

**UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS**

**“JOSÉ MARTÍ PÉREZ”**

**Dirección de Investigaciones Aplicadas**

**Centro de Estudios de Energías y Procesos Industriales**

**Tesis para optar por el Título académico de Máster en Eficiencia  
Energética.**

**Evaluación de sistemas de climatización y refrigeración como  
alternativa para el ahorro de portadores energéticos en el Hospital  
Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos.**

**Autor: Ing. Roberto Francisco Pérez Santiesteban**

**Tutor: Dr.C. Raúl Fernández Álvarez**

**Consultante: Dr. C. Ernesto Barrera Cardoso**

**Sancti Spíritus, octubre del 2015**

**“Año 57 de la Revolución”**

## *Pensamiento*

*“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: La Voluntad”*

*Albert Einstein*

## *Dedicatoria*

*A mi familia por su apoyo, y a todos los que de una u otra forma estuvieron presentes.*

## *Agradecimientos*

*A todos los que aportaron en la realización de este trabajo investigativo.*

## Resumen

La presente investigación se realizó, a partir de la necesidad de un estudio, de las causas que inciden en el consumo de los portadores energéticos en la institución de salud, Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos de la Provincia de Sancti Spíritus (HPCQSS).

El estudio tuvo como objetivo, evaluar los sistemas de climatización y refrigeración, como alternativa para el ahorro de portadores energéticos en el HPCQSS.

Para sustentar la investigación, se realizó un estudio de la literatura especializada, con aplicación de la evaluación de los ciclos termodinámicos en los sistemas de climatización y refrigeración, determinándose el coeficiente de funcionamiento (COP) y la potencia por toneladas de refrigeración (kWh/ton) en dos momentos: antes y después de la aplicación del mantenimiento. En ambos periodos se determinó el indicador técnico (kWh/ton), se calculó el ahorro energético debido a la transferencia de calor por conducción a través de paredes y techos en las cámaras de conservación de productos refrigerados y congelados, que dió como resultado un potencial total de ahorro energético de 732 MWh/año, en estos sistemas de refrigeración y climatización de media, baja y alta temperatura en el Hospital Provincial Camilo Cienfuegos de Sancti Spíritus.

## Summary

The present investigation was carried out, starting from the necessity of a study, of the causes that impact in the consumption of the energy payees in the institution of health, Surgical Clinical Provincial Hospital Camilo Cienfuegos of the County of Sancti Spíritus (HPCQSS).

The study had as objective, to evaluate the air conditioning systems and refrigeration, as alternative for the saving of energy payees in the HPCQSS.

To sustain the investigation, was carried out a study of the specialized literature, with application of the evaluation of the thermodynamic cycles in the air conditioning systems and refrigeration, being determined the operation coefficient (COP) and the power for tons of refrigeration (kWh/ton) in two moments: before and after the application of the maintenance. In both periods the technical indicator was determined (kWh/ton), the energy saving was calculated due to the transfer of heat by conduction through walls and roofs in the cameras of conservation of refrigerated and frozen products that as a result a total potential of energy saving of 732 MWh/año, in these refrigeration systems and stocking air conditioning, lowers and high temperature in the Provincial Hospital Camilo Cienfuegos of Sancti Spíritus.

<i>Índice</i>	
<i>Introducción</i>	1
<i>Capítulo I Marco Teórico Referencial</i>	10
<i>1.1 Hilo conductor del Marco Teórico Referencial</i>	10
<i>1.1.2 Aspectos Generales</i>	11
<i>1.1.3 Situación Energética Mundial</i>	13
<i>1.1.4 Situación Energética en Cuba</i>	15
<i>1.2 Sistemas de climatización y refrigeración de media y baja temperatura</i>	18
<i>1.2.1 Diagnóstico de los sistemas de refrigeración</i>	23
<i>1.2.2 Máquinas frigoríficas por compresión Mecánica</i>	25
<i>1.2.3 Elementos Claves para el uso racional de energía</i>	25
<i>1.2.4 Refrigeración industrial</i>	26
<i>1.2.5 Comportamiento energético de los sistemas de refrigeración Y climatización</i>	26
<i>1.2.6 Recomendaciones generales de operación a equipos de refrigeración</i>	27
<i>1.2.7 Tendencias actuales en la instalación de sistemas de refrigeración y climatización</i>	28
<i>1.3 Conclusiones parciales</i>	28
<i>Capítulo II</i>	
<i>2.1 Materiales y Métodos</i>	29
<i>2.2 Etapa I: Diagnostico</i>	30
<i>2.2.1 Herramientas aplicadas durante el diagnóstico</i>	30
<i>2.3 Etapa II: Elaboración de las propuestas</i>	32
<i>2.4 Etapa III: Valoración de las propuestas</i>	34
<i>2.5 Conclusiones parciales</i>	39
<i>Capítulo III</i>	
<i>3.1 Caracterización energética de la institución</i>	40
<i>3.1.1 Estructura de gastos</i>	40
<i>3.1.2 Impacto de los consumos energéticos, en los costos totales de</i>	

<i>la Institución</i>	40
<i>3.1.3 Estructura de consumo de los portadores energéticos</i>	41
<i>3.1.4 Consumos energéticos de la institución</i>	42
<i>3.1.5 Estratificación del consumo de electricidad</i>	43
<i>3.1.6 Estratificación del consumo de energía en los equipos de refrigeración y climatización</i>	45
<i>3.2 Diagrama Causa Efecto</i>	46
<i>3.3 Plan de acciones para la proyección de la institución hospitalaria hacia el mejoramiento energético</i>	48
<i>3.4 Evaluación sistemas de climatización</i>	50
<i>3.5 Evaluación de los sistemas de media y baja temperatura</i>	53
<i>3.6 Efecto técnico del mantenimiento aplicado a los equipos de climatización y refrigeración</i>	55
<i>3.7 Efecto económico de la reducción del consumo de electricidad en los equipos de climatización y refrigeración</i>	56
<i>3.8 Efecto ambiental del ahorro energético: Impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub></i>	58
<i>3.9 Conclusiones parciales</i>	59
<i>4. Conclusiones generales</i>	60
<i>5. Recomendaciones</i>	61
<i>6. Bibliografía</i>	62
<i>7. Anexos</i>	68



## Introducción

La energía es la fuerza vital en la sociedad, constituye uno de los principales factores a considerar, para atender las necesidades básicas del hombre, y puede presentarse bajo diversas formas, las cuales son capaces de transformarse. Entre las más comunes se encuentran: la energía electromagnética relacionada con los campos magnéticos y eléctricos, la energía térmica que se corresponde con la energía interna de los cuerpos y se manifiesta en forma de calor, la energía mecánica referida a los cuerpos en movimientos, la energía química, la poseen los cuerpos y se pone de manifiesto en el proceso de conversión generado por una reacción química, y la energía metabólica siendo un proceso bioquímico de oxidación, que ocurre en los organismos vivos producto de los alimentos ingeridos(Schneider, 2010).

Desde el origen del hombre, este ha tenido la necesidad de transformar los elementos de la naturaleza para poder aprovecharse de ellos. Es hacia finales del siglo XVIII, y durante el siglo XIX cuando el proceso de transformación de los recursos de la naturaleza sufre un cambio radical, que se conoce como revolución industrial(Monteagudo, 1998).

