = 7.328 \text{ kW}$$

Trabajando en las mismas condiciones antes mencionadas, 2,640 horas al año que el sistema base, la energía consumida de este nuevo sistema será de 19,346 kWh al año.

$$kWh \text{ ahorrados} = kWh \text{ actuales} - kWh \text{ propuestos}$$

$$kWh \text{ ahorrados} = 30,228 \frac{kWh}{año} - \frac{19,346kWh}{año} = \mathbf{10,882} \frac{kWh}{año}$$

Se ahorrara por demanda y por consumo una cantidad de US\$ 4,087 y se dejará de emitir al ambiente una cantidad de **5768 kg de CO₂**.

Para adquirir este sistema nuevo de iluminación hará falta un inversión de US\$1,833 que se recuperar en periodo de 0.45 años.

3.3 SUGERENCIAS EN EL USO EFICIENTE DE ILUMINACIÓN

- Revisar el alumbrado y eliminar el innecesario, y cuando no se labore, mantener encendido solamente las luces necesarias por seguridad de la planta y el servicio de vigilancia.
- Sustituir focos o lámparas incandescentes por ahorrativos (LED, Fluorescentes T8, T5, entre otros).
- Evaluar la posibilidad de colocar láminas traslucidas o domos solares a fin de que se pueda aprovechar la luz natural.
- Tener un sistema de interruptores por sector o área para optimizar las horas de funcionamiento.
- Instalar equipos de control como: sensores de presencia, nivel de iluminación, equipo central programable.

IV. SISTEMAS DE VAPOR

4.1 RECUPERAR CALOR POR AISLAR TUBERÍA DEL SISTEMA DE VAPOR

Caso base: En una tubería de 100 metros de longitud, de 100 mm de diámetro y 25 mm de espesor se transporta vapor a una presión de 150 psig. La tubería está descubierta en un ambiente con una temperatura de 28°C. El sistema trabaja 16 horas por día durante 300 días por año. La caldera pirotubular trabaja con bunker, consume 300 l/h y tiene una eficiencia de 80%.

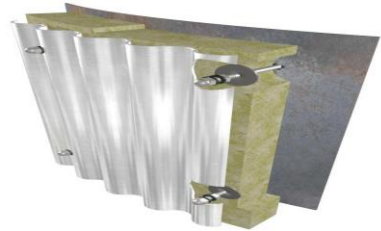


Ilustración 8: aislamiento

Caso propuesto: Aislar la tubería con aislamiento de una pulgada de espesor.

Pérdidas de calor en tuberías desnudas.

Ecuación de Langmuir

$$Q_{CA} = \{ 0.174 E [((T_S + 460) / 100)^4 - ((T_A + 460) / 100)^4] + 0.296 (T_S - T_A)^{5/4} * ((V + 68.9) / 68.9)^{1/2} \} A * H$$

Q_{CA} : Pérdida de calor en BTU

T_S : temperatura superficial de la tubería (°F)

T_A : Temperatura ambiente (°F)

V : Velocidad del viento (pie/min)

E : Emitancia, para tubería de hierro, $E =$

0.94

A : Área del tubo más la de los accesorios pie²

H : Número de horas de operación

Sabiendo que las calderas pirotubulares producen vapor saturado, se buscan las propiedades en las tablas termodinámicas¹³.

$T_{sat @ 164.4 psia} = 366°F = 826 °R$, será la temperatura en el interior de la tubería.

$$A = \pi \phi L = 3.14 * 4.5 \text{pulgadas} * \frac{1}{12} * \frac{\text{pies}}{\text{pulgada}} * 328 \text{pies} = 386.2 \text{pies}^2$$

Solución:

$$Q_{CA} = \{ 0.174 * 0.94 [((365.9 + 460) / 100)^4 - ((82.4 + 460) / 100)^4] + 0.296 * (365.86 - 82.4)^{5/4} * ((0 + 68.9) / 68.9)^{1/2} \} * 386.2 * 4800 =$$

¹³ Ver anexo 3.

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

$$Q_{CA} = 1,789.6 \frac{MBTU}{año}$$

Otro método para calcular este calor perdido por las paredes de tubería no aislada, es mediante la ecuación de calor de Fourier:

$$Q_{CA} = U \times (T_S - T_A) \times A \times H$$

U: coeficiente global de transferencia de calor¹⁴ (BTU / pie²*°F* h)

T_S: temperatura superficial de la tubería (°F)

T_A: Temperatura ambiente (°F)

A: área de transferencia de calor.

H: horas al año.

$$Q_{CA} = 3.217 \frac{BTU}{pies^2 * °F * hora} * (365.9°R - 82.4°R) * 386.2 pies^2 * \frac{4800 horas}{año}$$

$$Q_{CA} = 1,690.7 \frac{MBTU}{año}$$

Caso propuesto: En las mismas condiciones de la tubería desnuda, se dispone sobre la tubería un aislamiento térmico de **1 pulgada** de fibra de vidrio.

$$Q_{SA} = \frac{T_1 - T_a}{\frac{r_s}{k} * \ln\left(\frac{r_s}{r_1}\right) + \frac{1}{f}} * A * H$$

Dónde:

Q_{CA}: calor perdido por la tubería aislada.

T₁: temperatura interior de la tubería

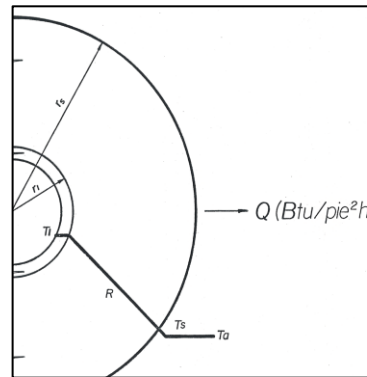
T₂: temperatura ambiente

r_s: radio exterior

R₁: radio de la tubería

A: área de transferencia de calor

H: horas de operación.



$$A = \pi \phi L = 3.14 * \frac{6.5}{12} * \frac{pies}{pulgadas} * 328 pies = 557.87 pies^2$$

$$Q_{SA} = (557.87 pies^2) * \left(4800 \frac{horas}{año}\right) * \frac{366 °R - 82.4 °R}{\left(\frac{3.25}{0.24}\right) \ln\left(\frac{3.25}{2.25}\right) + 1} = 127.96 \frac{MBTU}{año}$$

¹⁴ Ver anexo 2.

$$\text{Calor ahorrado} = Q_{CA} - Q_{SA} = 1789.6 \text{ MBTU} - 127.96 \text{ MBTU} = 1,661.64 \frac{\text{MBTU}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro a nivel global} = \frac{Q_{\text{ahorrado Tubería}}}{n_{\text{caldera}}} = \frac{\frac{1,662.58 \text{ MBTU}}{0.80}}{\text{año}} = 2,077.05 \frac{\text{MBTU}}{\text{año}}$$

$$\text{ahorro de combustible} = \frac{Q_{\text{ahorrado}}}{PC_{\text{combustible}}} = \frac{2,077.05 \times 10^6 \frac{\text{BTU}}{\text{año}}}{149,500 \frac{\text{BTU}}{\text{galon}}} = 13,893.31 \text{ galones/año.}$$

$$\text{Beneficio económico} = 13,893.31 \frac{\text{galones}}{\text{año}} * 2.80 \frac{\text{US\$}}{\text{galon}} = 38,901.27 \text{ US\$}$$

4.2 AISLAR EL TANQUE Y TUBERÍA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS

Caso actual: El circuito de vapor de una empresa cuenta con un tanque de recuperación de condensados, ubicado en las cercanías de la caldera, el cual tiene una capacidad de 4.73 m³.

