

## ESTUDIO Y ANALISIS DE ESTRATEGIAS DE AHORRO DE ENERGÍA USANDO EL SOFTWARE EES (ENGINEERING EQUATION SOLVER) PARA LA EMPRESA FRIGORIFICO DE PEREIRA S.A.

### RESUMEN

Este artículo sugiere los lineamientos para un programa de ahorro de energía aplicable en plantas frigoríficas con la ayuda del software EES (Engineering Equation Solver), el cual está constituido por el desarrollo de algunas estrategias de ahorro de energía.

**PALABRAS CLAVES:** Estrategias, frigoríficos, EES.

### ABSTRACT

*This article suggests the lineaments for a program of saving of applicable energy in plants refrigerators with the help of the software EES (Engineering Equation Solver), which is constituted by the development of some strategies of saving of energy.*

**KEYWORDS:** Strategies, refrigerators, EES.

**ÁLVARO H. RESTREPO V.**

Ingeniero Mecánico, MSc.

Profesor Auxiliar

Universidad Tecnológica de Pereira.

arestrep@utp.edu.co

**ÁLVARO LEÓN FERNÁNDEZ**

Ingeniero Mecánico

Universidad Tecnológica de Pereira.

**VÍCTOR DARÍO GRAJALES.**

Ingeniero Mecánico

Universidad Tecnológica de Pereira.

victordgo@hotmail.com

### 1. INTRODUCCIÓN

El ahorro de energía en cualquiera de sus formas en plantas frigoríficas repercute de manera inmediata en bajos costos de producción. Hoy en día existen varias técnicas de ahorro y se han instrumentado las instancias gubernamentales necesarias para poder asesorar a la pequeña, mediana y gran industria en esta área. De acuerdo con estadísticas energéticas, son justamente la pequeña y mediana industria las que deben hacer un esfuerzo mayor por prepararse y formar una conciencia de ahorro energético a todos los niveles; no sólo por el impacto económico, sino también por el impacto ambiental.

La energía es un rubro de gran importancia en cualquier proceso productivo y la Empresa Frigorífico de Pereira FRIGOPER S.A, no es la excepción, el uso adecuado de la energía, puede no solo significar un aumento de utilidades, sino garantizar el sostenimiento en el mercado de los servicios ofrecidos brindando precios competitivos.

El primer paso para lograr un mejor uso de la energía es el de realizar un diagnóstico energético<sup>1</sup>, el cual consiste en efectuar una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia/deficiencia que tiene una planta.

El diagnóstico energético [6] tiene como base la identificación del consumo energético, que da respuesta

a la pregunta ¿Cómo, dónde y cuanta energía es empleada o desperdiciada? Además de lo anterior, el diagnóstico da las primeras pautas para la implementación de medidas conducentes al mejor uso de los recursos, y a menudo crean conciencia sobre el uso racional de la energía, pero su objetivo práctico es lograr procesos energéticamente eficientes y económicamente más rentables (FIDE, 1995a).

En nuestro país, son contadas las empresas que se han sometido a un diagnóstico energético, debido a que existen dudas respecto a los beneficios obtenidos con este procedimiento.

La CONAE<sup>2</sup> en asociación con la Comisión de la Unión Europea y la Secretaría de Energía (CONAE, 1995a) presenta metodologías que permiten ahorros energéticos que van desde un 15 hasta un 25% dependiendo de la complejidad de la medida adoptada. Sin embargo, se debe tener en cuenta que cada empresa es diferente y los resultados obtenidos, no son necesariamente equivalentes a los sugeridos en función de la mejora. La aplicación de una o varias de estas medidas debe hacerse sobre bases firmes en el conocimiento de tecnología frigorífica y aspectos específicos de la planta en cuestión.

El propósito del presente trabajo es analizar, con ayuda del software EES (Engineering Equation Solver) una serie de técnicas de exploración y evaluación que permitan determinar el grado de eficiencia que pueda tener una planta dedicada a suministrar frío, con el fin de obtener estrategias energéticas que representen un ahorro de energía eléctrica en los equipos del proceso.

<sup>1</sup> Ministerio de Energía y Minas (MEM). Programa De Ahorro De Energía (PAE). Revista Eficiencia Energética – Electricidad. Perú, 2002. Disponible en Internet. < URL:

[http://www.mem.gob.pe/pae/lefi/CI\\_6.DOC](http://www.mem.gob.pe/pae/lefi/CI_6.DOC).