La humanidad en los últimos años, ha contemplado con dolor los desastres ocasionados por guerras devastadoras, cuyo único fin ha sido la redistribución de las riquezas energéticas. Las dificultades monetarias resultantes de la vertiginosa crisis internacional, influyen de forma determinante en la economía del país. Ello ha disparado los precios, por lo que se hace necesario que todos los sectores productivos y de servicios, tomen medidas para reducir o hacer más eficientes los consumos energéticos.

La energía es algo que se utiliza de forma constante, pero raramente se piensa en cómo administrarla, no sólo para ahorrar dinero; sino también para ayudar al medio ambiente. Es la propia naturaleza la que más caro pagará los derroches energéticos, por lo que resulta prioritario, reducir esta dependencia económica de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón); potenciar el uso de fuentes alternativas y renovables; y aún más importante es aprender a usar eficientemente la energía, cuestión en la que todos tienen igual responsabilidad(Jacobson, 2010).

A la utilización de la energía, en los últimos años, se le ha conferido una atención prioritaria, debido al agotamiento de los recursos naturales no renovables y Cuba no escapa de esta situación problemática. En tal sentido surge la Revolución Energética en el país, esto es la profundización del programa energético de ahorro de la energía, cuyo objetivo esencial, es crear conciencia energética en todos los sectores, y extremar las medidas de ahorro.

Se estima que es posible ahorrar entre un 2% y un 3% por cada grado Celsius que sea posible disminuir en la temperatura de condensación. A su vez se estima también que sería posible obtener ahorros entre un 1% y un 4% por cada grado que sea posible elevar la temperatura de evaporación(Schmid, Refrigeración, & Hinojosa, 2010).

Las instalaciones hospitalarias constituyen un importante consumidor de portadores energéticos, principalmente energía eléctrica, utilizada para todo un conjunto de servicios principales (equipamiento quirúrgico, rayos x, tomografía, etc.) y auxiliares (iluminación, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, etc.). Un hospital consume, además, grandes cantidades de combustible en la generación de vapor, como portador energético de varios servicios importantes: cocina, esterilización, lavandería, etc.(Leyva, 2015).

En el mundo se impone desde hace varios años la tendencia a racionalizar el consumo energético en los sectores básicos como la industria y la construcción, pero también en el sector terciario de la economía, compuesto principalmente de los procesos no productivos como la educación, la salud, los servicios etc. la eficiencia como técnica para mejorar el rendimiento de cualquier instalación, está encaminada a optimizar el consumo de energía primaria y aumentar el rendimiento de los procesos de transformación de la misma(Leyva, 2015).

El producto final de las instalaciones hospitalarias es lograr la satisfacción de calidad en el servicio de atención al paciente, para ello es necesario que las instalaciones energéticas sean capaces de satisfacer las demandas de potencia eléctrica, calor y frío. La satisfacción de estas demandas en la mayoría de los casos parte de bloques energéticos con equipamientos individuales, entiéndase

generadores de vapor, moto-compresores para climatización, Grupos electrógenos de emergencia que funcionan por separado (Schneider, 2013)

Como se explica en el manual: Eficiencia energética en instalaciones hospitalarias una vía para disminuir los costos: la operación ineficiente de los equipos transformadores primarios de la energía, asociada a la falta de mantenimiento periódico de las instalaciones, que se transforma en pérdidas por diversas causas, entre ellas salideros de vapor, estado defectuoso de las instalaciones de distribución y uso de vapor, no seccionalización de los circuitos eléctricos de alumbrado, falta de mantenimiento a los equipos de refrigeración y climatización, pérdidas por infiltración en cámaras de refrigeración por ineficiencias en el aislamiento térmico, provocan que el gasto energético asociado a la cantidad de pacientes que son atendidos en las instalaciones hospitalarias aumente (Leyva, 2015).

Dentro de las mejoras que se pueden introducir en un hospital con el objetivo de incrementar la eficiencia energética se destacan las referentes a los sistemas de climatización e iluminación. Entre ellas se pueden mencionar (Ipsom.htm, 2015):

- Detección de espacios con temperaturas inadecuadas. Con la colaboración de los empleados y un buen sistema de comunicación, es posible detectar de forma rápida los espacios donde la temperatura no es la adecuada, lo que delata una mala configuración del sistema, una avería o una fuga de calor. Actuar rápidamente sobre estos problemas ahorrará mucha energía y mejorará el bienestar de los pacientes y empleados.
- Revisión periódica de los termostatos y temporizadores. A menudo la configuración de los temporizadores y termostatos se modifica por un cambio temporal en el régimen de uso de la estancia y luego no se piensa en reponer la configuración original. Es importante revisar a menudo estos dispositivos para asegurarse que la configuración es la correcta.
- Definición de zonas diferentes según las necesidades de clima. No todas las estancias del hospital necesitan la misma temperatura ni están ocupadas las mismas horas. Diferenciar las zonas y programar la climatización de forma independiente en cada una de ellas evitará derroches innecesarios.

- Implantación de sistemas de control inteligentes que anticipan los cambios de temperatura en función de las condiciones ambientales.

Por esta razón, se hace necesario la búsqueda de alternativas de mejoras para el consumo de electricidad en los equipos de climatización y refrigeración del Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos de la ciudad de Sancti Spiritus.

En cualquier esquema de consumo, distribución y uso de la electricidad, los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, pueden representar entre el 30 y 50 % en la estructura del consumo. Se conoce que grandes consumidores de electricidad, también son grandes emisores de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, cuestión estrechamente ligada, de ahí que se esté ante uno de los sistemas de refrigeración donde la actuación personal y colectiva puede influir en mejoras de la factura, de la economía y de la descontaminación ambiental(Ruano, 2011a).

### **Problema científico**

La falta de una evaluación a los sistemas de refrigeración de media, baja y alta temperatura, en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos, limita proponer alternativas de mejoras, para el consumo de electricidad en dichos sistemas.

### **Objetivo general del trabajo Investigativo**

Proponer alternativa de mejoras para el consumo de electricidad en los sistemas de climatización y refrigeración del Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos.

### **Objetivos específicos**

- Diagnosticar el estado actual del consumo de portadores energéticos, en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos.
- Proponer alternativas para el ahorro de electricidad en los sistemas de refrigeración y climatización del Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos.

- Valorar el efecto técnico, económico y ambiental de las alternativas de mejoras propuestas.

### **Hipótesis**

Si se realiza una evaluación a los sistemas de climatización y refrigeración en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos, entonces se podrán proponer alternativas de mejoras para el consumo de electricidad en dichos sistemas.

### **Definición de las Variables**

#### **Variable dependiente:**

Propuesta de alternativas de mejoras para el consumo de electricidad en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos.

#### **Variable independiente:**

Evaluación a los sistemas de climatización y refrigeración en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos

### **Justificación de la investigación y su viabilidad**

Esta investigación está vinculada, al desarrollo científico técnico actual y al fortalecimiento en el desarrollo energético propuesto por el país, con el propósito de disminuir consumos energéticos, por mal funcionamiento en equipos altos consumidores de energía.

Los sistemas de refrigeración, son los sistemas energéticos de mayor utilización en la vida diaria, por su amplia difusión, por lo que se puede afirmar que es un sistema globalizado. Está al alcance de la gran mayoría, por su empleo en la vida diaria. Esta forma o particularidad facilita que muchos puedan actuar positivamente, en la aplicación oportuna de medidas técnicas organizativas, que permitan la utilización eficiente de estos sistemas altos consumidores de electricidad. Ese es el objetivo principal de este trabajo investigativo: facilitar

conocimientos para que los interesados, conozca que hacer para que estos sistemas operen con mayor eficiencia.

