

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE ALGUNOS CONSUMIDORES ELÉCTRICOS EN LA UMCC

**AUTORES: DR. OSVALDO F. GARCÍA MORALES
MSc. JUAN LANDA GARCÍA
Ing.: JORGE LUIS HERRERA LEON**

MATANZAS NOVIEMBRE DE 2004

INTRODUCCION.

Hasta los días de hoy y desafortunadamente, de un futuro no tan cercano, el 90 % de las necesidades energéticas del planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón). Todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente, por el interés predominante de la producción de energía sobre el de su efecto ecológico.

En Cuba entre los años 1990 y 1993, como consecuencia del derrumbe del campo socialista y la crisis económica que comenzó a sufrir el país, la disponibilidad de generación decreció de un 78% a valores inferiores al 50%, lo cual trajo como consecuencia que se produjeran prolongados apagones y que el consumo de energía eléctrica decreciera a más del 6% como promedio anual.

Desde 1993 hasta mediados de este año se había producido una recuperación en la generación de electricidad, con una tasa promedio anual del 6.6%. Esto había sido inducido por la revitalización de la economía habiéndose logrado disminuir el número de días con apagones y la duración de estos. Sin embargo, en los últimos meses ha ocurrido un déficit grande de generación, provocado por la salida de servicio de varias unidades generadoras, de manera que el sistema electro energético llegó a estar al 50% de disponibilidad. Esta situación obliga al país a tomar todas las medidas posibles para disminuir el consumo de energía eléctrica, tanto a escala nacional como en diferentes empresas.

En el caso concreto de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” se ha venido trabajando con el objetivo de disminuir su consumo de electricidad, ya que este constituye el 48% de la energía total consumida y existen potencialidades de ahorro en diferentes áreas. En los momentos de la realización de este trabajo el centro se había excedido en el plan de consumo asignado hasta el mes de abril de 2003.

En correspondencia con ello, el objetivo es:

- Analizar la posibilidad de ahorro de energía eléctrica en varios consumidores de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”

Para darle cumplimiento al objetivo desarrollaron las siguientes tareas:

- Analizar las posibilidades de ahorro por la sustitución de componentes en el sistema de iluminación, por la sustitución de una bomba en el sistema de bombeo principal del centro y por mantenimiento en las cámaras frías del comedor de estudiantes y del almacén de A. T .M.

Potencialidades y medidas más comunes para lograr una disminución en el consumo de energía eléctrica.

Sistemas de Iluminación.

A continuación se plantea un grupo de medidas con las cuales se pueden lograr ahorros considerables de energía eléctrica con inversiones muy pequeñas¹:

¹ Se considera incluso que se puede ahorrar hasta el 15% sólo apagando las luces innecesarias, como tarea permanente, lo cual no representa inversión alguna. [González Jordán, 1986]

- Estimular al personal a apagar la iluminación no utilizada y a apagar la usada cuando en los locales no se encuentre nadie. [González, 1986]
- Contar con un programa de limpieza de iluminaciones, la suciedad disminuye el nivel de iluminación hasta un 20%. [PAE, 2002]
- Utilizar balastos electromagnéticos de alta eficiencia, porque permiten ahorrar energía hasta un 10% y corrige el factor de potencia, así como incrementa la vida útil de los fluorescentes. [Idem.]
- Realizar mantenimiento periódico a luminarias, lámparas y otros factores vinculados a la eficiencia de la iluminación, como paredes y techos, etc, para garantizar que en todo momento disminuyan las pérdidas por concepto de suciedad, los cuales impiden el máximo aprovechamiento de la capacidad instalada. La oportuna sustitución de las lámparas desgastadas también contribuye a lograr este objetivo.[González, 1986]
- Tener circuitos independientes para apagar las luces que no se estén utilizando. [González, 1986]
- Pintar techos y paredes de colores claros y utilizar pinturas que reflejen la luz, ya que los colores oscuros absorben gran cantidad de luz y obligan a utilizar más lámparas. [PAEC, 2002]
- Realizar análisis de las líneas de distribución para detectar conexiones inadecuadas que puedan provocar exceso de consumo. [Sánchez, 2002]
- Sustituir los sistemas de iluminación fluorescentes tradicionales por nuevos sistemas ahorradores, hay tubos y balastos de las mismas dimensiones más eficientes. [FIDE, 2001]

Fluorescente tradicional con balasto tradicional.	Sustituir por:	Fluorescente ahorradora con balasto ahorrador.
75 W		60 W
40 W		34 W
39 W		30 W

- Utilizar reflectores en las lámparas fluorescentes, reducen el número de lámparas y balastos a la mitad, la reflexión lograda permite lograr ahorros del 50% del consumo y de los gastos de reposición de las lámparas. [FIDE, 2001]
- Sustituir bombillos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (bombillos ahorradores), emiten aproximadamente el mismo flujo luminoso, consumen aproximadamente 75% menos energía, duran 10 veces más y emiten una luz agradable. [Idem]

	Incandescente.	Sustituir por:	Fluorescente.
Duración.	1 000 hr		10 000 hr
	40 W		7 W
	60 W		9 W
	75 W		13 W

- Utilizar lámparas de vapor de sodio de alta o baja presión en áreas externas que no requieren nitidez. [Campos, 1998]

Sistemas de Aire Acondicionado.

“En los hoteles y edificios administrativos aproximadamente el 60% de la energía eléctrica que se consume es producto de la climatización. Por esta razón es de vital importancia contar con un funcionamiento eficiente de las instalaciones de aire acondicionado.” [Sánchez, 2002]

Se considera que el ahorro de energía en relación con las instalaciones de climatización de aire existentes, pueden alcanzar hasta un 50 % sin necesidad de afectar el servicio. Por ello en este trabajo se proponen una serie de medidas con vista a reducir el consumo de energía.

Para entender como se comporta la temperatura en un local cerrado, se deben analizar las fuentes de cambio de temperatura. Estas son 5 :

- Q_1 → Calor transferido de la parte caliente a la parte fría a través pisos y paredes.
- Q_2 → Calor transferido por la energía solar.
- Q_3 → Calor infiltrado a través de aberturas de puertas y ventanas.
- Q_4 → Calor que se emana de los equipos, lámparas y motores que puedan existir en los locales.
- Q_5 → Calor que se desprende de las personas.

Medidas para reducir estas ganancias de calor².

Q_1 : Esta fuente de calor se puede minimizar colocando aislamiento térmico en las paredes, pisos y techos. Al entrar menos calor del exterior en verano y al escapar menos calor del interior en invierno, los equipos de aire acondicionado trabajan menos y tienen más larga vida.