Fecha de Recepción: 31 Agosto de 2006

Fecha de Aceptación: 24 Enero de 2007

<sup>2</sup> CONAE: Comisión nacional para el ahorro de energía (México)

El resultado final fue una herramienta computacional simple, didáctica y atractiva al usuario, cuyo objetivo bajo el ambiente del software EES, es el desarrollo de algunas estrategias para el ahorro de energía aplicable a plantas frigoríficas; ya que permite facilidad y celeridad en la obtención de los resultados.

## 2. FRIGORÍFICO DE PEREIRA S.A. [4], [5]

Frigorífico de Pereira S.A. fue Fundada en 1976. Es la Empresa Frigorífica más grande del Eje Cafetero por capacidad y movimiento de producto.



Figura 1. Planta Frigoper S.A.

FRIGOPER S.A. es el primer operador logístico de productos refrigerados de la región. Cuenta con 28 años de experiencia refrigerando y congelando diferentes productos. Las instalaciones de frío, son técnica y específicamente construidas para la conservación de productos perecederos.

Se cuenta con almacenamiento suficiente para 850 toneladas distribuidas en 7 cámaras independientes y 2 túneles con capacidades desde 5 y hasta 300 toneladas, para satisfacer las necesidades de empresas como: Comepez S.A., Congelagro S.A., Fresmar, Frisby, Industrias Normandy, Jugos Postobón, Klik - Kokoriko, Pimpollo S.A., Pronaca Colombia S.A. Conservando diferentes productos como: pulpas y concentrados de frutas; carnes de pollo, res y cerdo;; pescados y mariscos; productos lácteos, congelados, refrigerados y secos.

### 2.1 Máquinas, Equipos y Productos.

La empresa cuenta con 7 cuartos independientes en las cuales se distribuyen los diferentes productos y dos túneles de enfriamiento. Ver tabla 1.

Cuartos	Producto almacenado
1	Pulpas de fruta, precocidos, pescado.
2	Fuera de servicio
3 y 4	Productos precocidos.
5 y 6	Fuera de servicio
7	Lácteos, jugos, arepas, dulcería, flores y cárnicos.
Túnel 1	Pescado y camarones.
Túnel 2	Hortalizas congeladas.

Tabla 1. Producto almacenado en la empresa Frigorífico de Pereira S.A.

La tabla 2 muestra la distribución de máquinas en cada cuarto.

Cuartos	Área (m <sup>2</sup> )	Número de la máquina
Cuarto 1	195	1 y 2
Cuarto 2	36	3
Cuarto 3 y 4	72	4 y 5
Cuarto 5 y 6	224	6 y 7
Cuarto 7	104	8, 9 y 10
Túnel 1	18	11
Túnel 2	16	12

Tabla 2. Máquinas por cuarto.

Las características de las máquinas generadoras de frío se describen a continuación:

- Compresores marca COPELAMETIC del tipo Discos, con 3 y 4 cilindros y una capacidad de refrigeración de 33 y 15 kW.



Figura 2. Compresor Máquina 4

- Los evaporadores son marca LARKIN con tipo de descongelación por resistencias, su capacidad varia de acuerdo a las necesidades del cuarto y oscilan entre 36000 Btu/h hasta 106000 Btu/h, con un número de ventiladores entre 2 y 3. (datos de placa)



Figura 3. Evaporador Máquina 5

- Los condensadores son marca LARKIN con una capacidad aproximada de 84000 Btu/h, son enfriados por aire, con un número de ventiladores entre 1 y 2. Las unidades que presentan un solo ventilador son las que vienen en conjunto con el compresor.



Figura 4. Condensador máquina 2 y 4

- Las válvulas de expansión termostática son con equalizador externo para R502, Tipo ALCO, Marca ALCO CONTROLS.

Inicialmente el propósito del proyecto fue realizar el diagnóstico energético a los cuartos que presentaran algunas características especiales en consumos o toneladas de producto, finalmente el estudio se realizó en los cuartos 1, 3 y 4. La selección de estas se lleva a cabo por sugerencias de la gerencia de la empresa, dado que los cuartos 3 y 4 se encuentran en operación logística de congelados y el cuarto 1 opera en almacenamiento y por lo tanto, los datos obtenidos, resultan representativos para la empresa.