El tanque no posee ningún tipo de aislamiento térmico que permita mantener la temperatura del agua de retorno (agua condensada, que en promedio se conserva a 85°C) en momentos en que la generación de vapor cesa.

Aproximadamente, el tiempo de trabajo de la caldera es de 18 h por día y las restantes 6 horas es de paro, tiempo en el cual el agua almacenada en el tanque desciende su temperatura hasta la de ambiente. La caldera trabaja 312 días al año.

Caso propuesto: aislar el tanque de recuperación de condensados para aprovechar el calor perdido en las horas de paro de la caldera.

$$\text{masa} = V * \rho$$

Dónde:

V: volumen del tanque

ρ^{15} : densidad del agua.

$$\text{masa} = 4.73 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 4730 \text{ kg}$$

$$Q = mC_p(T_2 - T_1)$$

Dónde:

Q: calor

m: masa

C_p^{16} : calor específico a presión constante

*T*₁: temperatura inicial

*T*₂ temperatura final.

¹⁵ ρ H₂O: 1000 kg/m³ o 3.6336 kg/galón

¹⁶ C_p H₂O: 4.19 4.19 kJ/kg°C

$$Q = mC_p(T_2 - T_1) = 4730 \text{ kg} * 4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (85^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) = \mathbf{1130 \text{ MJ}}$$

La caldera necesita 314¹⁷ kWh para realizar esta acción diariamente, al año necesitaría **97,968 kWh**. Por galón de bunker se genera 56.57 kWh.

$$\text{Combustible ahorrado} = \frac{97,968 \text{ kWh}}{56.57 \frac{\text{galon}}{\text{kWh}}} = 1731.8 \text{ gal. de combustibles}$$

Teniendo un beneficio económico de **4850¹⁸ US\$ al año**, la opción de mejora requiere una inversión total de 500 US\$, que se recuperara en **1.23 meses**.

El principal beneficio obtenido al implementar esta opción es la de reducción de consumo de bunker al arranque de la caldera, al momento en que ésta demande agua del tanque.

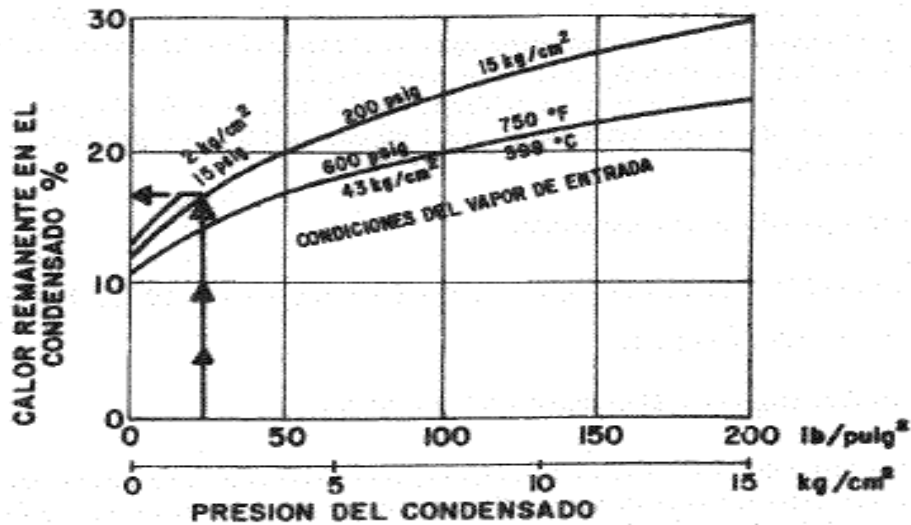
4.3 RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS AL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA

Caso actual: En una planta se envía vapor saturado a un edificio con una presión de 15.1 kg/cm² (200 psig) y un flujo de 12, 260 kg/hora, durante un promedio de 8000 horas/año. El vapor se reduce a través de válvulas de control y calentadores hasta 2.8 kg/cm² (25 psig).

Caso Propuesto: se puede reducir de un 10% a un 30% el combustible en la generación de vapor si se recupera el condensado y se emplea como parte del agua de alimentación de la caldera. El cálculo de la cantidad y valor del calor se indica a continuación. En la figura se obtiene que en vapor a 2.8 kg/cm² (25 psig) producto de la condensación del vapor saturado a 15.1 kg/cm² (200 psig), permanece el 17% del calor.

¹⁷ 1 kWh=3600 kJ

¹⁸ 2.8 US\$/galón



Gráfica 1: calor en el vapor condensado (calculado de las tablas de vapor)

De las tablas de vapor¹⁹, el valor del calor de vapor saturado para vapor saturado de 200 psig (1.5 kg/cm²) es de 665 kcal/kg.

Para una temperatura de agua de repuesto de 21°C (suponiendo que es la temperatura ambiente) y si el condensado no se recircula es de 21 kcal/kg.

Calor neto= **644 kcal/kg**

Calor recuperado en el condensado.

$$= 0.17 \times 644 \text{ kcal/kg} \times 12,260 \text{ kg/hora} \times 8000 \text{ horas/año} = 10,738 \text{ Mkcal/año}$$

Valor del calor recuperado

$$= 10,738 \text{ Mkcal/año} \times 95 \text{ US\$/Mkcal} = 1,020,000^{20} \text{ US\$/año}$$

Se debe de observar que estos valores representan ahorros potenciales de calor, ya que no se toman en cuenta las pérdidas de calor en el retorno del condensado al sistema de alimentación de la caldera. Estas pérdidas de calor dependerán de factores como la longitud de las líneas de retorno y de su aislamiento.