Q_2 : Colocar cortinas o toldos en las fachadas con ventanas o paredes de cristal en que incida directamente la radiación solar.

Q_3 : La existencia de fugas por puertas y ventanas obliga a que los compresores de los equipos se enciendan más a menudo, ocasionando un consumo innecesario.

Para erradicar esta ganancia de calor se debe colocar cristales protectores en las persianas que no cierren herméticamente. Hay que concienciar al personal en la necesidad de no dejar puertas y ventanas abiertas mientras el equipo se encuentre funcionando.

Q_4 : Debe evitarse siempre que sea posible instalar equipos que generen calor (motores eléctricos, lámparas incandescentes) dentro de los locales climatizados, y de existir colocarlos donde puedan disipar fácilmente hacia el exterior el calor, que éste no se encierre en el interior.

Q_5 : Esta pérdida de calor se considera inevitable.

En la medida que se logre controlar estas variables se estará en la capacidad de ahorrar energía.

² Todas las medidas que aparecen propuestas en este subepígrafe son extraídas de FIDE (2001).

Otra forma de ahorrar energía en las instalaciones de acondicionamiento de aire es manteniendo un funcionamiento eficiente de los equipos.

Existen una serie de recomendaciones que, de seguir las, aumentará favorablemente la relación existente entre el confort que se obtiene de los equipos y el ahorro de energía.

- Adquirir los equipos con más alta eficiencia energética del mercado.
- Mantener la temperatura del termostato en 24 °C en verano, es suficientemente confortable y evita la exposición del personal a cambios bruscos de temperatura. El aumento de 1°C significa un aumento de un 6% en el consumo del equipo. [TecnoHotel, Nov. 00-Ene. 01]
- Limpiar los filtros de aire una vez por semana. [Campos, 1998]
- Garantizar el aislamiento térmico del 100% de las tuberías, así como eliminar salideros. [Sánchez, 2002]
- Mantener el equipo bien limpio. Los intercambiadores de calor deben ser limpiados mensualmente si son de aire. [Idem.]
- Utilizar equipos con termostato y verificar de forma periódica el correcto funcionamiento de estos. [TecnoHotel, Nov. 00-Ene. 01]

Otras medidas para disminuir el consumo son :

- Garantizar la desconexión de los equipos cuando no existan ocupantes en los locales, desconectarlos en horarios de almuerzo. [Sánchez, 2002]
- Considera la posibilidad de usar ventiladores eléctricos para mantener un ambiente cómodamente fresco la mayor parte del tiempo, a una fracción del costo operacional de un equipo de aire acondicionado que es caro. [PAE, 2002]
- Siempre que el equipo se encuentre encendido evitar lo más posible las entradas y salidas. [González , 1986]
- No exigir mucho frío al aire acondicionado al momento de ponerlo en marcha. No refrescará el ambiente rápidamente, sólo gastará más energía. [PAE, 2002]

Sistemas de Producción de Frío.

Debido a la amplia difusión de la refrigeración y ser consumidoras importantes en el centro, es que se proponen algunas medidas de ahorro que pudieran aplicarse en estas instalaciones.

- Abrir las puertas al medio exterior durante el menor tiempo posible. [Sánchez, 2002]
- Instalar cortinas PVC a la entrada de las cámaras, las cuales disminuyen en un 70% la entrada de calor. [Idem.]
- Garantizar el aislamiento térmico de paredes y pisos, en el caso en que se requiera realizar la panelización (estudiar la aplicación de Monil en los pisos). [Idem.]

- Limpiar los condensadores una vez al mes. Verificar que exista una correcta evacuación del calor en estos. [Idem.]
- Instalar iluminación fluorescente en el interior de las cámaras. [Idem.]
- Desconectar las cámaras en el horario pico. Esta puede ser por medios automáticos o mediante el personal de mantenimiento. [Idem.]
- Garantizar el correcto funcionamiento del sistema de desescarche.
- Verificación del factor de utilización de las cámaras de frío. No sobrecargar las cámaras, ni subutilizarlas. [Campos, 1998]
- Usar antecámaras acondicionadas. [Idem.]
- Realizar mantenimiento anual a compresores y ventiladores y calibración de los instrumentos de control. [Sánchez, 2002]
- Mejorar el movimiento de aire en las cámaras. [Olvera, S/F]
- Garantizar el correcto aislamiento de las tuberías. [Idem.]
- Asegurar la parada de los ventiladores en las cámaras durante los ciclos de desescarche. [Sánchez, 2002]

Sistemas de Bombeo.³

Se proponen algunas medidas que pueden contribuir al ahorro de energía en estos sistemas.

- Revisar los filtros de la bomba. Limpiarlos con frecuencia para evitar que las obstrucciones ocasionen sobrecargas que aumenten innecesariamente su consumo de energía.
- Verificar periódicamente que no haya fugas en los empaques interiores. Estas últimas pueden ocasionar pérdidas de energía.
- Revisar toda la instalación de la tubería para verificar que no existan fugas, en especial en las uniones de los tramos de tubería. Los empaques viejos y gastados y las uniones flojas pueden ocasionar fugas, las cuales darán por resultado un mayor consumo eléctrico.
- La potencia nominal suministrada por el motor, debe ser igual a la que requiere la bomba para trabajar a su máxima eficiencia. Si es superior está gastando innecesariamente la energía.
- El motor debe estar perfectamente alineado con la bomba y montado sobre una superficie que reduzca las vibraciones.
- Es importante instalar controles automáticos para arrancar y parar el motor de la bomba. Así evitará que éste último siga consumiendo energía eléctrica cuando la bomba haya dejado de funcionar.
- Si los equipos existentes son antiguos, presentan un alto consumo y una baja eficiencia. Es recomendable sustituirlos por otros de menor consumo y mayor eficiencia.

³ Todas las medidas que aparecen propuestas en este subepígrafe son extraídas de PAE (2002).

Computadoras y Televisores.⁴

- Activar el archivo administrador de energía eléctrica (energy saver), éstas se apagarán automáticamente cuando no se estén utilizando.
- Desconectarlos cuando no se estén utilizando.