El consumo de electricidad de los sistemas de refrigeración y la eficiencia de su empleo, dependerá de muchos factores, todos muy al alcance de nuestras decisiones.

Hay factores que clasifican como propios del proceso que se realiza, otros están asociados a la forma de operación del sistema, también influye en la eficiencia los factores vinculados con el estado técnico del equipamiento.

Los indicadores o intensidad de consumo por unidad frigorífica, varían en función de la temperatura de operación del sistema de refrigeración. Así los sistemas que operan a bajas temperaturas de evaporación, tienen un indicador mayor que los de mediana y alta temperatura de evaporación.

No es menos importante conocer que también influyen en la eficiencia del consumo de energía, los factores que se pueden clasificar como externos al sistema de refrigeración, como son las condiciones medioambientales, la orientación y ubicación de los componentes del sistema en la zona de instalación, los parámetros con los cuales se han seleccionado los equipos y se han adquirido, en este último grupo, principalmente los parámetros relativos al régimen de carga / capacidad.

### **Para ejecutar esta propuesta se contó con:**

Información bibliográfica, relacionada con la evaluación de las variables que intervienen en el funcionamiento de los sistemas de refrigeración y climatización, experiencia en estos sistemas, adquiridos en el desarrollo laboral y durante el desarrollo de esta maestría.

### **Objeto de estudio**

El objeto de estudio del trabajo investigativo, es la evaluación de los sistemas de refrigeración de media, baja y alta temperatura como alternativa para el ahorro energético en el hospital provincial Camilo Cienfuegos de Sancti Spíritus

## **Campo de acción**

Sistemas de refrigeración y climatización instalados en el Hospital Clínico Quirúrgico Provincial Camilo Cienfuegos, ubicado en Sancti Spíritus

## **Aporte teórico**

El análisis de la bibliografía existente, acerca de los temas abordados en este estudio, aclara el camino y sirve de base para futuras investigaciones.

## **Aporte práctico**

El trabajo eficiente de un sistema de refrigeración que conllevan ahorros energéticos, pueden ser utilizado para bajas, media o altas temperaturas; evaluables a través de ciclos termodinámicos, aplicado al propio sistema, y en la correcta aplicación del mantenimiento planificado, ubicación eficiente de partes y componentes del sistema, que conllevan a una mejor y eficiente funcionamiento, que traen consigo un ahorro energético en estos altos consumidores y con ello dejar de consumir combustible por esta causa.

## **Novedad científica**

Introducción de mejoras, en el funcionamiento de equipos que intervienen en los sistemas de refrigeración y climatización, a partir de la evaluación de los ciclos termodinámicos y con la ayuda de la aplicación del Software de trabajo *Engineering Equation Solver*.

## **Tareas de la Investigación**

Recopilación y revisión de la bibliografía y análisis crítico de la situación del estado del arte, sobre el tema que estamos tratando.

Análisis de los consumos energéticos, en el Hospital Clínico Quirúrgico Provincial Camilo Cienfuegos.

Confección de base de datos según mediciones tomadas.

Análisis de las variables que intervienen en los ciclos térmicos de ceder y absorber calor.

Calcular las pérdidas energéticas en los sistemas de refrigeración y climatización.

Evaluación de los resultados.

Cálculo del aporte económico, derivado del ahorro energético, causado en el mejoramiento de los ciclos termodinámicos en los sistemas analizados.

### **Unidad de Estudio, Población y Muestra**

Unidad de estudio, como uso de las metodologías de cálculos, para la evaluación de los ciclos termodinámicos actuales. La población comprende: el estudio de la eficiencia energética en los equipos de refrigeración y climatización; y la muestra: evaluación del 100% de los equipos de refrigeración y climatización; con dispositivos instalados para efectuar las mediciones de parámetros técnicos, que se encuentran en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos de la provincia de Sancti Spíritus.

### **Métodos científicos a emplear**

Método teórico, destinado a realizar un estudio lógico de la tarea planteada, a partir de bibliografías obtenidas y complementadas por criterios del autor, sobre las perspectivas de la investigación.

Método empírico. A partir de experiencias, datos obtenidos de mediciones realizadas y de métodos y procedimientos establecidos; se hará un análisis casuístico de la problemática planteada, con el objetivo de dar soluciones viables, en los sistemas de refrigeración y climatización, en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos de la provincia de Sancti Spíritus.

### **Tipo de Investigación**

Estudio exploratorio y descriptivo: Adecuada revisión bibliográfica sobre el tema que se trata, con realización de un correcto análisis descriptivo de la bibliografía consultada, definición de la problemática identificada y como resultado: la solución en base a la metodología propuesta.

Estudio correlacionado y explicativo: se relaciona con el objetivo propuesto, que está basado en la disminución de las pérdidas energéticas en los sistemas de



refrigeración y climatización en el Hospital Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos. Analizando las variables que intervienen en el ciclo térmico de ceder y absorber calor, dar una explicación de las acciones a realizar con el fin de hacer correcciones en el funcionamiento de las instalaciones, para obtener los resultados en los ahorros de electricidad y con ello disminuir el consumo de portadores energéticos.

### **Técnicas a Utilizar**

Para los cálculos de los ciclos teóricos de transferencia de calor, se utilizará, tablas termodinámicas, Diagrama presión entalpía, *Software Engineering Equation Solver*, que se especifican en la bibliografía.

### **Procedimientos**

Se recopilarán datos de las mediciones efectuadas, en los sistemas propuestos y experiencias obtenidas de la bibliografía planteada, a partir de los cuales se realizará un análisis y cálculo de las variables de trabajo, como son, presión, entalpía, temperatura, entropía, obtenidos estos datos se puede calcular el estado actual de las instalaciones y sus mejoras, que brinda como resultado un ahorro energético.

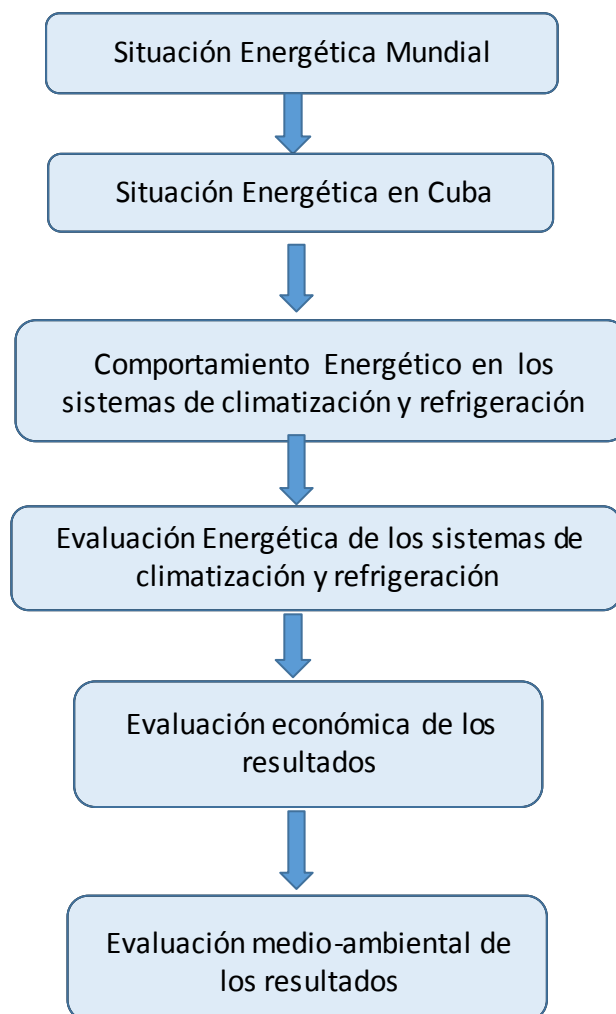
### **Resultados Esperados**

1. Obtención de datos en base a mediciones efectuadas según los tipos de instalación.
2. Soluciones prácticas destinadas al ahorro de energía.
3. Análisis de la eficiencia energética en sistemas de refrigeración y climatización.
4. Análisis económico, en los sistemas de refrigeración y climatización, con pérdidas en la capacidad de refrigeración, ocasionadas por desplazamiento en los ciclos de mantenimiento.