La recuperación de condensado, además de ahorrar combustible, ayudará en los siguientes aspectos:

¹⁹ Ver Anexo 3

²⁰ costo del vapor es de US\$ 95/MKcal

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

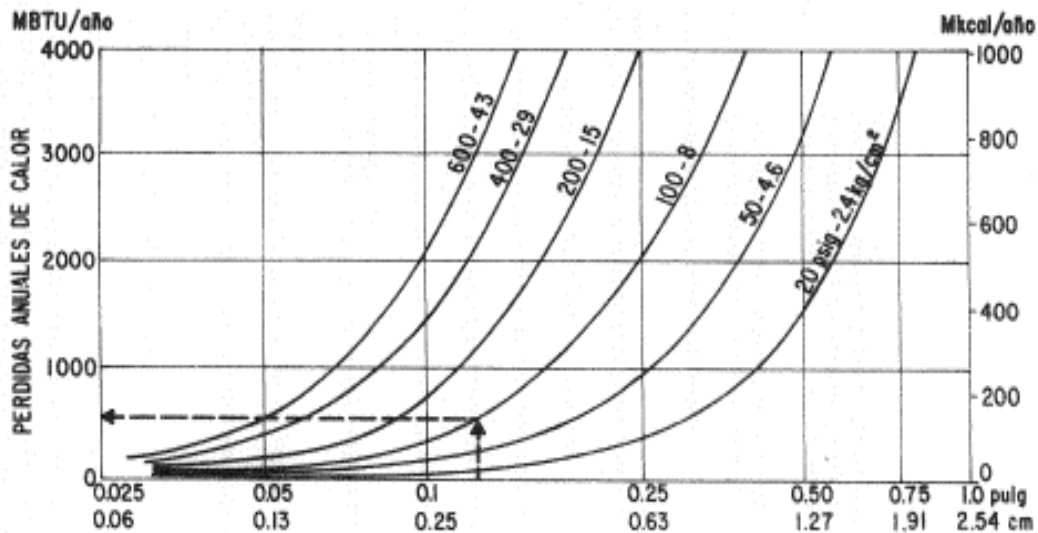
- Ahorrará agua de respueto a la caldera.
- Ahorrará energía y productos químicos empleados en el tratamiento de agua.
- Reducirá la contaminación del agua.
- Reducirá (sin eliminarlas) las pérdidas causadas por las fugas en las trampas de vapor.

Notas:

- Se debe estimar el costo del sistema de recuperación de condensado e instalarlo si se justifica.
- Se deben de tener las precauciones en la recuperación de condensados para evitar contaminantes con aceites y productos químicos.
- Los sistemas de recuperacion de condensados deben de tener aislamientos térmicos para la conservacion del calor y evitar quemaduras al personal.

4.4 EVITAR FUGAS DE VAPOR

Caso actual: En una planta se encontró una fuga de 3.17 mm (1/8 pulgada) en una tubería de vapor de operación de 8.06 kg/cm² (100 psig). De la siguiente figura se determina que el vapor perdido equivale a 136 Mkal.



Gráfica 2: Pérdidas de calor por fugas de vapor

Caso Propuesto: Se recomienda eliminar las fugas en el sistema de distribución de vapor.

Con la eliminación de estas fugas se tendrá un ahorro anual de:

$$= 136 \text{ Mkal/año} \times 95 \text{ US\$/Mkal} = 12,920 \text{ US\$/año.}$$

Notas:

1. Revisar las líneas de vapor para detectar las fugas, empleando medidores acústicos y de temperatura. Algunas fugas importantes de vapor son difíciles de encontrar, como por ejemplo:
 - a) Fugas en trampas o líneas derivadoras (*by-pass*) que descargan en drenajes o sistemas de condensados.
 - b) Fugas de válvulas que conectan equipos fuera de servicio.
 - c) Fugas en calentadores u otros equipos conectados al sistema de vapor.
2. Establecer un programa de inspección regular para detectar fugas ocultas.
3. Cortar el suministro de vapor a los equipos fuera de servicios.
4. Modificar el trayecto de tuberías, cuando sea posible, para evitar sitios poco accesibles en donde se puedan tener fugas poco visibles.
5. Reparar las fugas de vapor lo más pronto posible.

4.5 RECUPERACIÓN DE CALOR DE LOS GASES DE INCINERACIÓN

Caso actual: En una planta se obtenían 453 m³/min de aire saturado con asfalto proveniente del incinerador que trabaja a una temperatura de 760°C; normalmente se acostumbraba descargar este aire a la atmosfera, al, mismo tiempo, se compraban a otra planta 6, 800 kg/hora de vapor para proceso de 11.6 kg/cm²(150 psig).

Un breve estudio mostro que un recuperador de calor instalado en la chimenea podía producir el vapor requerido en la planta, y más si fuera necesario.

Caso Propuesto: se propone recuperar el calor del incinerador debido al estudio propuesto.

La planta disponía de agua de alimentación a 93°C para producir 1 kg de vapor saturado a 11.6 kg/cm² (150 psig) de 1 kg de 93°C. Era necesario administrar 575 kcal. El calor (q) para producir 6 800 kg/hora de vapor.

$$q = 575 \text{ kcal/kg} \times 6800 \text{ kg/hora} = 3.91 \text{ Mkcal}$$

El flujo de gas (m) con una densidad en condiciones normales de 1.22 kg/m³
 $m = 453 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.2 \text{ kg/m}^3 \times 60 \text{ min/hora} = 32, 626 \text{ kg/h}$

la caída de temperatura de los gases es²¹.

²¹ Considerando pérdidas de calor del 2% y un Cp= 0.28 kcal/kg°C

$$\Delta T = \frac{3.91 \text{ Mkcal}}{0.28 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 32,616 \frac{\text{kg}}{\text{hora}} * (1 - 0.02)} = 437^\circ\text{C}$$

Para producir 6,800 kg/hora de vapor saturado a 11.6 kg/cm²(150 psig) era necesario enfriar los gases solamente a 760-437=323°C. Si se condensaran a un precio de 63 US\$/tonelada de vapor y 3000 horas de operación por año, los ahorros en los costos si se instala un recuperador de calor será de:

Ahorros= 6,800 kg/hora x 63 US\$/tonelada x 3,000 horas/año
Ahorros= 1,285,200 US\$/año.

Notas:

- Evaluar las corrientes de salida de la planta con temperaturas mayores a 150°C, como una fuente potencial de calor para generar vapor.
- Considérese la venta de vapor excedente a otras plantas.
- Consúltese a los fabricantes de equipos de recuperación de calor para mayores recomendaciones.