Motores Eléctricos.⁵

- Evitar el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.
- Evitar la operación en vacío de los motores.
- Emplear motores trifásicos en lugar de monofásicos su eficiencia es (3 –5 % mayor).
- Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.
- Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en los terminales del motor, genera un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída de tensión del 5%. Para ello utilice conductores correctamente dimensionados.
- Balancear la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe exceder en ningún caso el 5%, mientras menor sea el desbalance, los motores operarán con mayor eficiencia.
- Mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida. El mal funcionamiento de este accesorio que se emplea para desconectar el devanado de arranque (y el condensador en los motores de arranque por condensador) provoca un sobrecalentamiento en los conductores ocasionando significativas pérdidas de energía y en caso extremo la falla del motor.
- Utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores y se logra disminuir las pérdidas durante la aceleración.
- Sustituir en los motores de rotor devanado, los reguladores con resistencias para el control de la velocidad, por reguladores electrónicos más eficientes, porque las resistencias llegan a consumir hasta un 20% de la potencia que el motor toma de la red.
- No se recomienda rebobinar los motores más de 2 veces, porque puede variar las características de diseño del motor, lo cual incrementaría las pérdidas de energía.

⁴ Las dos medidas que aparecen propuestas para este subepígrafe son extraídas de: Colectivo de Autores (2001).

⁵ Todas las medidas que aparecen propuestas para este subepígrafe fueron extraídas de: Buitrón (2001).

- Efectuar rutinariamente la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños que impidan su óptimo funcionamiento. La regularidad con que esta se realice dependerá de las condiciones en las que el motor esté trabajando, pero es recomendable desmontarlo al menos una vez al año para realizar limpieza completa de todos sus componentes.
- Valorar la sustitución de motores antiguos o de uso intensivo por normalizados de alta eficiencia.

Transformadores.⁶

- Preocuparse por conocer la carga asociada al transformador para no sobrecargarlo, y así reducir las pérdidas en el cobre.
- Evitar operar transformadores a baja carga (menor al 20%), si es posible redistribuir las cargas.
- Revisar el nivel y rigidez dieléctrica del aceite cada 6 meses, con el fin de controlar la capacidad aislante y refrigerante del mismo.
- Realizar una limpieza periódica del transformador, es decir, superficie del tanque, aletas disipadoras de calor, bornes, etc.
- Medir con frecuencia la temperatura superficial del transformador, ella no debe ser superior a 55°C, de ser así, debe revisarse el aceite dieléctrico.

Instalaciones Eléctricas.⁷

Los conductores sobrecargados presentan temperaturas superiores a las normales. Esto produce pérdidas por calentamiento y el riesgo de producirse cortocircuitos o incendio; por tal razón se recomienda:

- Revisar la temperatura de operación de los conductores. El calentamiento puede ser causado, entre otras cosas por el calibre inadecuado de los conductores o por empalmes y conexiones mal efectuados.
- La recomendación anterior se hace extensiva a los tableros de distribución, por tanto, debe evitarse sobrecargar los circuitos derivados del mismo.
- Las conexiones flojas o inadecuadas aumentan las pérdidas de energía. Efectuar un programa periódico de ajuste de conexiones y limpieza de contactos, borneras, barrajes, etc.

Como se observa, se han propuesto un grupo de medidas con las cuales se pueden lograr ahorros considerables de energía eléctrica, pero es preciso seguir trabajando en función de nuevos aportes tanto teóricos como prácticos. Como el alcance de este trabajo es limitado, se centrará la atención en proponer y cuantificar algunas de estas medidas en los sistemas de: iluminación, producción de frío y bombeo.

⁶ Todas las medidas que aparecen propuestas para este subepígrafe fueron extraídas de: PAE (2002).

⁷ Idem.

Propuesta de medidas de ahorro de electricidad en algunos sistemas de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y cuantificación del ahorro.

Sistema de Iluminación

En muchos centros no se valora adecuadamente la necesidad de utilizar racionalmente las instalaciones de alumbrado artificial. La causa de ello radica en la relativa pequeña potencia que en ocasiones esta representa de la carga total instalada. Es el tiempo de utilización de esa potencia la que realmente puede evaluar acertadamente su incidencia en relación con el consumo de energía eléctrica, el cual puede llegar a tomar valores considerables. En las instalaciones existentes se puede lograr una disminución del consumo entre un 15 y un 20 % [González Jordán, 1986]

Para demostrar que es posible obtener resultados, se cuantificarán los ahorros que se pueden lograr con la aplicación de una de las medidas propuestas: Sustitución de las luminarias y balastos tradicionales por sus similares ahorradores. Para ello se sigue la siguiente metodología:

- I. Levantamiento de la información y análisis de la situación del sistema de iluminación en estudio.
 - II. Realizar la nueva propuesta del sistema de iluminación
 - III. Comparar niveles de iluminación y la situación energética del sistema actual y el propuesto.
-
- I. Levantamiento de la información y análisis de la situación del sistema de iluminación en estudio. (Motel)

Tabla 2.2.1

Local.	Tipo de iluminación	Cantidad	Demanda unitaria.	Demanda total.	Horas de uso al día	Días al año	Consumo de energía.
Habitaciones	F20W T –12/D	40	20 W	800 W	12	365	3 504 KW-h /año
Baños	F20W T –12/D	10	20 W	200 W	12	365	876KW-h /año
Pantry	F20W T –12/D	10	20 W	200 W	12	365	876KW-h /año
Lobby	F20 WT –12/D	10	20 W	200 W	12	365	876KW-h /año
Salas de estar	F20 WT –12/D	10	20 W	200 W	12	365	876KW-h /año
Balcones	F20W T –12/D	15	20 W	300 W	12	365	1314KW-h /año
Oficina	F20 WT –12/D	2	20 W	40 W	8	365	116.8KW-h /año
Carpeta	F20 WT –12/D	3	20 W	60 W	8	365	175.2KW-h /año
Baños de la carpeta	F20 WT –12/D	2	20 W	40 W	8	365	116.8KW-h /año
Exteriores	F20W T –12/D	10	20 W	200 W	12	365	876KW-h /año
Lavaderos	F20WT –12/D	2	20 W	40 W	12	365	175.2KW-h /año
Tienda	F20 WT –12/D	5	20 W	100 W	8	365	292KW-h /año
Ropero	F20W T –12/D	1	20 W	20 W	8	365	58.4KW-h /año
Bar	F20 WT –12/D	6	20 W	120 W	8	365	876KW-h /año
Total	-	126	-	2520 W	-	-	10482.8KW-h/año

Nota: Los cálculos fueron realizados asumiendo que el Motel esté trabajando al máximo de sus capacidades.

II. Realizar la nueva propuesta del sistema de iluminación.

La propuesta que se trae es la de la sustitución de las lámparas fluorescentes F20 W T –12/D y los balastos tradicionales existentes en el área de estudio por las lámparas fluorescentes ahorradoras F17W T-8 y balastos electromagnéticos de alta eficiencia.