## Capítulo 1: Marco teórico referencial

### 1.1. Hilo conductor del marco teórico referencial

La revisión bibliográfica especializada, permite el análisis de la temática objeto de estudio, para sentar las bases teóricas del proceso de investigación y con ello contribuir a sustentar los principales resultados obtenidos. La construcción del marco teórico-referencial de la investigación, orientó en la actualización de definiciones, que tuvo presente el estado de la política energética a nivel mundial, la gestión energética en Cuba y el comportamiento de esta naturaleza en los equipos de climatización y refrigeración. La [figura 1.1](#) ilustra lo expuesto.



**Figura 1.1. Hilo conductor de la investigación.**

### 1.1.2. Aspectos generales

La eficiencia puede ser definida de varias maneras, para los ingenieros significa un cociente, entre una entrada física / una salida física y para los economistas, significa un cociente, entre una entrada monetaria / una salida monetaria (Rodríguez, 2009).

Así también define la eficiencia energética como el cociente entre una función, servicio o valor suministrado y la energía convertida / transformada para proveerlo, por lo que la eficiencia energética significa hacer más (y frecuentemente mejor) con menos – lo opuesto a simplemente hacer menos o peor (Rodríguez, 2009).

En este documento se define la eficiencia de conversión como:

Es el cociente entre la energía aprovechada (salida deseada o requerida ) y la total utilizada en un proceso de conversión de energía, tal como la conversión de combustible en electricidad o en calor (Rodríguez, 2009).

Puesto que se incluyen salidas no deseadas del proceso, entonces el cociente es menor a 1 , exceptuando procesos como Bombas de Calor , Refrigeración , donde es mayor que 1 y se denomina coeficiente de desempeño ( COP ) Entonces aparecerán las pérdidas (Rodríguez, 2009).

Según datos del Anuario Internacional *Energy Outlook*, IEO 2005 publicado por la *Energy Information Administration*, las últimas estimaciones de demanda de energía, muestran varias previsiones para la evolución de los mercados energéticos internacionales en los próximos 30 años. Según las cifras mostradas, la demanda de energía hasta el 2030 crecerá en un 50%. Los sectores de la industria, el transporte y la agricultura serán los de mayor crecimiento, será algo más lento en los sectores residencial y comercial. El sector de uso final tendrá grandes diferencias, según el desarrollo económico de la región. Desde el comienzo de la humanidad misma, el hombre consumió energía. Al principio para cultivar la tierra, y solo gastaba la energía equivalente a su alimento, es decir, 2000 a 3000 kcal/día. En la actualidad la distribución del consumo de energía, está estrechamente vinculada con la calidad o estilos de vida, y el modelo económico imperante. A nivel mundial permitió triplicar la producción de bienes materiales (Energy information administration, 2005).

Datos del consejo mundial de la energía, plantea que hasta hace unos años la energía resultaba barata y abundante, pero cada día aumentan más los consumos, sin importar su existencia, ni de dónde provienen. Si se tiene en cuenta que el 90% del consumo de la energía mundial proviene de los combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) y las reservas de los mismos son limitadas; el consumo continuado al ritmo actual de explotación, es claramente incontenible e insostenible. Lo anterior significa claramente que estamos en aumento cada día los niveles de demanda energética, en detrimento de las fuentes convencionales o no renovables de energía. En este sentido, la comunidad científica trabaja aceleradamente, en la búsqueda de fuentes alternativas y el aprovechamiento de energías naturales o no contaminantes, entre las que destacan la biomasa, la hidráulica, la solar, la eólica, la geotérmica y el hidrógeno entre otras. Como resultado de estas nuevas preocupaciones, se ha alcanzado un mayor índice de aprovechamiento de los recursos terrestres y marítimos, de determinadas regiones del planeta y se comienza a vislumbrar los primeros prototipos comerciales y los frutos de esta generación de energías más limpias(Energía, 2004).

Es esencial entonces, trabajar con premura y rigor en la adecuada administración de la energía y en su ahorro, en primer término por el agotamiento de las fuentes de energía no renovables, el cuidado integral del medio ambiente, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación causada por los motores de combustión interna y el ahorro monetario; son algunas de las razones por las que se comienza a familiarizarse con el tema de referencia. También, para reducir el consumo de combustibles, será necesario incrementar el uso de energías renovables, como la biomasa, el viento y la energía solar. Del mismo modo, será útil generar electricidad con base en plantas hidroeléctricas o geotérmicas. Respecto al incremento del uso de la energía nuclear; todavía no existe un acuerdo que permita establecer si los beneficios de disponer de esta energía, justifican los riesgos que implica.

El ahorro energético, implica no sólo la reducción del consumo, sino también la reducción de emisiones que afectan al medio ambiente. De todos los costos operativos, el energético es el más fácil de controlar, pero para su reducción es

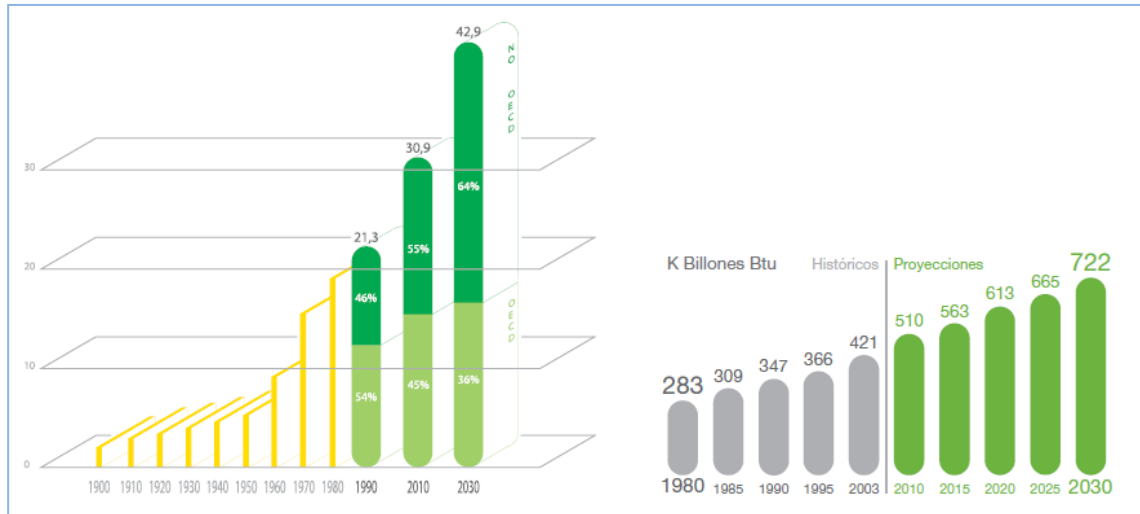
indispensable un control continuo, una gestión adecuada de la información y una asesoría energética efectiva(Schneider, 2010).