Precaución:

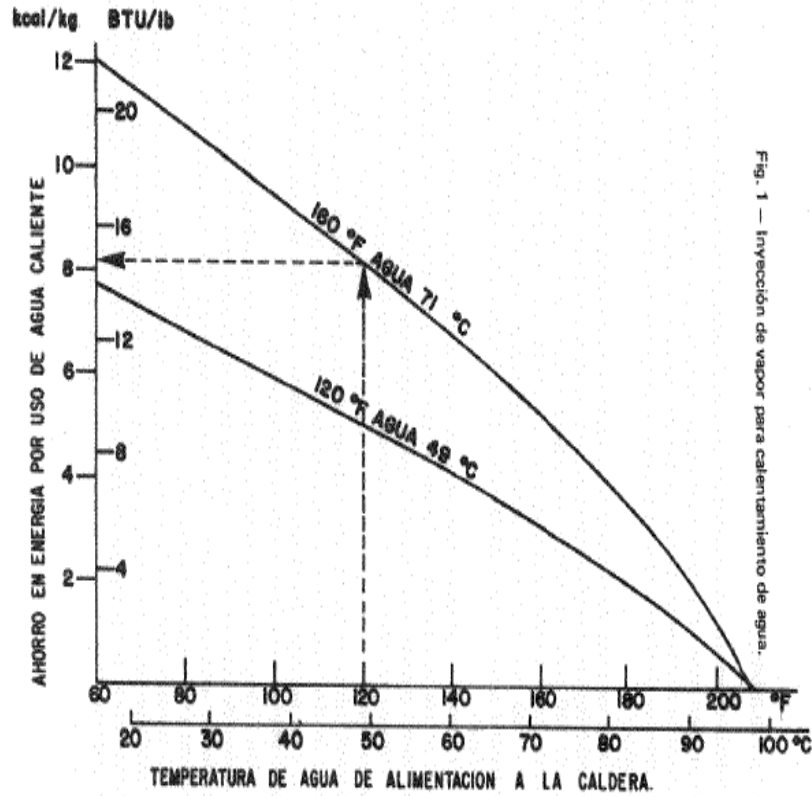
- Los gases de la combustión contienen compuestos condensables que deben de mantenerse arriba de la temperatura de rocío para minimizar los problemas de corrosión.
- Normalmente la temperatura de los gases no debe de ser menor a 149°C.

4.6 USO DE INYECCIÓN DIRECTA DE VAPOR PARA CALENTAR AGUA

Caso actual: Una empresa que posee un sistema de vapor, tiene una demanda de 114 lt/min de agua que se calienta de 16°C a 71°C para 4000 horas/año. El tiempo que demora en regresar el condensado en una espiral de calentamiento a la caldera se ha enfriado 49°C. La eficiencia de la caldera es de 75%,

En las líneas de retorno de vapor de condensado, siempre hay pérdidas inevitables de energía. Estas pueden evitarse completamente, calentando agua o soluciones líquidas, usando inyección directa de vapor en lugar de espirales de calentamiento y trampas de vapor.

Caso Propuesto: se propone la inyección directa del vapor para calentar el agua, Inyectar vapor ahorrará 8 kcal/kg de agua caliente producida. El ahorro será en combustible como sigue:



Gráfica 3: Inyección de vapor para el calentamiento de agua.

Ahorro anual de combustible = $114 \text{ lt/min} \times 1 \text{ kg/lt} \times 60 \text{ min/hora} \times 4000 \text{ hr/año} \times 8 \text{ kcal/kg}$
 = 218.88 Mkcal/año.

Suponiendo un costo de combustible de 54 US\$/Mkcal = $218.88 \text{ kcal} \times 54 \text{ US\$ kcal}$

Ahorro anual = 11, 820 US\$/año

Notas:

- Los datos en la figura suponen el vapor a 4.2 kg/cm^2 y el agua fría a 16°C . Los cambios en la presión del vapor de más o menos 1.8 kg/cm^2 , afectarán los ahorros indicados solo ligeramente; cambios mayores en la temperatura del agua de entrada (arriba $\pm 5.5^\circ\text{C}$) sugerirán la necesidad de nuevos cálculos.
- Si la inyección de vapor se usa para calentar soluciones acuosas, la asignación debe hacerse para el efecto de dilución del vapor condensado.
- En un uso más extenso de la inyección de vapor requiere un tratamiento y una recuperación adicional de agua. El costo de este tratamiento debe de ser considerado.

- Considerar el uso de la inyección de vapor. Además de ahorrar energía, ahorra la instalación y mantenimiento de intercambiadores de calor, trampas y líneas de retorno de condensado.

4.7 SUGERENCIAS EN EL USO EFICIENTE EN SISTEMAS DE VAPOR

Implementar mecanismos que garanticen la eficiencia de las calderas, como:

- Mantenimiento de los quemadores (Limpieza de Boquillas).
- Uso de quemadores eficientes.
- Instalar, revisar y mantener en buen estado las trampas de vapor, aislamiento térmico de la caldera y tuberías de vapor.
- Realizar y mantener en norma el régimen químico del agua de alimentación y el régimen de purgas.
- Recuperar todo el condensado posible de vapor producido.
- Mantener calibrados y en buen estado los instrumentos de medición, e instalarlo donde sean necesarios (salida y entrada de equipos).
- Realizar pruebas periódicas de combustión y eficiencia de la caldera realizando análisis de gases por semana.
- Precalentamiento del agua de alimentación y combustibles.
- Administración de carga en las calderas.
- Mejorar la administración de la carga de las calderas.
- Modificaciones en la instrumentación y control.
- Cambios en las prácticas operativas y de pruebas.
- Propuestas para mejorar el mantenimiento.
- Mejorar la transferencia de calor en los tubos de agua.
- Instalar turbo bombas para el agua de alimentación.
- Instalar turboventiladores para el aire de combustión.
- Automatizar el sistema de control de la combustión.
- Establecer un sistema de contabilidad energética.

V. AIRE COMPRIMIDO

5.1 BAJAR LA PRESIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO AL NIVEL MÍNIMO NECESARIO

Si al estudiar un sistema de aire comprimido se puede disminuir la presión del aire sin que cause problemas de operación, la potencia del compresor se podría disminuir, dando como resultado un ahorro de energía.

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

Por ejemplo, si un volumen de 70 m³/min de aire que se va a comprimir a 8.8 kg/cm² (110 psig) por dos compresores, cada uno accionado por motores eléctricos de 250 HP que trabajan durante 8000 horas/año, pudiera operar satisfactoriamente con 1.1 kg/cm² (15 psig) menos de presión. Los ahorros aproximados que se tendrían al bajar la presión de descarga del compresor de 8.8 a 7.7 kg/cm² (110 a 95 psig) serían los siguientes.