	SISTEMA ACTUAL	OPCION AHORRADORA	
1	Fluorescente 2 x 75 W	Fluorescente 2 x 60 W	Lámpara T-12 blanco frío y balastro electromagnético.
2	Fluorescente 1 x 75 W	Fluorescente 1 x 60 W	Lámpara T-12 blanco frío y balastro electromagnético.
3	Fluorescente 2 x 39 W	Fluorescente 2 x 32 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
4	Fluorescente 2 x 40 W	Fluorescente 2 x 32 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
5	Fluorescente 2 x 20 W	Fluorescente 2 x 17 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
6	Fluorescente 4 x 39 W	Fluorescente 2 x 32 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
7	Fluorescente 4 x 20 W	Fluorescente 3 x 17 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
8	Fluorescente 6 x 39 W	Fluorescente 4 x 32 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
9	Fluorescente 8 x 39 W	Fluorescente 6 x 32 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
10	Fluorescente 2 x 56 W	Fluorescente 2 x 32 W	Lámpara T-8 3.000 K y balastro electromagnético de alta eficiencia.
11	Halógena 36 W tipo Dicroica	SLS – 18 W	Lámpara fluorescente compacta tipo reflector de 18 W.
12	Incandescente 75 W	SL – 15 W	Lámpara fluorescente compacta tipo reflector de 15 W.
13	Incandescente 100 W	SL – 15 W	Lámpara fluorescente compacta de 15 W.
14	Incandescente 150 W	SL – 18 W	Lámpara fluorescente compacta de 18 W.

III. Comparar los sistemas actual y propuesto.

Carga de la situación actual:

Demanda total x Factor de consumo del balastro = Potencia total consumida por el luminario.

$$2\,520 \times 1.2 = 3\,024 \text{ W.}$$

1.2 equivale al 20% de potencia consumida por el balastro con respecto a la potencia de las lámparas.

Carga de la situación propuesta:

Tabla 2.2.2

Local.	Tipo de iluminación	Cantidad	Demanda unitaria.	Demanda total.	Horas de uso al día	Días al año	Consumo de energía.
Habitaciones	F17W T -8	40	17 W	680 W	12	365	2978.4 KW-h /año
Baños	F17W T -8	10	17 W	170W	12	365	744.6KW-h /año
Pantry	F17W T -8	10	17 W	170 W	12	365	744.6KW-h /año
Lobby	F17W T -8	10	17 W	170 W	12	365	744.6KW-h /año
Salas de estar	F17W T -8	10	17 W	170 W	12	365	744.6KW-h /año
Balcones	F17W T -8	15	17 W	255 W	12	365	1116.9KW-h /año
Oficina	F17W T -8	2	17 W	34 W	8	365	99.28KW-h /año
Carpeta	F17W T -8	3	17 W	51 W	8	365	148.92KW-h /año
Baños de la	F17W T -8	2	17 W	34 W	8	365	99.28KW-h /año
Exteriores	F17W T -8	10	17	170 W	12	365	744.6KW-h /año
Lavaderos	F17W T -8	2	17 W	34 W	12	365	148.92 KW-h /año
Tienda	F17W T -8	5	17 W	85 W	8	365	248.2KW-h /año
Ropero	F17W T -8	1	17 W	17 W	8	365	49.64KW-h /año
Bar	F17W T -8	6	17 W	102 W	8	365	297.84KW-h /año
Total	-	126	-	2142 W	-	-	8910.38KW-h /año

$$2\,142 \times 1.1 = 2\,356.2 \text{ W}$$

1.1 Equivale al 10% de potencia consumida por el balastro ahorrador con respecto a la potencia de las lámparas.

El ahorro en potencia se determina mediante la siguiente expresión:

Ahorro en Potencia = Potencia del sistema actual - Potencia del sistema Propuesto.

Por tanto,

$$\text{Ahorro en Potencia} = 3\,024 \text{ W} - 2\,356.2 \text{ W} = 667.8 \text{ W}$$

El ahorro en consumo de energía será:

Ahorro de Energía = (consumo de energía total de la situación actual x factor de consumo del balastro) – (consumo de energía total de la situación propuesta x factor de consumo del balastro).

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de Energía} &= (10\,482.8 \times 1.2) - (8\,910.38 \times 1.1) \\ &= 12\,579.36 - 9\,801.41 = 2\,777.94 \text{ KW-h/año.} \end{aligned}$$

- Costo de sobreconsumo al país (C); (CUC/año).

$$C = \text{Ahorro de energía} \times \text{Costo del KW-h.}$$

Costo del KW-h = 0.1 CUC/KW-h.

C = 277.7 CUC/año.

- Toneladas de combustible convencional que se ahorrarán(B); (ton./año).
B = Ahorro de energía x (350)gr./KW-h x ton/10⁶ gr. =0.97 ton./año.

Cámaras Frías

Condiciones de explotación de las cámaras frías.

Para determinar las condiciones de explotación de las instalaciones se realizó un diagnóstico de recorrido en el cual se detectaron los principales problemas que están afectando la eficiencia de la utilización de la energía.

Cámaras del almacén de víveres A.T.M.

El almacén cuenta con tres cámaras: de congelación, de precongelación y de mantenimiento. Debe señalarse que la cámara de congelación se encuentra trabajando con dos compresores.

Es preciso destacar que en el momento de la realización de este trabajo la cámara de mantenimiento se encontraba fuera de servicio por estar quemado el compresor.

Características:

Cámara de Congelación:

- Temperatura de trabajo de la cámara: - 15°C.
- Productos que almacena: Bandas de cerdo, pollo, pescado.
- Potencia del compresor: Dos compresores de 2.6 KW cada uno con $\cos \varphi = 0.85$.
- Aislamiento: Capa de corcho de 0.1 m de espesor.
- Iluminación: Una lámpara de luz fría de 40 W.

Cámara de Precongelación:

- Temperatura de trabajo de la cámara: - 12°C.
- Productos que almacena: Masa de croqueta y huesos de res.
- Potencia del compresor: Un compresor de 3.6 KW con $\cos \varphi = 0.85$.
- Aislamiento: Capa de corcho de 0.1 m de espesor.
- Iluminación: Una lámpara de luz fría de 20 W.

Las principales deficiencias detectadas en esta área son:

- Mal estado del aislamiento térmico de forma general en las tres cámaras, existiendo en la cámara de congelación infiltraciones de aire, y en la de mantenimiento la caída del aislamiento del techo.
- La cámara de mantenimiento no se encuentra según lo establecido por las normas pues no antecede a la de congelación, por lo que el aire de recambio, al abrir la puerta de la cámara de congelación, entra a temperatura ambiente.