### **1.1.3. Situación Energética Mundial**

Schneider define la eficiencia energética como el modo más rápido, económico y limpio de reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero. Para cumplir los objetivos del protocolo de Kyoto así expone, que las mejoras en la productividad se centran en optimizar el rendimiento de los equipos y de los procesos, para facilitar un correcto mantenimiento. La supervisión energética permite garantizar la continuidad del suministro, maximizar el tiempo operativo de su proceso productivo, y alcanzar los requerimientos de calidad y tiempos de respuesta (Schneider, 2010).

En la mayoría de las instalaciones existentes, se puede lograr hasta un 30% de ahorro energético al utilizar las soluciones y tecnologías disponibles en la actualidad. Las acciones locales de eficiencia energética tienen un importante efecto productivo, debido a las pérdidas en la generación y en la red eléctrica de distribución y transmisión(Schneider, 2010).

El ahorro energético implica no sólo la reducción del consumo, sino también la reducción de emisiones que afectan al medio ambiente. De todos los costos operativos, el energético es el más fácil de controlar, pero para su reducción es indispensable un control continuo, una gestión adecuada de la información y una asesoría energética efectiva. Las mejoras en la productividad se centran en optimizar el rendimiento de los equipos y de los procesos, facilitando un correcto mantenimiento (Schneider, 2010).



**Figura 1.2 Comportamiento energético en el mundo hasta el año 2030**

**Fuente:** (Schneider, 2010).

Se debe aprender a adaptar y manejar el consumo energético, los costos de la energía y los contaminantes. La reducción y el manejo del uso de la energía serán el enfoque continuo de aquellos que toman las decisiones en política. Los objetivos claves para las futuras políticas serán (Schneider, 2010):

- Limitar el consumo energético en todos los sectores.
- Medir y monitorear el uso de la energía para establecer puntos de referencia y objetivos.
- Promover fuentes energéticas y tecnologías alternativas



**Figura 1.3 Proceso de mejora continua**

**Fuente:** (Schneider, 2010).

El autor en la [Figura 1.3](#) expone claramente las posibilidades actuales y reales para disminuir los gastos energéticos y con ello mayores opciones de la utilización racional de la energía. Schneider en su manual eficiencia energética manual de soluciones, grafica un ciclo de vida eficiencia energética, donde se aprecia en el punto número 1 ó punto de partida, al efectuar auditoria de energía y medición, se obtiene una eficiencia energética pasiva, en el punto número 2 establecer las bases en la optimización; punto numero 3, mediante la automatización y regulación de la energía, se logra una eficiencia energética activa, y como cuarto punto y cerrando el ciclo de vida el control y monitoteo continuo (Schneider, 2010). La disponibilidad de la energía es un factor fundamental para el desarrollo y el crecimiento económico. La aparición de una crisis energética desemboca irremediabilmente en una económica. La utilización eficaz de la energía, así como el uso responsable; son esenciales para la sostenibilidad.

La realidad del mundo actual está signada, entre otros muchos factores, por la extinción de los recursos no renovables de energía; principalmente los hidrocarburos. Una de las afectaciones provocadas por este hecho se plasma en la producción de energía eléctrica. En tal sentido, se aprecia como la gran mayoría de los países, toman medidas para amortiguar este problema, las cuales pueden ser divididas en dos grandes grupos: el empleo de recursos energéticos renovables y el ahorro de energía eléctrica.

#### **1.1.4. Situación energética en Cuba**

La Revolución Energética, es la primera manifestación de un Estado que ha asumido el papel protagónico que le corresponde y está demostrando al mundo cuanto se puede hacer con un uso racional y planificado de los recursos energéticos.

La energía se utiliza a diario y constantemente, pero raramente se piensa en cómo administrarla, no sólo para ahorrar dinero, sino también para ayudar al medio ambiente. Es la propia naturaleza la que más caro pagará todos los derroches energéticos; por lo tanto, resulta prioritario reducir la dependencia existente de las fuentes agotables de energía.

El ahorro de energía se puede conseguir en cualquiera de las actividades diarias y existen cuantiosos adelantos tecnológicos orientados a este fin que han obtenido excelentes resultados (Schneider, 2010).

La Revolución Energética enfoca su política en el uso eficiente de la energía, para lo cual ha creado distintos grupos de trabajo, abarcados en diferentes programas. Estos se extienden a todo el territorio nacional y por supuesto a la provincia de Sancti Spiritus, donde la evaluación sistemática al sector empresarial de la eficiencia e intensidad energética, constituyen factores importantes a tenerse en cuenta en el cumplimiento del objeto social de cualquier empresa.

La eficiencia en el uso de los portadores energéticos, forma parte del conjunto de los parámetros que rigen la competitividad entre las empresas, que son sinónimo de calidad y eficiencia en las producciones y los servicios, por lo que se impone la implementación de un sistema de gestión de la energía, que arroje como resultado el uso racional de los portadores energéticos, para favorecer la eficiente explotación de los recursos con que se cuenta (Alfredo Hernandez, 2012).

Borroto expone como la eficiencia energética depende de muchos factores, de ahí que lograr una cultura general sobre la gestión energética es importante y la administración de estos recursos juega un papel de primer orden. La inserción de la gestión energética en la dirección estratégica, se va manifestando de forma espontánea y necesaria. El Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Cubano, establece las características, las normas técnicas y de actuación, los diferentes procedimientos, las facultades delegadas a las empresas, organizaciones superiores de dirección y enmarcamientos que se establecen, en las empresas que se encuentran dentro del perfeccionamiento empresarial (Borroto 2002).

En el documento “Ahorro y Eficiencia Energética”, elaborado por el Dpto. de Industria Básica del CC del PCC en Noviembre del 2001, se señalan un grupo de insuficiencias en la gestión energética empresarial como los principales problemas que afectan un logro superior en la eficiencia energética y el ahorro en el País. Dentro de ellos se destacan:

- Insuficiente análisis de los índices de eficiencia energética.



- Desconocimiento de la incidencia de cada portador energético en el consumo total.
- Falta de identificación de índices físicos y su ordenamiento por prioridad.
- Falta de identificación de los trabajadores que más inciden en el ahorro y la eficiencia energética.
- Insuficiente divulgación de las mejores experiencias.
- Insuficiencias en los sistemas de información estadística.
- Falta de apreciación de la eficiencia energética como una fuente de energía importante (Borroto 2002).