Formula:

$$\% \text{ de ahorro} = \frac{\left(\frac{P_{2h}}{P_1}\right)^{0.286} - \left(\frac{P_{2l}}{P_1}\right)^{0.286}}{\left(\frac{P_{2h}}{P_1}\right)^{0.286} - 1}$$

P_{2h} : Presión de descarga alta original (psia)

P_{2l} : Presión de descarga baja deseada (psia)

P_1 : Presión de entrada del aire (psia)

$$\left(\frac{P_{2h}}{P_1}\right)^{0.286} = [(110 \text{ psig} + 14.7 \text{ psia}) / 14.7 \text{ psia}]^{0.286} = 1.843$$

$$\left(\frac{P_{2l}}{P_1}\right)^{0.286} = [(95 \text{ psig} + 14.7 \text{ psia}) / 14.7 \text{ psia}]^{0.286} = 1.777$$

$$\% \text{ de ahorro} = (1.843 - 1.777) / (1.777 - 1) = 7.83 \%$$

Ahorro anual de energía	= 2 comp x 250 HPcomp x 0.746 kW/HP x 0.0783 x 8000 horas/año. = 233, 623 kWh/año
Beneficio Económico	= 233, 623 kWh/año x 0.19 US\$/kWh = 44, 389 US\$/año

5.2 ELIMINAR FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO

Caso actual: se encontró una fuga de aire en una línea de distribución de aire comprimido a 105 psig, se determinó que la fuga consistía en un orificio de un diámetro de 1/16". El compresor trabaja 5000 horas/año con una eficiencia promedio de 90%

Caso propuesto: se propone a la empresa que mediante un plan de mantenimiento se eliminen las fugas del sistema. La opción traería el siguiente beneficio.

Cálculo de pérdidas:

$$V \text{ (scfm)} = 14.485 \times [ID \text{ (in)}]^2 \times C \times P \text{ (psia)}$$

C : Coeficiente de descarga de orificio

$$C = 0,61$$

Para estimar la potencia se puede estimar: 4.2 scfm / hp

$$Q \text{ (scfm)} = 14.485 \times (1/16)^2 \times 0.61 \times 120$$

$$Q = 4.14 \text{ scfm.}$$

$$\text{Potencia} = \frac{4.14 \text{ scfm}}{4.2 \text{ scfm/hp}} = 0.986 \text{ HP} * 0.746 \frac{\text{kW}}{\text{HP}} = 0.736 \text{ kW}$$

$$\text{Pérdida} = \frac{0.736 \text{ kW} * 5,000 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \times 0.19 \frac{\text{US\$}}{\text{kWh}}}{0.90 \text{ eficiencia}} = 777 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

5.3 BAJAR LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SUCCIÓN

Caso actual: se dispone de un compresor de aire que succiona el aire en un cuarto con una temperatura de 100 °F.

Cuando sea posible, los ductos para un compresor de aire deben colocarse afuera de los edificios, preferiblemente en el lado norte, o el lugar más frío.

Se realizaron mediciones al motor trifásico de un compresor que tiene un FP = 0.95 y una eficiencia de 92% con los siguientes resultados:

En carga: 130 amp, 480 v durante 20% del tiempo.

En descarga: 110 amp, 480 v durante 80% del tiempo.

El sistema trabaja

5 días/semana x 20 horas/día x 51 semanas/año = 5,100 horas/año.

Caso propuesto: Se ve la posibilidad de bajar la temperatura de succión del compresor de 100 °F a 70 °F.

Se pondera la potencia requerida por el compresor.

$$\text{Potencia (carga)} = \frac{130 \text{ Amp} * 480 \text{ volts} * \sqrt{3}}{1000 \frac{\text{VA}}{\text{kVA}} * 92\%} * 95\% \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} = 111.6 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia (descarga)} = \frac{110 \text{ Amp} * 480 \text{ volts} * \sqrt{3}}{1000 \frac{\text{VA}}{\text{kVA}} * 92\%} * 95\% \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} = 94.4 \text{ kW}$$

Ya que trabaja en carga el 20% y en descarga el 80% del tiempo, se pondera la potencia del compresor.

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

$$(20\% \times 111.6 \text{ kW}) + (80\% \times 94.4 \text{ kW}) = 97.8 \text{ kW}$$

Energía=97.8 kW x 5,100 horas/año = **498,780 kWh/año**

La fracción de ahorro por bajar la temperatura de la sala de compresores se da por medio de la siguiente formula.

$$\text{Fracción de Ahorro} = (\text{Temperatura alta} - \text{Temperatura baja}) / (\text{Temperatura alta})$$

Las temperaturas deben estar en °R o K

$$\% \text{ de ahorro} = [(100 + 460) ^\circ\text{R} - (70 + 460) ^\circ\text{R}] / (100 + 460) ^\circ\text{R} = 5.3\%$$

Ahorro energético= 498, 780 kWh/año x 0.053

Ahorro energético= **26, 720 kWh/año**

Beneficio Económico= 26, 720 kWh/año x 0.19 US\$/kWh

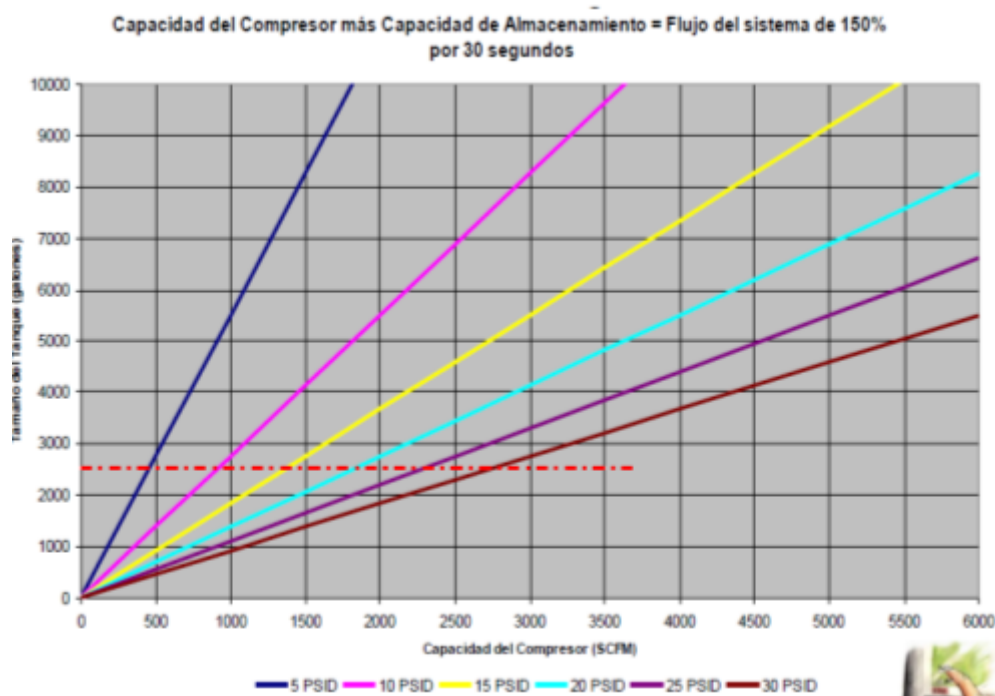
Beneficio Económico= **5, 077 US\$/año.**