### 3. EES (Engineering Equation Solver)

Programa que resuelve ecuaciones de ingeniería. La función básica del EES es la solución numérica de ecuaciones algebraicas. EES sin embargo puede ser utilizado para resolver ecuaciones diferenciales y ecuaciones de integración, análisis de incertidumbre y regresiones lineales y no-lineales, y generar gráficas.

El EES reordena automáticamente las ecuaciones para una solución eficiente, y provee muchas herramientas matemáticas y propiedades termodinámicas usadas para el cálculo de ingeniería. Por ejemplo en las tablas de vapor, cualquier propiedad termodinámica puede ser obtenida desde la construcción de una función en términos de dos propiedades.

Al igual que para el caso anterior, también es fácil determinar propiedades de varios refrigerantes, amoníaco, metano, dióxido de carbono y otros fluidos. Construcción de tablas de aire y sus funciones psicrométricas.

### 4. CARGAS TÉRMICAS, TIEMPOS DE ENFRIAMIENTO Y CONGELAMIENTO [2]

Como ya se mencionó, para el desarrollo de este trabajo, se realizó el estudio de las cargas térmicas de las cámaras 1, 3 y 4.

Existen diferentes factores que producen la ganancia de calor en un espacio refrigerado entre los cuales están, el paso de calor a través de paredes, piso y techo; infiltraciones de aire exterior; calor debido a luces; calor por personas; equipo eléctrico y térmico; enseres y productos almacenados.

Los componentes de la carga total de refrigeración son:

- Carga solar ( $\dot{Q}_1$ ), es producida por efectos de calentamiento solar sobre las paredes del cuarto y sobre la estructura del techo.
- Carga por barreras ( $\dot{Q}_2$ ), la cual es la ganancia de calor dentro de la cámara a través de la superficie.
- Carga debido a luces ( $\dot{Q}_3$ ), es el calor cedido por lámparas o bombillos dentro del espacio refrigerado.
- Carga de aire de infiltración ( $\dot{Q}_4$ ), es la ganancia de calor asociada con el aire que ingresa a la cámara.
- Carga por personas ( $\dot{Q}_5$ ), esta asociada con la disipación constante de calor y humedad cedido por las personas que laboran dentro del cuarto.
- Carga por equipo eléctrico, enseres y equipo térmico ( $\dot{Q}_6$ ), la cual es producida por la transformación de la energía de motores eléctricos, ventiladores, canastas, tambores, etc.

• Carga por producto ( $\dot{Q}_7$ ), es el calor que se extrae a los productos almacenados en el espacio refrigerado. Simultáneamente se estimaron los tiempos de congelamiento procedimiento sustentado en el método de Pham<sup>3</sup>. Para de esta forma tener la información necesaria para la caracterización de los cuartos en el software EES.

La figura 5 muestra los resultados obtenidos para la cámara 1.

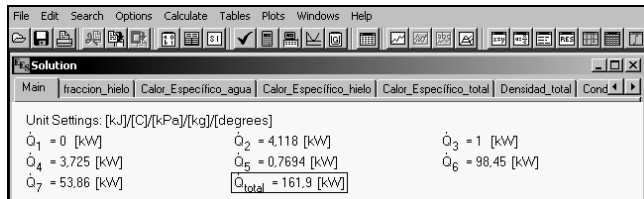


Figura 5. Carga térmica total cuarto 1

Los resultados de los cuartos 3 y 4 se muestran en la figura 6. a pesar de que estas cámaras almacenan varios productos, para el cálculo de las cargas térmicas se tomaron como base los productos precosidos por ser los de mayor capacitancia térmica.

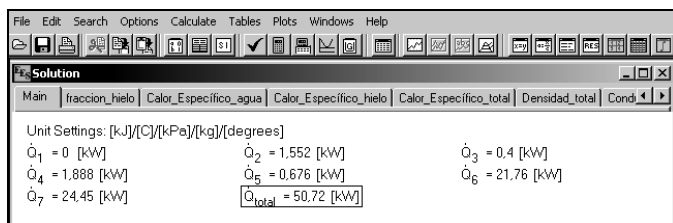


Figura 6. Carga térmica total cuartos 3 y 4.