El alcance principal de los programas incluidos en la Revolución Energética en Cuba, son los siguientes:

- Adquisición e instalación de equipos de generación más eficientes y seguros con grupos electrógenos y motores convenientemente ubicados en distintos puntos del país.
- Rehabilitación total de las redes de distribución anticuada e ineficiente que afectaban el costo y la calidad del fluido eléctrico.
- Priorización de los recursos mínimos necesarios, para una mejor disponibilidad de las plantas termoeléctricas del sistema electro energético y su paso a conservación.
- Intensificación acelerada, del programa para incrementar el uso del gas acompañante del petróleo nacional, en la generación de electricidad mediante el empleo de ciclo combinado.
- Exploración en búsqueda de nuevos yacimientos de petróleo en bloques terrestres, así como el desarrollo de los descubrimientos hechos y la explotación de los pozos de continuidad.
- Programa intensivo de investigación y desarrollo del uso de la energía eólica y solar en Cuba.
- Programa de Grupos Electrógenos Diesel sincronizados al Sistema Eléctrico Nacional (1 258 MW en 827 grupos).
- Programa de Grupos de Emergencia que comprende un total de 4 158 grupos para una potencia de 711 811 kW (en hospitales, policlínicos, centros de

educación, centros de comunicación, estaciones meteorológicas, instalaciones de turismo, abastos de agua, frigoríficos, panaderías y otros objetos vitales desde el punto de vista económico-social)(Borroto, 2006).

#### **1.1.5. Sistemas de climatización y refrigeración de media y baja temperatura**

La refrigeración y climatización es aplicada en casi todos los sectores donde el hombre actúa cotidianamente, como es el aire acondicionado, vital para mantener un confort adecuado en instalaciones hoteleras, salas de proyectos, hospitales, instalaciones frigoríficas de baja y media temperatura, tal así es la conservación de productos cárnicos, productos perecederos, semillas. Todo ello implica un alto consumo energético en el país, es por ello que la eficiencia energética en este sector es muy importante, desde las buenas prácticas de la utilización de esta técnica frigorífica, como la evaluación eficiente de los ciclos termodinámicos en los cuales se definen grandes ineficiencias en los procesos termodinámicos. Esto bien evaluado, define la aplicación de oportunos mantenimientos en equipos que transfieren calor, tanto en el proceso de ceder calor, como en el proceso de absorber calor, en los procesos de estrangulamiento del fluido refrigerante por pérdidas por fricción en obturadores, como válvulas de expansión termostáticas. También se puede encontrar pérdidas energéticas por sobredimensionamientos de sistemas de refrigeración, tanto en la de alimentos como en la climatización, que en gran medida por mala o poca hermeticidad de los locales, aparecen pérdidas innumerables por infiltración, lo que aumenta considerablemente la temperatura y con ello las pérdidas energéticas, mala interpretación del confort y con ello selección de temperatura inferiores a este en los controles de los equipos, que a pesar de pérdidas energéticas por más bajas temperaturas en el local, trae como consecuencias molestias por sensación de frío en las personas. Se encuentran malas ubicaciones de los equipos, tanto evaporadores como condensadores en el exterior, el elevado consumo de combustibles utilizado en los sistemas de refrigeración y climatización en el país, llevan consigo a un gasto económico considerable. Es por ello que la evaluación de esta técnica, lleva a un análisis de la eficiencia energética en este

procedimiento tecnológico, tan necesario y que está presente en cada paso en la vida tecnológica o cotidiana de cada persona.

Ruano Domínguez plantea que existen diferentes sistemas de refrigeración, entre ellos: sistemas de absorción, sistemas de adsorción, sistemas de refrigeración por efecto peltier y los sistemas de compresión de vapor, son los más comúnmente usados. El principio de este sistema de refrigeración, consiste en el enfriamiento por evaporación de un líquido refrigerante. Éste se mantiene en condiciones de presión, tales que su evaporación ocurre a temperaturas menores que las del ambiente a enfriar. El fluido usado como refrigerante que se encuentra en la fase vapor, vuelve a la fase líquida expulsando calor con lo que se completa el ciclo. Para que el gas al condensarse entregue calor al medio ambiente, la temperatura a la cual ocurre este proceso debe ser superior a la del ambiente y obviamente muy superior a la del líquido que está evaporando (Ruano, 2011b).

Guerman expone que la técnica de refrigeración ha logrado actualmente un alto nivel de desarrollo. Las instalaciones frigoríficas tienen grandes aplicaciones prácticas, que se distinguen por sus principios de trabajo, sus construcciones, cantidad de frío producido y por el nivel de su temperatura de trabajo (Guerman, 1982).

La capacidad frigorífica de las instalaciones modernas varía desde unas cuantas centésimas hasta varios millones de kilocalorías por hora. Este nivel de desarrollo lo obtuvo la técnica frigorífica durante un periodo relativamente corto.

La aplicación del frío se remonta a una antigüedad indefinida. Ya el hombre de las cavernas conservaba la carne de los animales que cazaban en cavernas llenas de hielo, años más tarde, supo preparar locales especiales y obtener temperaturas más bajas que las del hielo, al preparar mezclas de hielo con sal. Aun así, casi hasta la 2da. mitad del siglo XIX el frío se aplicaba limitadamente a solo fuentes naturales (Stoecker, 1972).

El transporte del hielo natural es muy costoso y a menudo prácticamente imposible, además el frío natural no siempre es fácil de encontrar. Estas causas obligaron al hombre a buscar métodos para la producción de frío artificial que no

dependiera de las reservas naturales de la tierra, y que permitieran obtener cualquier temperatura(Guerman, 1982).

La ciencia que indicó las vías para producir el frío artificial fue la termodinámica. La refrigeración artificial se empezó a utilizar primero en los abastecimientos y transporte de productos que se corrompían rápidamente(Guerman, 1982).

Ruano Domínguez además explica, que los sistemas energéticos están muy ligados a la vida diaria. La refrigeración está presente en todos los sectores de la económica y la sociedad, desde el sector residencial donde los sistemas de refrigeración doméstica son comunes en la mayoría de los hogares, ejemplos se tiene en el mueble frigorífico, o el aire acondicionado que climatiza (refresca o calienta) el interior de las habitaciones(Ruano, 2011a).

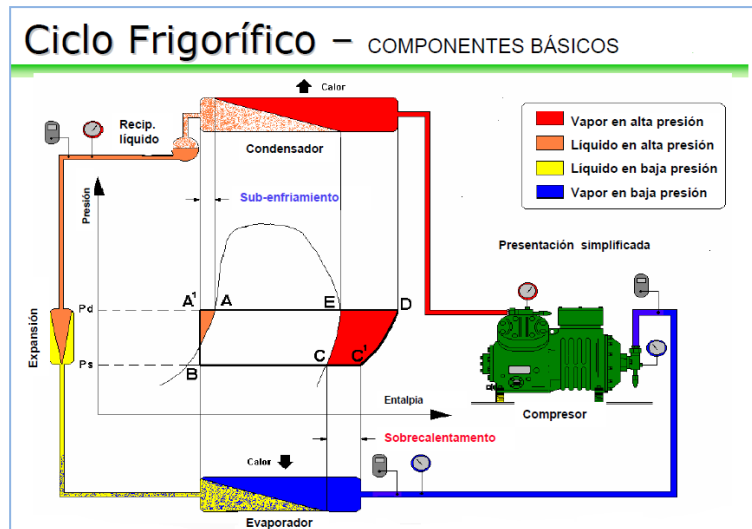
Al ritmo con el desarrollo del nivel de vida de la humanidad, cada día que pasa se incrementan el empleo de la refrigeración residencial, se destacan el crecimiento del aire acondicionado individual, sectorizado y centralizado, que suma consumo de energía a la factura eléctrica individual, tanto para refrescar el ambiente interior de los locales como en la estación de invierno, para calefacción de interiores(Ruano, 2011b).