- Aunque existen los controles para realizar las paradas por temperatura, presión y descarche, sólo están realizando las paradas cíclicas para el descarche. Las de temperatura sólo se efectúan en la madrugada.
- No se realiza el plan de mantenimiento a los evaporadores y condensadores.
- Mala ubicación de los condensadores, lo que dificulta realizar su correcta limpieza.
- El sistema de desescarche de la cámara de congelación se encuentra defectuoso, detectándose que las resistencias eléctricas no alcanzan la temperatura necesaria para el completo desescarche. También se detectó la falta de aislamiento térmico a la tubería de drenaje, lo que está trayendo como consecuencia que el agua se congele en ella y no se logra evacuar.
- Existencia de sobredimensionamiento de los compresores, según demostró [Espinosa, 2000].

Cámaras de la cocina comedor de estudiantes.

En esta área existen tres cámaras: una de congelación y dos de mantenimiento. Se debe señalar que las dos cámaras de mantenimiento se encuentran trabajando con un sólo compresor.

Características:

Cámara de Congelación:

- Temperatura de trabajo de la cámara: - 6°C.
- Productos que almacena: Huesos de res, masa de croqueta, mortadela, picadillo, yogurt, leche.
- Potencia del compresor: Un compresor de 2.1 KW con $\cos \varphi = 0.8$.
- Aislamiento: Capa de corcho de 0.1 m de espesor.
- Iluminación: Una lámpara de luz fría de 40 W.

Cámara de Mantenimiento 1:

- Temperatura de trabajo de la cámara: 9°C.
- Productos que almacena: Papas, ajíes, huevos, mermelada, dulces, etc.
- Potencia del compresor: Un compresor de 2.1 KW con $\cos \varphi = 0.8$ que como se dijo anteriormente se utiliza para las dos cámaras de mantenimiento.
- Aislamiento: Capa de corcho de 0.1 m de espesor.
- Iluminación: Una lámpara de luz fría de 40 W.

Cámara de Mantenimiento 2:

- Temperatura de trabajo de la cámara: 7°C.
- Productos que almacena: Leche, mermelada, arroz, frijoles, verduras, etc.

- Potencia del compresor: Es el mismo de la Cámara de Mantenimiento 1.
- Aislamiento: Capa de corcho de 0.1 m de espesor.
- Iluminación: Una lámpara de luz fría de 40 W.

Las principales deficiencias encontradas en esta área son:

- El aislamiento térmico de esta cámara se encuentra en pésimas condiciones.
- Las juntas de las puertas están en malas condiciones, además, existe indisciplina tecnológica pues las tienen abiertas la mayor parte del tiempo o las abren innecesariamente.
- Al igual que en las cámaras de A.T.M., los sistemas de descarche se encuentran defectuosos y no se realizan las paradas reglamentadas.
- Sub-utilización del espacio de la capacidad de la Cámara de Mantenimiento 2. En ocasiones existen tan pocos productos que es posible guardarlos en la cámara de mantenimiento 1. Esto no se realiza porque, al estar funcionando ambas con un mismo compresor, está obligada a seguir trabajando.
- En la Cámara de Mantenimiento 1 las paredes están cubiertas, en algunos lugares, con una película de color verdoso que bien podría de ser de bacterias u hongos lo que podría, de ser cierto, afectar los productos y la salud de las personas.

De las deficiencias detectadas durante el chequeo que se realizó a las cámaras frías en estudio, se considera que es el mal estado del aislamiento térmico la principal causa del aumento del consumo en estos sistemas, sobre consumo dado por la incapacidad de los compresores de mantener las temperaturas de trabajo, por lo que son obligados a trabajar más horas de las que vienen orientadas en su diseño. Esto sin tener en cuenta el sobre consumo por el sobredimensionamiento de los compresores.

Cuantificación de las pérdidas producto del mal estado del aislamiento térmico.

- Sobreconsumo ΔE ; (KW-h/año).

$$\Delta E = E_R - E_I$$

Donde:

E_R = Consumo real; (KW-h/año).

$E_R = N_R \times \text{hr. reales de trabajo al día} \times \text{días al año}$.

E_I = Consumo ideal; (KW-h/año).

$E_I = N_R \times \text{hr. teóricas de trabajo al día} \times \text{días al año}$.

N_R = Potencia real consumida por el compresor; (KW).

$$N_R = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Donde:

V = Voltaje; (V).

I = Intensidad de corriente, medida; (A).

$\cos \varphi$ = Factor de potencia.

Los valores de chapa de estas variables se pueden ver en la siguiente tabla.

Compresores	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (KW)	Refrigerante	n (r.p.m)	Frecuencia (Hz)
Congelación de A.T.M. (son iguales)	220	12.4	2.6	Freón 12	1750	60
Precongelación de A.T.M.	220	12.4	3.6	Freón 12	1750	60
Congelación del comedor de estudiante.	220	12.8	2.1	Freón 12		60
Mantenimiento del comedor de estudiante	220	12.8	2.1	Freón 12		60

En la tabla siguiente se observan mediciones realizadas

Cámaras.	Voltaje (V).	Intensidad (A).	Tiempo de trabajo teórico (hrs).	Tiempo de trabajo real (hrs).
Congelación de A.T.M.	220	Compresor 1 10.2 Compresor 2 10	16.8	20
Precongelación de A.T.M.	220	10	16.8	22
Congelación de la cocina comedor de estudiante.	220	11.5	16.8	21.5
Mantenimiento de la cocina comedor de estudiante.	220	12	16.8	22

Resultados de los cálculos realizados.

- Cámara del almacén de A.T.M.

CAMARAS	VARIABLES			
	N_R	E_i	E_R	ΔE
Congelación: Compresor 1	3.3	20 235.6	24 090	3 854.4
Compresor 2	3.23	19 861.14	23 579	3 717.86
Precongelación	3.23	19 861.14	25 936.9	6 075.76

- Cámaras de la Cocina Comedor de Estudiantes.

	VARIABLES			
CAMARAS	N_R	E_I	E_R	ΔE
Congelación.	3.5	21 462	27 466	6 004
Mantenimiento	3.65	22 381.8	29 309.5	6 927.7

$$\Delta E_T = \sum_{C=1}^n \Delta E = 26\,579.72 \text{ KW-h/año} = 26.58 \text{ MW-h/ año.}$$

- Costo de sobreconsumo al país (C); (CUC/año)
 - $C = \Delta E_T \times \text{Costo del KW-h.}$
 - Costo del KW-h = 0.1 CUC/KW-h
 - $C = 2\,658 \text{ CUC/año.}$
- Toneladas de combustible convencional que se ahorrarían(B); (ton./año).
 - $B = \Delta E_T \times (350) \text{ gr./KW-h} \times \text{ton}/10^6 \text{ gr.} = 9.3 \text{ ton./año.}$

Sistema de Bombeo

En la UMCC existen grandes problemas con el agua, esto es debido a que sólo existe una bomba funcionando y a los salideros y roturas de válvulas en el sistema de tuberías de la misma. Todo esto está trayendo consigo la recirculación de agua lo cual tiene como consecuencia un exceso de trabajo de la bomba y un sobre consumo de energía de la misma.