## 5. ESTRATEGIAS POSIBLES A APLICAR EN FRIGOPER. [4], [5]

Realizando un previo estudio de las estrategias que comúnmente se utilizan en cuartos fríos y el análisis de recorrido desarrollado en la planta Frigoper se determinó que las posibles estrategias a utilizar son:

- Reducir presión de alta.
- Aumentar presión de baja.
- Aumentar o disminuir sobrecalentamiento.
- Usar intercambiadores para subenfriar o sobrecalentar.
- Aislar térmicamente las tuberías de admisión.
- Emplear aceite sintético.
- Reemplazo del refrigerante CFC por HFC, en este caso reemplazar R-404A por R-507A.
- Usar acoples directos.
- Usar motores eléctricos de alta eficiencia.

- Usar espesor económico de paredes según norma técnica o según cálculos para minimizar costo total. Verificar que  $x_{opt} < x_{instalado}$ .
- Minimizar infiltraciones.
- Redistribuir producto.
- Mejorar eficiencias del compresor ( $\eta_v, \eta_s$ ).
- Mejorar distribución de aire en el cuarto frío y evitar que la carga de descongelamiento afecta el producto.
- Mejorar proceso de descongelamiento.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al analizar algunas de las estrategia anteriores, en caso de su implementación, algunas requieren inversiones mientras que otras no. Los datos empleados corresponden a los medidos en sitio por el grupo de trabajo.

### 5.1 Aumentar la presión de baja.

Para obtener la mayor capacidad y la mayor economía de operación, es de gran importancia que el sistema de refrigeración opere a las presiones de succión más altas posibles.

Conforme se reduce la presión de succión a la salida del evaporador, aumenta el volumen específico del gas que regresa al compresor, y desciende el paso del refrigerante bombeado por el compresor. Por lo tanto la pérdida de presión en el evaporador causa una reducción de capacidad en el sistema, y es importante que se calcule correctamente el evaporador para que no existan perdidas de presión anormalmente grandes.

A continuación se mostraran los cálculos para la máquina 1 la cual presenta una presión de alta 185 psig, e inicialmente una presión de baja de 22 psig, variando posteriormente a una presión de 25 psig. Se expondrá mediante el software EES los resultados obtenidos.

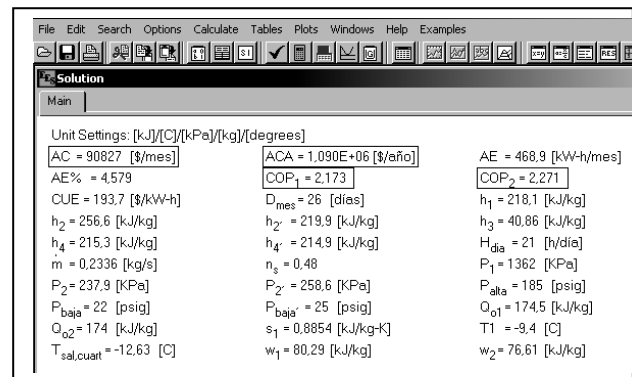


Figura 7. Aumento de la presión de baja

Como se puede ver, al aumentar la presión de baja, aumenta el COP y disminuye el calor rechazado por el condensador, reduciendo así la potencia consumida.

<sup>3</sup> ASHRAE Refrigeration Handbook (SI). Atlanta, Georgia. ASHRAE, 2002, páginas 9.1 – 9.16.

**5.2 Aumentar o disminuir sobrecalentamiento.**

Las relaciones entre la presión y la temperatura para un líquido, son directamente proporcionales; es decir, al aumentar la presión aumenta la temperatura y viceversa. Cuando a un líquido se le reduce su presión, disminuye su punto de ebullición, y para evaporarlo, se requiere más calor. Por el contrario, cuando se aumenta la presión sobre el líquido, aumenta su temperatura de ebullición. En cada uno de estos puntos, tanto el líquido como el vapor, están en una condición de saturación.

Por lo general una cierta cantidad de sobrecalentamiento es inevitable y en muchos casos es deseable. Cuando el vapor de la succión es pasado en forma directa del evaporador hasta la entrada de succión del compresor y sin ningún sobrecalentamiento, se tienen posibilidades de que pequeñas partículas de líquido no vaporizado se tengan dentro del vapor, este vapor “húmedo” en la succión puede causar efectos adversos en la capacidad del compresor. Es esencial que la temperatura del gas que regresa al compresor este a una temperatura mínima de 9.5°C arriba de la temperatura de evaporación, para evitar el flujo de refrigerante líquido al compresor.