En el manual de aire acondicionado *Handbook of Air Conditioning System Design* se expone, como la refrigeración es muy propia del proceso y la climatización asegura la calidad del ambiente interior de los locales. En el Sector de Salud, los hospitales, clínicas y laboratorios no funcionarían sin la climatización. Sin ella no es procedente realizar operaciones en los salones de cirugía, no funcionarían las salas de cuidados intensivos y los departamentos de diagnóstico clínico. En el sector turístico es primordial para garantizar la calidad del servicio hotelero. En los edificios de administración y oficinas(Alarcon 1972).

Se puede decir que el efecto refrigerante, es la cantidad de calor que podría absorber un refrigerante y se determina por su efecto de refrigeración o capacidad frigorífica específica. Por ejemplo 1 kg de hielo que se funde a 0 °C, a la presión atmosférica absorbe 80 kcal, es decir, el efecto refrigerante del hielo es igual a su calor de fusión (80 kcal /kg).El conjunto de elementos donde se realiza el ciclo termodinámico inverso (o ciclo frigorífico) se denomina máquina frigorífica. Este

término es convencional, pues en esencia se refiere a una serie de elementos (compresor, intercambiadores de calor, máquina de expansión, estrangulador etc.) que son necesarios para realizar dicho ciclo frigorífico (Monteagudo, 1998).

En su forma más sencilla, un sistema de refrigeración consta de cinco componentes: Compresor, Condensador, Evaporador, Dispositivo de Expansión y Tuberías. La figura 1.4 lo muestra:



**Figura 1.4. Representación de los componentes básicos de un ciclo de refrigeración**

**Fuente: (Da Silva, 2007).**

En la figura 1.4 se representan los componentes básicos de un ciclo de refrigeración, donde el compresor es el corazón del sistema, ya que mueve el flujo de refrigerante. Su función es recibir vapor de refrigerante a baja presión (y temperatura) proveniente del evaporador y comprimirlo a alta presión (y temperatura). El vapor a alta presión es convertido a fase líquida en el condensador. El condensador absorbe el calor que trae el vapor de refrigerante a alta presión y lo transfiere al aire forzado que recibe de los ventiladores, o hacia el agua de enfriamiento; según sea enfriamiento por aire o por agua. El vapor de refrigerante se condensa dentro de este intercambiador, pasa a la fase líquida, llega al dispositivo de expansión el líquido, que permanece a alta presión antes de la válvula, es estrangulado en su paso por este dispositivo y expandido,

transformándose en una mezcla líquida gaseosa a baja presión. Este dispositivo separa la zona de alta, de la baja presión, luego llega al evaporador, equipo donde concluye la evaporación de la mezcla de refrigerante líquido-gas, que absorbe calor del medio que se enfría. Todo el refrigerante debe pasar al estado vapor. Sale del evaporador ya en forma de vapor, con una presión y temperatura baja, el refrigerante regresa a la succión del compresor para nuevamente ser comprimido y recalentado. Por supuesto, la comunicación de los equipos para el transporte de refrigerante, se realiza mediante conductos de tuberías, las que requieren en algunas zonas del sistema, aislarse térmicamente. Dado que el dispositivo de expansión regula el flujo de refrigerante hacia el evaporador, su selección es de particular importancia para la operación posterior del sistema de refrigeración(Ruano, 2011a).

Existen ineficiencias en la compresión: muy representativas en la mayoría de los sistemas. Están asociadas a los rendimientos eléctricos, mecánicos, volumétricos e isentrópicos. Ejemplo: la capacidad de llenado del cilindro se afecta por efecto del intercambio de calor entre las paredes calientes y el vapor refrigerante que penetra , se consume energía de alta calidad (eléctrica ) para realizar trabajo sin que se logre el efecto útil deseado(Armas, 2006).

### **Gases refrigerantes. Principales características**

El fluido térmico que circula en el sistema cerrado de refrigeración, es un gas refrigerante. Este fluido absorbe o cede calor en las diferentes etapas y equipos por donde circula y se transforma. Entonces un gas portador refrigerante no es más que una sustancia que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cede calor a alta temperatura y absorbe a baja temperatura(Ruano, 2011b).

Un buen refrigerante debe cumplir múltiples cualidades, que por desgracia no todas pueden ser satisfechas a la vez. Hasta hoy no se ha logrado un refrigerante "ideal". Se hace evidente que en la medida que la naturaleza del refrigerante sea tal que las P - T de condensación, se aproximen a las del ambiente, necesita menos energía para comprimirlo y para enfriarlo, y con ello el indicador de

consumo por unidad frigorífica también será menor. A la vez, si se coincidiera que su diferencia en calor latente (respecto al ambiente) fuese lo suficientemente alto para realizar la transferencia de calor, requeriría menos cantidad de refrigerante para ejecutar el trabajo y con ello menos compresión. Ambas cualidades son primordiales en el consumo de energía. Se suman otras propias de la naturaleza química del refrigerante, las que proporcionarán poder realizar el trabajo de refrigeración con mayor o menor eficiencia (Ruano, 2011a).

### **Regulaciones e Impacto de los Refrigerantes en la capa de ozono**

Desde mediados de los ochentas la comunidad internacional ha dado una serie de pasos para proteger la capa de ozono. Ello se debe a que existen probadas evidencias científicas que demuestran su alto grado de deterioro, que permiten una mayor incidencia de los rayos ultravioletas del sol y por tanto afectaciones crecientes en la salud humana como es, incremento de las cataratas, el cáncer de la piel y las afectaciones al sistema inmunológico, también los animales y las plantas son fuertemente afectados. Todo ello es consecuencia directa del uso indiscriminado del hombre de determinadas sustancias químicas, empleadas fundamentalmente como refrigerantes. En este sentido se adoptó en 1985 el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono (Perú, 2002).

En 1987, se dio un paso trascendental al aprobarse en el marco del convenio de Viena el protocolo de Montreal, relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) (Perú, 2002).

Los Cloro Flúor Carbono (CFC) constituyen la sustancia agotadora de la capa de ozono de mayor volumen y peligrosidad. Evitar que vayan a la atmósfera es obligación moral con la humanidad, además de constituir un despilfarro imperdonable y un atentado a la economía del país (Perú, 2002).

#### **1.2.1. Diagnóstico del sistema de refrigeración**

Mientras mayor sea la temperatura de evaporación de un sistema de refrigeración, menor será su consumo de energía. Un aumento de 1°C, podría significar ahorros que van entre un 1% y un 4%. Es posible estimar que por cada 1°C de aumento en

la temperatura de evaporación, podría obtenerse un aumento de un 4% a un 6% en la capacidad frigorífica del compresor(Schmid, et al., 2010).

Para un diagnóstico práctico y en tiempo real, se requiere disponer de los medios siguientes:

- a) Documentación técnica para conocer cómo realizar el diagnóstico,
- b) Automatización en un computador de las Tablas de P - T para los refrigerantes de más uso, de forma que se introduzcan el valor de la presión manométrica tomado en cualquiera de los puntos sensibles del sistema de refrigeración y reporte cual es la temperatura de saturación en ese punto.
- c) Automáticamente comparar el valor reportado por el computador con la temperatura real y conocer el valor de recalentamiento o superenriquecimiento y del subenfriamiento del refrigerante(Ruano Dominguez, 2011b).