La conexión de las bombas existentes en la UMCC es en paralelo. Esta conexión es muy común en la industria, ya que por sí mismas constituyen un método para operar con gastos variables. Este tipo de conexión tiene la ventaja de mantener máquinas de reserva que se ponen en servicio cuando el sistema demanda un gasto superior al que pueden ofrecer las que ya estén en funcionamiento. Esto no puede ponerse en funcionamiento en la UMCC ya que solamente hay una bomba funcionando.

El sistema está constituido por una cisterna de gran capacidad, de la cual la bomba toma el agua. El sistema de tuberías esta compuesto en la succión por un primer tramo de 6 pulg. de diámetro y otro de 3 pulg., la descarga consta de 4 tramos 3, 4, 3, 10 pulg. para impulsarla hasta la altura de 24 m donde se descarga en el tanque. Este es el recorrido que debe seguir normalmente el agua, no obstante, debido a conexiones que existen en mal estado, mucha de esa agua recircula o se pierde.

Cálculo de la potencia de bombeo actual.

Datos de chapa.

Bomba

$$Q = 100 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Los restantes datos no fue posible tomarlos por estar deteriorada la chapa.

Motor

$$\text{Voltaje} = 220/440 \text{ V.}$$

Intensidad = 98/ 40 A.

n = 3 530 r.p.m.

Potencia = 30 KW.

$\eta = 0.91\%$

$\cos \varphi = 0.85$

La potencia eléctrica real consumida por la motobomba se determinó:

$$N_{el} = 3^{0.5} \times \cos\varphi \times V \times I \quad (1)$$

Se midieron directamente el voltaje (V) y la intensidad de corriente (I).

V = 220 V.

I = 70 A.

$N_{el} = 22\,672.54 \text{ W} = 22.67 \text{ KW}$.

Según determinaciones anteriores, el flujo bombeado que después se pierde o recircula es de 5,31 m³/h, lo que representa el 5,31% del caudal que manipula la bomba que es 100 m³/h. Por tanto, la potencia consumida innecesariamente representa el mismo por ciento anterior y es:

$N_{el} = 1,2 \text{ KW}$

-Consumo de energía de la bomba por salideros:

$C_e = 12 \text{ KW-h /día} = 4\,380 \text{ KW-h /año}$.

- Costo en que incurre el país (C_p); (CUC/año).

$C_p = 438 \text{ CUC/año}$.

-Consumo de combustible debido a los salideros.

$C_{cc} = C_e \times (350)\text{gr./KW-h} \times \text{ton}/10^6 \text{ gr} = 1.53 \text{ ton /año}$.

Según cálculos realizados con el programa de computación pumping system assessment tool⁸, además de lo anteriormente señalado, existen reservas de eficiencia tanto en el motor como en la bomba. Es decir, que instalando la bomba óptima con un motor de alta eficiencia se lograría disminuir el consumo de potencia.

Cálculo de las pérdidas de carga en el sistema de bombeo de la Universidad de Matanzas.

Se utilizó la ecuación general de la energía mecánica, la cual está como herramienta ("pipe flow") en el libro interactivo de Ligget y Caughey²⁷.

Según Fox (1995) la rugosidad relativa se multiplica por un factor que varía entre 2 y 5 cuando el tubo lleva varios años de uso. Como el sistema de tuberías en cuestión lleva más de 20 años de explotación se multiplicará por 5, esto permite estar por el lado de la seguridad.

Como el sistema de tuberías que se analiza consta de diferentes diámetros, el cálculo se realizó por tramos obteniendo en cada uno de ellos la pérdida de carga.

Las propiedades del fluido para la realización del cálculo fueron:

Temperatura media = 27 °C

⁸ Department of Energy's Motors Challenge (2000): Pumping system assessment tool. USA. (Formato electrónico).

Densidad = 996 Kg / m³

Peso específico = 9.773 KN /m³

Viscosidad dinámica = 0.0 008 511Pa x s

Introduciendo en la herramienta los datos anteriores, el flujo, las alturas geométricas, la presión de entrada y las características de los accesorios se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 2.4.1. Resultados obtenidos.

Tramos.	P ₂ (KPa)	f	Rugosidad absoluta.	H(m)
I.	2.66	0.0226	0.04 713 x 5 = 0.3 556	0.8397
II.	-9.87	0.0375	0.15 x 5 = 0.75	1.28
III.	598.5	0.0375	0.15 x 5 = 0.75	4.57
IV.	591.9	0.02436	0.004 671 x 5 = 0.2 338	2.27
V.	559.2	0.02637	0.04 641 x 5 = 0.232	4.34
VI.	323	0.031	0.256 x 5 = 1.28	0.149

$$\Sigma H = 13.45 \text{ m}$$

$$H_p = (Z_2 - Z_1) + \Sigma H = (24-1) + 13.45 = 36.45$$

Aproximando por exceso $H_p = 37 \text{ m}$

Selección de la bomba adecuada para disminuir el consumo de potencia en el sistema de bombeo de la Universidad.

Para la selección de la bomba se utilizaron los catálogos de la Grundfos suministrados por el Grupo CoMetal Ing. Como resultado de la búsqueda se obtuvo la bomba que se ajusta a las necesidades de flujo y carga.

Datos de la bomba:

Bomba: NK 65-160 horizontal.

Diámetro de succión y descarga: 157 mm.

Datos del motor:

Potencia eléctrica: 18.5 kW.