A continuación se mostrará el efecto del sobrecalentamiento (sin aprovechamiento del enfriamiento) para la máquina 1 la cual presenta una presión de alta 195 psig, y una presión de baja de 23 psig. Se expondrá mediante el software EES los resultados obtenidos.

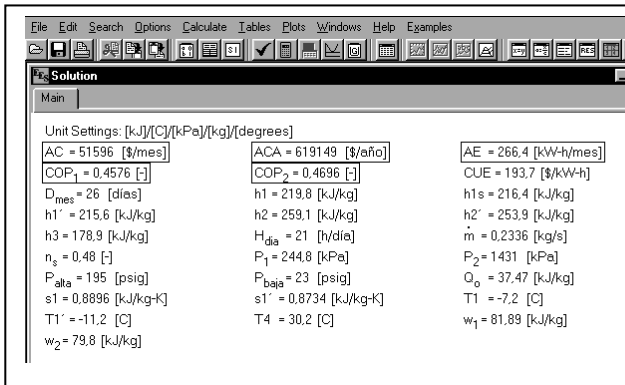


Figura 8. Aumento o disminución del sobrecalentamiento

Como se observa en la figura 8, se presenta de esta manera un aumento del COP, reduciéndose a su vez el trabajo realizado por el compresor en  $w = 2.09 \text{ kJ/kg}$ .

**5.3 Aislar térmicamente las tuberías de admisión.**

Una forma de prevenir la formación de escarcha en la tubería de succión es la de aislar térmicamente la tubería. A medida que el vapor frío circula por la tubería de succión, se produce una temperatura que es menor que la temperatura de rocío, por esta razón, se producirá condensación de la humedad del aire.

La ganancia de calor gracias al aire ambiente en la línea de succión, da como resultado una pérdida de la capacidad neta del sistema. Estas pérdidas pueden estar alrededor de un 10 al 15%.

La figura 9 muestra el efecto de aislar térmicamente la tubería de admisión para la máquina 2 la cual presenta una presión de alta 178.8 psig, y una presión de baja de 13.8 psig. Se expondrá mediante el software EES los resultados obtenidos.

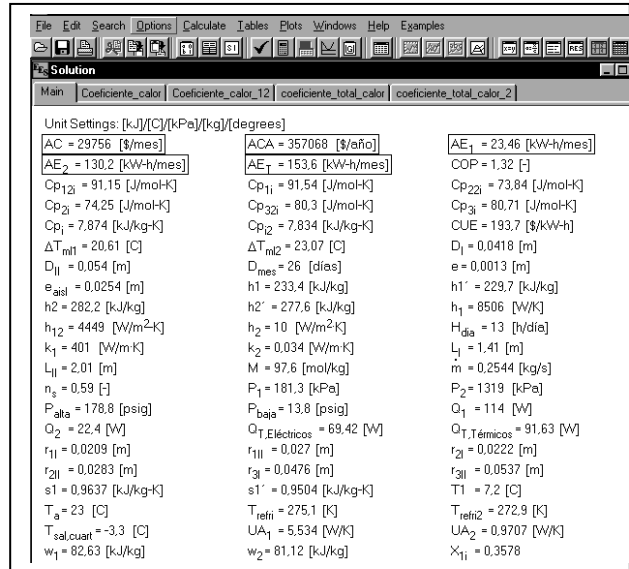


Figura 9. Efecto de aislar tubería

**5.4 Usar motores de alta eficiencia.**

Los motores de alto rendimiento y los variadores de velocidad pueden aumentar el rendimiento hasta un 5%, ya que los motores de ventilador consumen una gran cantidad de energía dentro del sistema de refrigeración.

En conclusión al aislar las tuberías de succión se obtienen dos efectos, rebajar el calor transmitido por las tuberías  $Q_1 - Q_2 = 114 - 22.4 = 91.6 \text{ W}$  y además reducir la temperatura a la entrada del compresor, reduciéndose así el consumo de energía por parte de éste.

**5.5 Usar motores de alta eficiencia.**

Los motores de alto rendimiento y los variadores de velocidad pueden aumentar el rendimiento hasta un 5%, así mismo, si se tiene operando motores eléctricos muy antiguos, con varias reparaciones, sobrecargados o sobredimensionados, es muy posible que los equipos trabajen con una eficiencia muy por debajo de la óptima, por lo que se recomienda analizar la posibilidad de sustituirlos por motores de alta eficiencia que se ajusten a las necesidades de la empresa.