5.4 SUGERENCIAS DE USO EFICIENTE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

- Investigar el uso de aire de la planta para determinar si es práctico o no bajar la presión del aire comprimido.
- Bajar la presión de descarga en algunos compresores puede ser tan simple como ajustar el control de presión; sin embargo, en otros equipos será necesario efectuar modificaciones, debiendo consultar al fabricante, quien dispone de los datos de diseño e indicará si existe alguna limitación en el equipo.
- Se pueden tener ahorros adicionales dejando fuera de servicio el compresor cuando este no está operando en la planta, así como la reparación oportuna de fugas en conectores, válvulas y juntas.
- En casos cuando se baja la presión de operación se recomienda incorporar tanques de almacenamiento que ayuda a aumentar la eficiencia de la red ayudándole a dar una presión estable en el sistema y que no se reflejen en la línea las pulsaciones características de los compresores reciprocantes; ayudan también a precipitar la humedad, estabiliza y balancea la presión de los compresores trabajando en carga parcial. Además proporcionan capacidad de aire almacenado que sirve para evitar que los ciclos de operación de un compresor sean muy cortos, con lo que se reduce el desgaste y uso del compresor.
- La temperatura de la sala no debe ser superior a los 30 - 38 °C.
- Como el volumen específico de aire aumenta con el alza de temperatura, el compresor consume más potencia para comprimir aire caliente que para aire frío.
- Por cada 6 °C (10 °F) que se puede bajar la temperatura del aire de succión, se logra un ahorro de potencia de aproximadamente 2%.

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

- Reducir la presión de descarga
- Eliminar fugas de aire comprimido. Eliminar usos innecesarios del aire.
- Utilizar aceite sintético.
- Utilizar diámetros de tubería adecuados así como distribuir el aire en lasos cerrados.
- Seleccionar el compresor adecuado a la aplicación.
- Un buen criterio de diseño sería que se usen aproximadamente entre 0.4 a 0.7 m³ por cada m³/min entregado por el compresor. La capacidad del tanque se puede determinar por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 4: Tamaño del tanque según la disminución de presión del sistema.

VI. CAMBIO DE TARIFA Y MANEJO DE CARGA

6.1 USO PROGRAMADO DE EQUIPO ELÉCTRICO PARA DISMINUIR LAS MÁXIMAS O DE PICO

La reprogramación del equipo eléctrico para disminuir la demanda de potencia no disminuirá la energía eléctrica usada, suponiendo que el mismo equipo está siempre en operación, pero reducirá el cargo por demanda máxima pagado a la compañía eléctrica.



Teóricamente, si se reduce la demanda de pico se reduce el

Ilustración 9: Medidor analógico

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

equipo de reserva requerido por el sistema eléctrico de suministro, y a su vez, se puede postergar la necesidad de instalar equipo adicional para satisfacer las demandas de carga de los sistemas.

A pesar de que las contribuciones individuales de los consumidores industriales de energía eléctrica para disminuir la demanda de pico no son muy grandes, el hacerlo presenta ventajas. A continuación se presentan ejemplos de administración de carga.

Caso Base: En una planta hay en operación 12 hornos eléctricos de 30 kW, cada uno toma su máxima carga de 30 kW por 2 horas después de que se encienden y luego se mantienen a 10 kW para conservar la temperatura. Todos los hornos tendrán un ciclo de encendido, calentamiento y enfriamiento cada 24 horas.

Caso propuesto: Si se programa su uso, de tal manera que no se tengan más de 2 hornos en su ciclo de encendido simultáneamente, se lograrán los siguientes ahorros en demanda.

Cuando todos los hornos se encienden simultáneamente:

$$\text{Demanda pico} = 12 \text{ hornos} \times 30 \text{ kW/horno} = \mathbf{360 \text{ kW}}$$

Cuando solo se encienden 2 hornos en forma simultánea y los otros 10 están en su periodo de calentamiento:

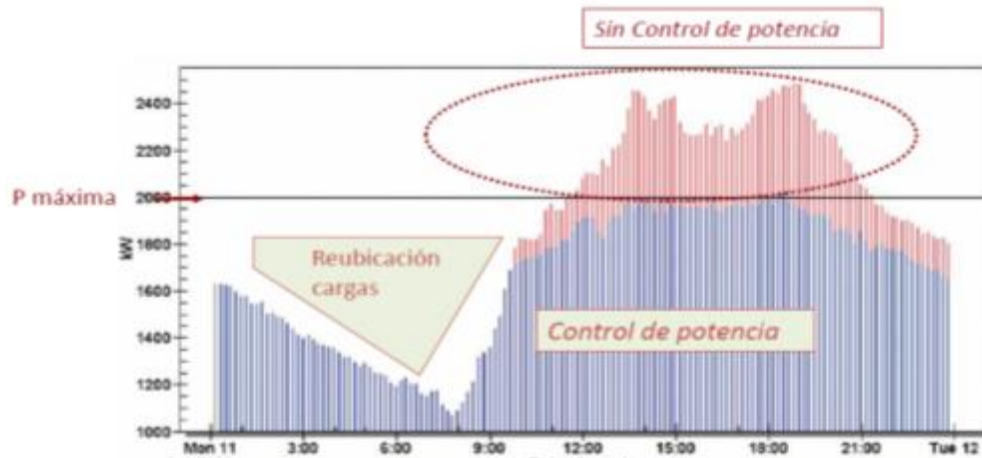
$$\text{Demanda pico} = 2 \text{ hornos} \times 30 \text{ kW/horno} + 10 \text{ hornos} \times 10 \text{ kW/horno} = \mathbf{160 \text{ kW}}$$

$$\text{Reducción en la demanda} = 360 \text{ kW} - 160 \text{ kW} = \mathbf{200 \text{ kW}}.$$

$$\text{Ahorros anuales} = 200 \text{ kW} \times 23 \text{ US\$/kW-mes} \times 12 \text{ meses/año} = \mathbf{55,200 \text{ US\$/año}}$$

A continuación se muestra un ejemplo de *perfil de carga*, y la carga desplazada de los horarios de demanda máxima.

En la gráfica 4 se tiene mediciones en intervalos de tiempo definidos, la carga máxima de potencia se alcanza entre las 2 y las 3 de la tarde, también entre las 6 y 8 de la noche.



Gráfica 5: carga desplazada

Conociendo los procesos que se llevan a cabo en la empresa se determinó que ciertas cargas en las horas de la tarde (siendo este el periodo crítico) podían ser desplazadas hacia horarios en donde la carga no era significativa.

Con esta acción provocó que la demanda máxima pasara de 2400 kW a un valor de 2000 kW, ahorrando 400 kW de demanda que tienen un valor de 23 US\$/kW.

$$\text{Ahorro en demanda} = 400 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \times 23 \frac{\text{US\$}}{\text{kW}} = \mathbf{110,400 \text{ US\$}}$$

Cuando se analiza el perfil de carga de la empresa y su facturación eléctrica, es importante conocer y analizar el factor de carga de la empresa, la cual es la razón de la energía consumida del periodo analizado, entre la máxima expectativa del consumo de energía.