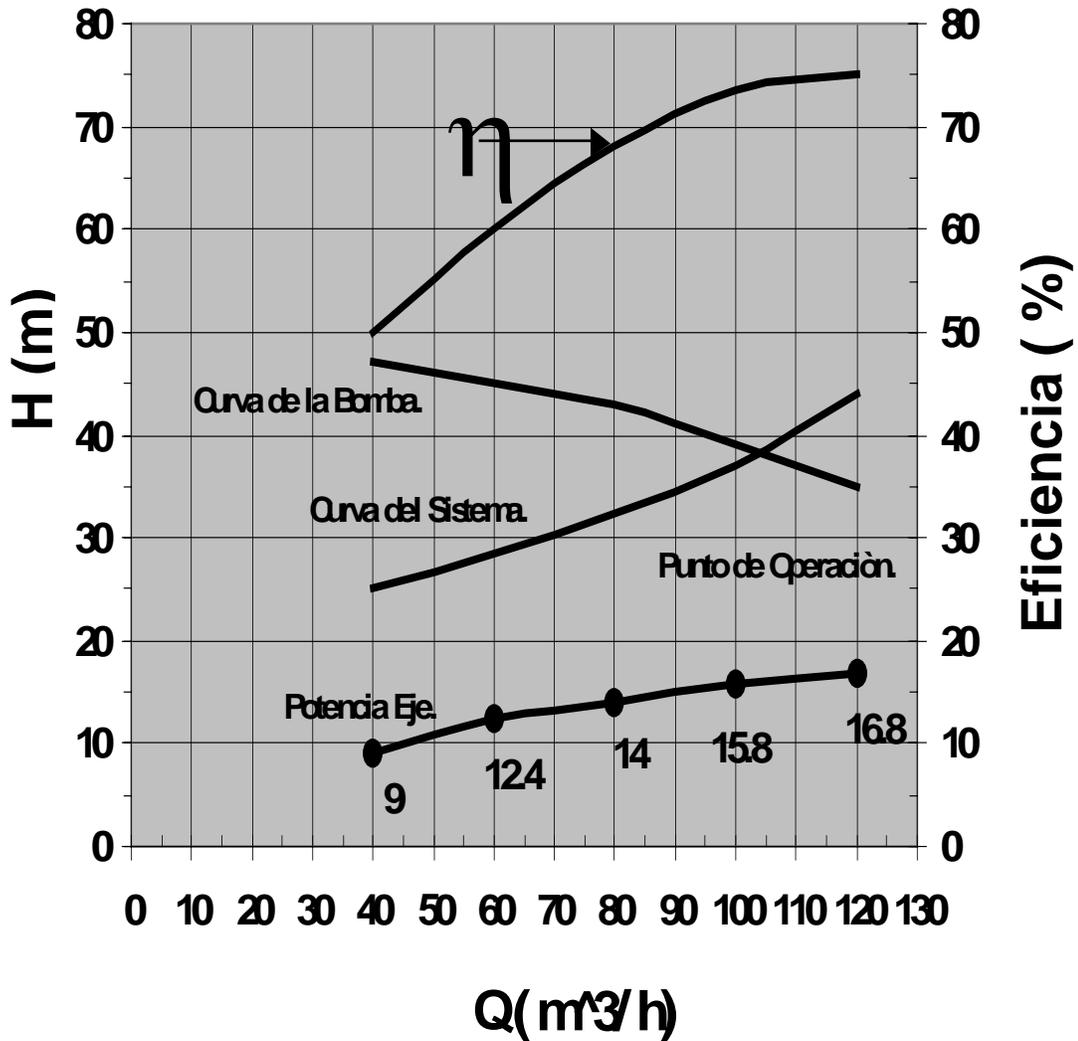
Frecuencia: 60 Hz.

n = 3 500 rpm.

Voltaje = 220 V.

$\eta = 90\%$.

Después de haber obtenido la curva del sistema para diferentes flujos en el rango de trabajo de la bomba y las curvas de H vs. Q, η vs. Q, y P vs. Q se obtuvo el punto en el cual se encontrará operando la bomba en el sistema.



Punto de operación.

Q = 104m³ / hrs.

H = 38 m.

Peje = 16 kW.

η = 74%

Como se puede observar, los parámetros de los puntos de operación se encuentran por encima de las necesidades, esto permite suplir cualquier deficiencia que se presente en el sistema.

Cuantificación de los ahorros.

A continuación se calcularán los ahorros que se obtendrán de la sustitución de la bomba existente por la bomba seleccionada.

Ahorros (A) = Cb de la bomba existente – Cb de la bomba propuesta.(\$/año)

Donde:

- Costo de bombeo de la bomba existente

Consumo de energía anual (E) = P.e.p.o. x horas de trabajo al día x 365 días
al año

Donde:

La potencia eléctrica real consumida por la motobomba (P.e.p.o) se determinó:

$$P.e.p.o = 3^{0.5} * \cos\phi * V * I$$

Se asumió $\cos\phi = 0.85$

Se midieron directamente el voltaje (V) y la intensidad de corriente (I)

$$V = 220 \text{ v}$$

$$I = 70 \text{ A}$$

$$P.e.p.o = 22\ 672.54 \text{ W} = 22.67 \text{ KW}$$

Horas de trabajo al día = V_t / Q (h).

V_t (volumen del tanque) = 363.360 m^3

Horas de trabajo al día = 3.63 h, si el tanque se llena dos veces al día entonces son 7.26 h

Por mediciones realizadas se comprobó que el tiempo real de trabajo es de 10 horas al día producto de los salideros y la recirculación del agua.

Costo de bombeo (Cb) = Consumo de energía anual x costo KW-h.

Costo KW-h = 0.1 CUC/KW-h

-Costo de bombeo de la variante propuesta :

$$(P.e.p.o.) = \rho \times H \times Q \times g / (\eta_b \times \eta_m)$$

H = Carga de la bomba en el punto de operación (m).

Q = Flujo en el punto de operación.(m^3/s).

η_b = Eficiencia de la bomba en el punto de operación.

η_m = Eficiencia del motor eléctrico.

Tabla 2.4.2. Resultado de los cálculos realizados

Bombas	P.e.p.o. (KW)	E (KW-h /año)	Cb (CUC/año)	η (%)	Ahorros (CUC/año)
Existente.	22.67	82 746	8274	53.34	-
Seleccionada.	17.8	64 970	6497	74	1777

- Cantidad de dinero que se ahorraría el país (Cd); (CUC /año).

$$Cd = 1777 \text{ CUC /año .}$$

- Toneladas de combustible convencional que se ahorrarían(B); (ton./año).

$$B = \text{Ahorro de energía} \times (350)\text{gr./KW-h} \times \text{ton}/10^6 \text{ gr.} = 6.22 \text{ ton./año.}$$

CONCLUSIONES

Después de finalizar el trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

1. La sustitución del sistema de iluminación existente en el Motel por el propuesto en el presente trabajo, traería consigo un ahorro de 2 777.94 KW-h/año, 277.7 CUC/año. También se dejarían de consumir 0.97 toneladas de combustible por lo que se dejarían de emanar al medio ambiente 150.35 Kg de gases contaminantes al año.
2. Con respecto a las cámaras frías, se considera que el principal factor que afecta el correcto funcionamiento de las mismas es el mal estado en que se encuentra el aislamiento térmico, por lo cual se está obteniendo un sobre consumo de 26.58 MW-h/año, que significa un costo para el país de 2658 CUC/año y se están consumiendo 9.3 toneladas de combustible al año, por lo se emanan al medio ambiente 1 441.5 Kg de gases contaminantes al año.
3. El cálculo de las pérdidas arrojó como resultado que se necesitan 37 m de carga para suplir las pérdidas existentes y la altura geométrica. De la selección realizada se obtuvo la bomba: NK 65-160 con lo que se podrían ahorrar 17.77 MW/año, lo que significa un costo para el país de 1777 CUC/año. Se dejarían de consumir 6.22 ton de combustible al año y se dejarían de emanar 964 Kg de gases contaminantes al año.

FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

1. Alfonso Lastra, Eberto (1979): Electrotecnia General. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana.
2. Alvarez Abad, Alejandro A. (1997): Diagnóstico mediante termoeconomía en instalaciones turísticas. Trabajo de Diploma. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
3. Arellana Jiménez, Jorge Angel (1997): Proyectos de inversiones. Términos de referencia para su formulación. Editorial UPSA. Bolivia.
4. Boast, Warrwn B. (1953): Illuminator Engineering. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
5. Buitrón Sánchez, Horacio (2001): Recomendaciones para el ahorro de energía en motores eléctricos. FIDE. México.
6. Campos Avella, J. C (1998): Eficiencia en la Gestión Empresarial. Universidad de Cienfuegos.
7. Colectivo de Autores (S/F): Elementos básicos de un diagnóstico orientado a la aplicación de un programa de ahorro de energía eléctrica. FIDE. México.
8. Comisión Nacional de Energía (S/F): Electro energética. Cálculos rápidos II. Ciudad de La Habana.

9. Department of Energy's Motors Challenge (2000): Pumping system assessment tool. USA. (Formato electrónico).
10. Désiré Marcel, Ramila (1997): Análisis termo económico de un ciclo de refrigeración con recuperación de calor. Trabajo de Diploma. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
11. Enciclopedia Microsoft Encarta. (2001).
12. Espinosa Mejías, Henry A. (2000): Análisis de algunos sobre consumos para la gestión energética en la Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
13. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) (2001): Como ahorrar energía eléctrica. México.
14. _____: Recomendaciones para el ahorro de energía en bombas centrífugas. México.
15. _____: Aspectos básicos del factor de potencia orientados al ahorro de energía eléctrica. México.
16. Fox, Robert W.; Mc Donaal, Alan T. (1995): Introducción a la mecánica de los fluidos. Editorial McGraw – Hill. México.
17. Gatskins Acosta. Etzell (2001): Sistema de bombeo de la Universidad de Matanzas y la Vaquería. Proyecto de Curso # VI. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
18. Giles, Ronald V. (1985): Mecánica de los fluidos e hidráulica. Editorial McGraw–Hill. México.
19. González Jordán, Roberto (1986): Ahorro de energía en Cuba. Editorial Científico-Técnica. La Habana.
20. Grupo de Eficiencia Energética (2002): Informe para la gestión eficiente de la energía en la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Centro de Estudios de Combustión y Energía (CECYEN). Matanzas.
21. Hassan Mohamed-Salem, Mohamed (2001): Evaluación de las cámaras de congelación de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Trabajo de Diploma. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
22. Kenneth, J. Mc Naughton y el cuerpo de autores de Chemicals Engeeniering (1990): Bombas. Selección, uso y mantenimiento. Editorial McGraw-Hill. México.
23. Marrero Figueredo, Conrado; Fernández Serna, Carlos (1986): Problemas de mecánica de los fluidos. Editorial ISPAJAE. Ciudad de La Habana.
24. Núñez Betancourt, Alberto (2002): "Hacia la necesaria cultura del ahorro". En: Periódico Granma. Ciudad de La Habana. Jueves 11 de abril.
25. Office of Industrial Technologies (2000): Pumping Systems Assessment Tool, Department of Energy, USA. (Formato electrónico)
26. Olvera Espinoza, Carlos A.; Erika Valencia, Ma de J.; Estrada Flores, Silvia. (S/F). Ahorro de energía en sistemas frigoríficos. Pág. web: http://www.geocities.com/cape_Canaveral/station/6035/Papers/Fuer.htm.
27. Oramas Alfonso, Lourdes; Martel Ceballos, Marybel; Laborit Medina, Redisney; Rodrigues Alfonso, Iván (2001): Fluid machanics an interactive text. Dirección de información científico técnica. ISPJAE. (Formato electrónico)

28. PAE (2002): Recomendaciones generales para equipos eléctricos. (Formato electrónico). Disponible en <http://www.fiqm.umcc.cu/bibliog/reprints/0072.pdf>
29. Polaino de los Santos, Lázara; Castilla Rosell, Sara; Padrón Fraga, Verónica (1987): instalaciones de climatización. Editora ISPJAE. Ciudad de La Habana.
30. Ramos Páez, Néstor (1995): Bombas, Ventiladores y compresores. Editorial ISPJAE, Ciudad de La Habana.
31. Revista: Gestión de hoteles y empresas turísticas. Editorial Alción, S.A. España. N°3, Mayo / junio 2000.
32. Ruelas Gómez, Roberto (2001): Medidas de ahorro de energía. Pág. web: <http://www.solstice.crest.org/software-central/html/other-lighting.shtml>.
33. (S/A) (S/F): Mejora de la efectividad y la eficiencia en los sistemas de iluminación. Formato electrónico. Disponible en <http://www.fiqm.umcc.cu/bibliog/reprints/0073.Pdf>
34. Sánchez Avila, José Luis (2002): Postgrado de mantenimiento y ahorro de energía. (Resumen). Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
35. Saberats López, Yolanda M. y Colectivo de autores (2001): Ahorro de energía. La esperanza del futuro. Editorial Política. Ciudad de La Habana.
36. Stoecker, W. F. (1987): Refrigeración y acondicionamiento de aire. Edición Revolucionaria. Ciudad de La Habana.
37. Vennard, John K.; Street, Rober L. (1986): Elementos de mecánica de los fluidos I y II. Editorial Edición Revolucionaria. Ciudad de La Habana.
38. Wong Zayas, Luciano (S/F): Instalaciones frigoríficas y aire acondicionado. Informe Técnico, Instituto Superior Agro-Industrial “Camilo Cienfuegos”.