La figura 10, muestra el efecto del aumento de la eficiencia de la máquina 1 la cual posee una potencia de

22 hp, operando 21 horas/día, 26 días/mes. Los datos indicados corresponden a la aplicación en EES.

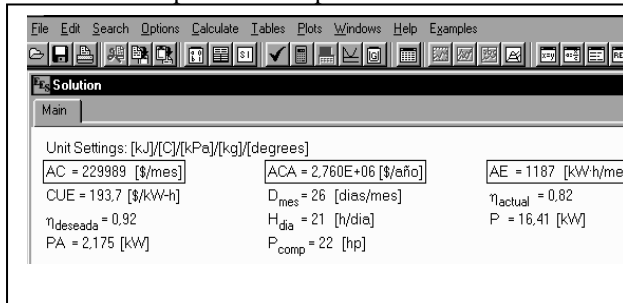


Figura 10. Aumento de la eficiencia de motores

En conclusión mejorar la eficiencia de los motores representan una reducción de los costos de operación por el ahorro del consumo de energía eléctrica y de la demanda máxima. ACA es ahorro del costo anual y AE el ahorro mes de energía.

Como ya menciono, y a pesar que en este documento solo se ilustran 4, en el estudio se elaboraron las demás estrategias aplicables a las características operativas de FRIGOPER y específicamente en los cuartos ya indicados.

## 6. PRESENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS

Para facilitar el uso de la herramienta, se elaboró una presentación didáctica más atractiva al usuario con un nivel de complejidad mínimo, cuyo objetivo es el desarrollo de las estrategias de ahorro anteriormente nombradas.

Esta herramienta permite visualizar el efecto sobre el consumo de energético en función de los cambios que se propongan (estrategias de ahorro) y que se encuentran preprogramados en EES.

La figura 11, muestra el menú principal de esta herramienta y el total de las estrategias desarrolladas para FRIGOPER.



Figura 11. Pantalla estrategias posibles a aplicar.

A medida que el usuario decida evaluar algunas de las estrategias, desde el menú indicado en la figura anterior se van desplegando otros donde se solicita la información mínima para procesar y finalmente entregar el efecto sobre el sistema en términos técnicos como el COP del equipo o económicos.

## 7. CONCLUSIONES

Es importante que las empresas dedicadas a la prestación del servicio de frío, y específicamente aquellas que suministran congelamiento y conservación de productos, estén constantemente instruidas en las mejoras aplicables a los diferentes procesos y condiciones operativas de la planta; esto se logra cuando la dirección ejecutiva se percate de los programas del Uso Racional de la Energía, garantizando así implementar en la planta estrategias de ahorro energético tales como: aislar térmicamente las tuberías de admisión, reducir presión de alta, emplear aceite sintético, entre otras, las cuales fueron estudiadas y analizadas en el presente documento.

En el desarrollo de un programa de diagnóstico energético, los procesos y equipos de refrigeración, deben contener un alto grado de instrumentación, y en la medida de lo posible sistemas de control que garanticen un seguimiento apropiado a de variables y puntos estratégicos.

El modelo realizado en el software EES, permite analizar de forma rápida y simple el efecto que trae sobre el sistema la implementación de estrategias conducente al uso racional y eficiente de la energía.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACEVEDO. Omarly, Toro Avelino. Estudio de estrategias para el ahorro de energía en la empresa Frigorífico de Pereira S.A. 2003. 271p. Pereira Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. Ingeniería Mecánica.
- [2] ASHRAE. 2002 ASHRAE Refrigeration Handbook (SI). Atlanta, Georgia. ASHRAE, 2002, páginas 8.1 – 8.27.
- [3] FRIGORÍFICO DE PEREIRA S.A. "FRIGOPER". Archivos. Pereira. 2005
- [4] FRIGORÍFICO DE PEREIRA S.A. "FRIGOPER". Disponible en Internet. <URL: <http://www.frigoper.com>
- [5] LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA COMPETITIVIDAD DE LAS EMPRESAS. Juan Carlos Campos Avella, Rafael Gómez Dorta, Leonardo Santos Macías.
- [6] Manual de Refrigeración de COPELAND. Parte 3. La carga de refrigeración. Copeland Corporation, Sydney, Ohio. 45365. Páginas 12.1 a 16.12.