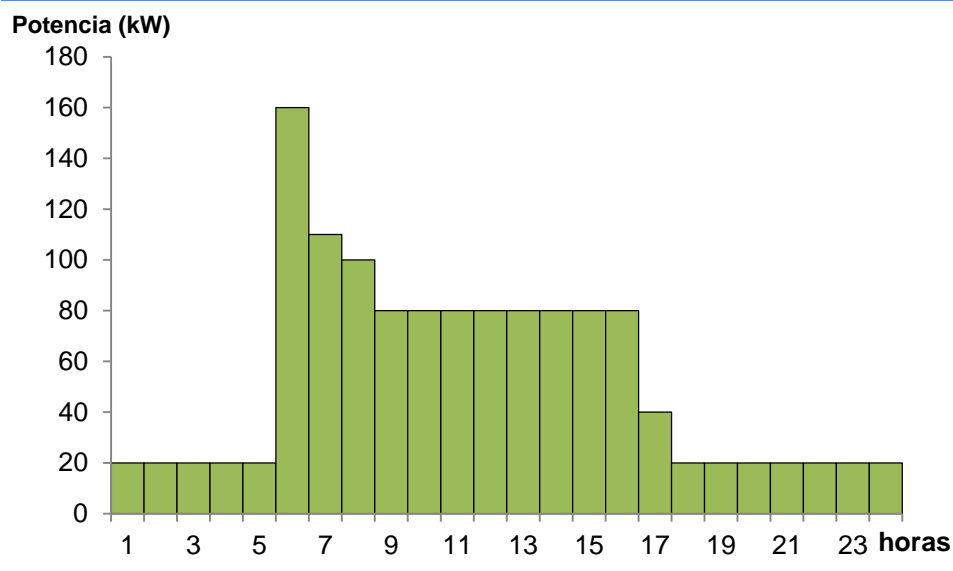
$$FC = \frac{\frac{\text{kWh}}{\text{mes}}}{\text{kW}(\text{maxima} - \text{demand})(\# \frac{\text{días}}{\text{mes}})}$$

Este factor de carga, nos dará una razón de cuanto se aprovechamiento se le da a los equipos en la empresa, en el siguiente ejemplo se analizará dicha razón.

2.1.1. Manejo de carga y su impacto en el factor de uso de la planta.

Caso Base: Se tiene una empresa en donde, mediante un analizador de potencia, se realizaron medidas horarias durante el día. En esta empresa no existe un manejo de carga, y se tiene como demanda máxima una potencia de 160 kW registrada al inicio de la jornada laboral. A continuación se presenta el perfil horario de carga característico de la empresa.

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.



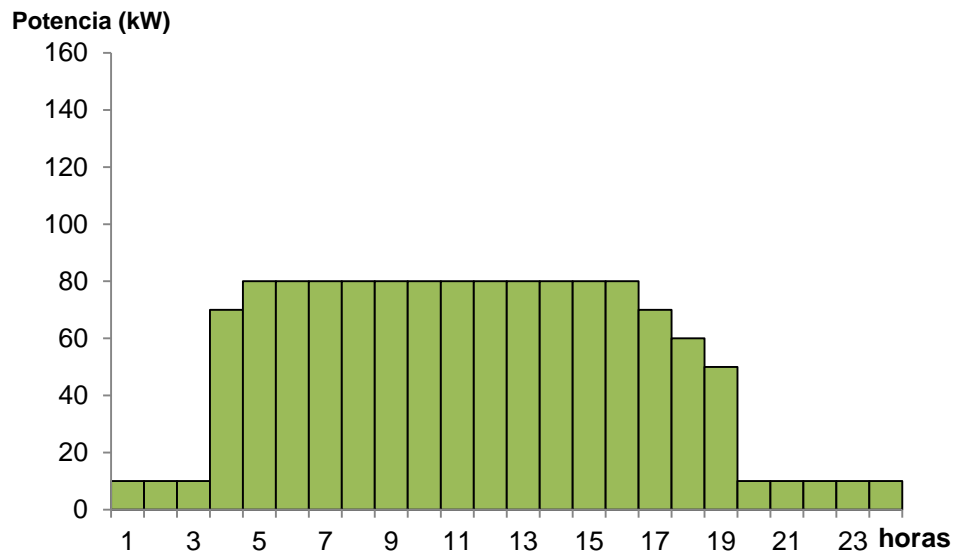
Gráfica 6: Mediciones del comportamiento de la carga.

Se presenta un pico al inicio de la jornada laboral, cuando se encienden los equipos y poco a poco se van estabilizando a lo largo del día.

Tabla 9: Factor de carga

Tiempo	Potencia	Energía
horas	kW	kWh
5	20	100
1	160	160
1	110	110
1	100	100
8	80	640
1	40	40
7	20	140
24	75.71	1290
Máxima demanda		160
Factor de carga		33.6%

Caso Propuesto: Se propone hacer un reacomodo de las cargas, pasando cargas no indispensables a un horario fuera de la carga máxima y el perfil horario de carga se vería de la siguiente forma.



Gráfica 7: cargas desplazadas

Los datos como demanda máxima y factor de carga se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Factor de carga propuesto

Tiempo	Potencia	Energía
horas	kW	kWh
3	10	30
1	70	70
12	80	960
1	70	70
1	60	60
1	50	50
5	10	50
24	50.00	1290
Máxima demanda		80
Factor de carga		67.2%

Como se mencionó anteriormente, el reacomodo de las cargas no genera un ahorro energético. Como se observa en ambas tablas se consumió la misma cantidad de energía a lo largo del día, con la única variación de que la demanda máxima diaria, en vez de ser 160 kW pasó a ser de 80 kW, debido al reacomodo de las cargas de demanda.

Con este acomodo de las cargas se ahorran 80 kW al mes.

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

$$\text{Ahorros} = 80 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} * 23 \frac{\text{US\$}}{\text{kW}} = \mathbf{22,080 \text{ US\$/año}}$$

Además del beneficio económico, existe una mejora en el factor de carga que pasó a ser del **33.6%** a un **67.2%**, en otras palabras, se estaría dando un mejor aprovechamiento a los equipos y carga instalada en la planta.

6.2 CAMBIO TARIFARIO

Caso Base: Una empresa se le cobra la energía bajo la tarifa **T2-BT General Menor Binomia**, sin medición horaria estacional. Por ser binomia se cobran dos rubros:

Consumo de energía que es igual a **27,720 kWh** al mes como promedio.
Y demanda de energía que se demandan **154 kW** al mes como promedio²².

$$\text{US\$ al año por energia} = \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{meses}}{\text{año}} * \frac{\text{US\$}^{23}}{\text{kWh}} =$$

$$27,720 \text{ kWh/mes} \times 12 \text{meses/año} \times 0.19 \text{US\$/kWh} = \mathbf{60,921.60 \text{ US\$/año}}$$

$$\text{US\$ al año por demanda} = \frac{\text{KW}}{\text{mes}} * \frac{\text{meses}}{\text{año}} * \frac{\text{US\$}}{\text{kW}} =$$

$$154 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} * 22.59 \frac{\text{US\$}}{\text{kW}} = \mathbf{41,610.78 \text{ US\$/año}}$$

Este análisis se realizó antes de tomar en cuenta los impuestos correspondientes, se cobran **US\$ 60 921.60** al año por consumo de energía, equivalente al **59%** del costo total de la facturación, y **US\$ 41 610.78** al año por demanda de potencia, equivalente al **41%** del total.

Los equipos o motores inductivos, necesitan potencia reactiva para funcionar, si estos ocupan desmesuradamente esta potencia, esta es cobrada en forma de sanción, por medio del factor de potencia. Un factor de potencia aceptable será igual o mayor a 0.85.

Caso Propuesto: Mediante el análisis del pliego tarifario se proponen opciones a cambios de tarifa. Se proponen 2 tarifas la T-4 o bien la T-5. Los cálculos del valor monetario se realizan con el mismo cálculo anteriormente mostrado.

²² Para tomar valores promedio de energía y potencia, se deberá contar por lo menos con un año de registros de facturación eléctrica

²³ 0.19 US\$/kWh ; 23 US\$/kW

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

Tabla 11: Simulación de las tarifas propuestas

Tarifa	US\$/kWh	US\$/kW	Sub-total kWh-año	Sub-total kW-año	Total	% de ahorro
T-2	0.19	22.59	\$ 60,921.60	\$ 41,610.78	\$ 102,532.38	
T-4	0.17	20.69	\$ 54,508.80	\$ 38,110.98	\$ 92,619.78	10%
T-5	0.18	19.54	\$ 57,715.20	\$ 35,992.68	\$ 93,707.88	9%

Se puede observar que en ambos casos se obtienen ahorros monetarios

$$\text{Ahorros en } T - 4 = 102,532.4 - 92,619.78 = \mathbf{9,912.62 \text{ US\$ al año.}}$$

$$\text{Ahorros en } T - 5 = 102,532.4 - 93,707.88 = \mathbf{8,824.52 \text{ US\$ al año.}}$$

En esta opción no se genera ningún ahorro energético únicamente aminora los costos por servicio eléctrico, para lo cual se analiza la tarifa que según la clasificación, se adapte mejor a la empresa.

6.3 SUGERENCIAS EN ADMINISTRACIÓN DE CARGA Y TIPO DE TARIFA

- Es conveniente conocer el perfil de carga de la empresa, si la carga muestra picos cíclicos elevados, será indicio de tener ahorros programados de la operación fuera de la hora de demanda máxima.
- Considerar la opción de sistemas de control de potencia para la buena administración de la carga.
- Evaluar si la tarifa actual en la que se encuentra la empresa sea la correcta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Centro de Producción más Limpia de Nicaragua (CPmL-N) 2012. Auditorías Energéticas. Managua, Nicaragua.
2. Manual de procedimientos para el uso eficiente de la energía en la industria y el comercio. Comisión de energéticos México 1977.
3. Compendio de opciones de eficiencia energética, elaborado por CPmL-N.
4. Investigación del Buró de eficiencia energética de la India.(http://beeindia.in/content.php?page=miscellaneous/useful_download.php)

GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Un extracto de los resultados de la aplicación de Auditoría Energética en 15 empresas e instituciones de Gobierno.

ANEXOS

Anexo 1. Determinación del SEER.

Las condiciones de determinación del SEER son:

- Un rango en la temperatura exterior entre los 65 y 105 grados Fahrenheit subdividido en 8 puntos de funcionamiento separados por 5 grados °F cada uno. El equipo opera un tiempo específico en cada uno de estos puntos.
- Una temperatura interior de 80 grados Fahrenheit.

Anexo 2: Pérdidas de calor en tuberías.

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

TAMANO TUBERIA pies plgs	PIES LINEALES FACTOR	DIAMETRO EXTERNO plgs	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (GRADOS FARENHEIT) ENTRE SUPERFICIE DE TUBERIA Y AIRE AMBIENTE (AIRE A 80 GRADOS FARENHEIT)																			
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	100
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.
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.
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.
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.
1.50	0.487	1.980	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.
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.
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.
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.
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.
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.
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.
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.
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.
7.00	1.996	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.
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	5.56	6.05	6.57	7.12	7.72	8.35	9.02	9.73	10.
9.00	2.520	9.625	1.76	2.05	2.31	2.59	2.87	3.17	3.48	3.86	4.24	4.65	5.08	5.53	6.02	6.54	7.10	7.69	8.32	8.99	9.70	10.
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.
12.00	3.338	12.750	1.73	2.01	2.27	2.54	2.83	3.12	3.43	3.81	4.19	4.59	5.02	5.49	5.96	6.48	7.04	7.63	8.26	8.93	9.64	10.
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.
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.
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.
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.
24.00	6.283	24.000	1.66	1.93	2.19	2.45	2.73	3.02	3.33	3.70	4.07	4.48	4.90	5.36	5.84	6.36	6.92	7.51	8.14	8.80	9.51	10.
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.
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSFERENCIA HACIA ABAJO			2.03	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.
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.

Anexo 3. Tabla de propiedades termodinámicas del agua.

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

Presión bar	Temp, °C	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg, K	
		Líquido sat, v _f x 10 ³	Vapor sat, v _g	Líquido sat, u _f	Vapor sat, u _g	Líquido sat, h _f	Vapor vaporiz, h _g	Vapor sat, h _g	Líquido sat, s _f	Vapor sat, s _g
		0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,8	2653,5	1,1453	7,5320
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
7,00	165,0	1,1060	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628
9,00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226
10,0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863
15,0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448
20,0	212,4	1,1767	0,09663	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409
25,0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575
30,0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869
35,0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253
40,0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701
45,0	257,5	1,2692	0,04408	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199
50,0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734
60,0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892
70,0	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133
80,0	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432
90,0	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772
100	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141
110	318,2	1,4866	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527
120	324,8	1,5267	0,01428	1473,0	2513,7	1491,3	1193,8	2684,9	3,4962	5,4924
130	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323
140	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717
150	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098
160	347,4	1,7107	0,009306	1622,7	2431,7	1650,1	930,6	2580,6	3,7461	5,2455
170	352,4	1,7702	0,008364	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777
180	357,1	1,8397	0,007489	1698,9	2374,3	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	5,1044
190	361,5	1,9243	0,006657	1739,9	2338,1	1776,5	688,0	2464,5	3,9388	5,0228
200	365,8	2,036	0,005834	1785,6	2293,0	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	4,9269
220,9	374,1	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	4,4298