Con la teoría aportada, basados en el valor del recalentamiento y subenfriamiento, el operador podrá diagnosticar si el sistema funciona dentro o fuera de parámetros. Las desviaciones de estos parámetros están asociadas a infiltraciones de gases inertes no condensables, obstrucciones en los conductos de evaporación y otras. causas(Ruano, 2011b).

Las infiltraciones de aire diluyen el volumen de refrigerante que circula, alteran la relación de presión  $p_2/p_1$  de compresión. La humedad que acompaña a las infiltraciones del aire ambiente, se condensa en las zonas de baja temperatura, válvula de expansión y evaporador, que aumenta la caída de presión que se opone al flujo de refrigerante, lo que descontrola el funcionamiento de la expansión, reduce la capacidad de enfriamiento e incrementa los índices de energía/frigorías(Ruano Dominguez, 2011b).

La capacidad de refrigeración de un equipo está dada por el calor absorbido en el evaporador ( $Q_{abs}$ ). En cambio, la carga de refrigeración corresponde a la energía térmica que contiene el medio que se desea refrigerar. El trabajo ejercido por el compresor sobre el fluido refrigerante ( $W$ ) puede estimarse como la diferencia entre el calor disipado por el condensador ( $Q_k$ ) y el calor absorbido por el evaporador ( $Q_{abs}$ ).El calor absorbido en el evaporador ( $Q_{abs}$ ), el calor expulsado en el condensador ( $Q_k$ ) y la potencia o trabajo ejercido sobre el fluido refrigerante



(W), pueden ser calculados de acuerdo a las variaciones de la entalpía del refrigerante en las distintas etapas del ciclo, que supone que las válvulas de expansión son isoentálpicas (entalpía constante)(Ruano Dominguez, 2011a).

### **1.2.2. Máquina frigorífica por compresión mecánica**

Una máquina frigorífica por compresión tiene por cometido desplazar energía térmica en forma de calor entre dos puntos. La más sencilla de ellas es la refrigeración por compresión mecánica de una etapa(Iglesias, 2004).

El mantenimiento deficiente de los intercambiadores de calor hace que la capacidad de refrigeración se vea disminuida y aumente el requerimiento de potencia del compresor. Si no se mantiene la carga del refrigerante adecuado para el ciclo, baja la temperatura de evaporación, y reduce la capacidad del sistema. Por otro lado, la mala regulación o temperaturas de termostatos muy bajas, incrementan los requerimientos de refrigeración(Campos avella, 1995).

En cuartos fríos los requisitos de refrigeración aumentan inadmisiblemente debido a las aperturas de puertas del cuarto y defectos en los aislamientos. Las líneas de succión se mantienen aisladas para evitar un aumento innecesario en los requerimientos de refrigeración(Campos Avella, et al., 2011).

### **1.2.3. Elementos Claves para el uso racional de energía**

Evitar la formación de polvo en el condensador en los sistemas de refrigeración de media, baja y alta temperatura (limpiar la parte posterior), favorece el uso racional de la energía. Los sistemas destinados al acondicionamiento ambiental de confort, tienen por objeto conseguir unas condiciones ambientales de temperatura mantenidas entre márgenes relativamente estrechos. De hecho, estas temperaturas pueden mantenerse con facilidad si se dispone de una fuente de frío a temperaturas entre 4°C y 10°C(Campos Avella, et al., 2011).

Termodinámicamente la producción de frío exige la existencia de un foco caliente, al que se “bombea” el calor que se extrae del lugar en el que se produce el frío deseado. En aplicaciones de acondicionamiento ambiental de confort, este foco

caliente suele estar a temperaturas entre 40 °C y 60° C (Campos Avella, et al., 2011).

#### **1.2.4. Refrigeración Industrial**

En el caso de la refrigeración industrial en general, las condiciones de temperatura, tanto del foco frío como del caliente, varían dentro de márgenes mucho más amplios (Plank, 1963).

De hecho y desde un punto de vista puramente científico, cabría pensar que el foco frío o la fuente de frío pueden estar entre unos pocos grados por encima del cero absoluto y unos pocos grados por debajo de la temperatura ambiente normal (Plank, 1963).

Se puede considerar solamente aplicaciones técnicas y como tales, los márgenes de la temperatura de la fuente de frío cabe establecerlos entre los +20°C y los -150°C. Dadas estas condiciones, se comprende que los objetivos de la refrigeración industrial son muy amplios y variados. A título de ejemplo la refrigeración industrial debe cubrir el objetivo de producir frío, para el almacenamiento de caramelos a unos 15°C, en condiciones estrictas, tanto de temperatura como de humedad. Para el oreo de carne de vacuno entre 0°C y -2°C; debe atender simultáneamente a las exigencias de frío a -30°C para la conservación de helados, a -20°C para la conservación de congelados y a -4°C para la conservación de carne, caso típico en las cámaras de un supermercado. Otro tipo de aplicaciones puede exigir el enfriamiento a -70°C del aire necesario para la combustión de motores de aviación en una instalación de ensayos, o bien utilizar el frío en un ciclo de licuefacción de cloro, condensado a 0°C, -25°C y -45°C (Plank, 1963).

#### **1.2.5. Comportamiento energético de los sistemas de refrigeración y climatización**

El funcionamiento de los componentes de los sistemas, es oportuno resumir los puntos más importantes de su comportamiento energético. Debe tenderse a una regulación minuciosa de la capacidad de los compresores, para adaptarse a las

exigencias de la carga. Un correcto dimensionado de los conductos de paso de líquido y gas contribuye a disminuir las pérdidas de carga y, en consecuencia; el consumo energético del sistema(Campos Avella, et al., 2011).

La elevación de la presión de aspiración (o la temperatura de evaporación), contribuye a disminuir el consumo energético por unidad de refrigeración. La disminución de la temperatura de condensación hace disminuir el consumo energético por unidad de refrigerante(Campos Avella, et al., 2011).

El recalentamiento de los gases aspirados, con aumento del efecto refrigerante, hace disminuir el consumo energético por unidad de refrigeración. Así, hay que procurar que tal recalentamiento se produzca en el evaporador o ambiente refrigerado(Campos Avella, et al., 2011).

El subenfriamiento del líquido con extracción de calor fuera del ciclo produce una mejora del rendimiento de compresión. Si se emplea un intercambiador entre los gases aspirados y el líquido condensado, se puede mejorar el funcionamiento del compresor, ya que éste funciona con los cilindros más fríos. Es importante mantener limpias las superficies de intercambio térmico en condensadores y evaporadores(Campos Avella, et al., 2011).

#### **1.2.6. Recomendaciones generales de operación de equipos de refrigeración**

El empaque de las puertas de los equipos de refrigeración debe permitir un cierre hermético para impedir la entrada de aire caliente al espacio refrigerado. Revisar con cuidado el funcionamiento de los termostatos de modo que apague el equipo cuando se alcance la temperatura programada. Inspeccionar regularmente el estado del refrigerante con el fin de prevenir fugas del mismo. Revisar el estado de aislamiento en las líneas de succión. Optimizar la temperatura de operación del sistema de refrigeración, cualquier ruido que se presente en este debe corregirse inmediatamente. Limpiar con frecuencia los filtros y los condensadores de los equipos de refrigeración(Campos Avella, et al., 2011).

### **1.2.7.Tendencias actuales en la instalación de sistemas de Refrigeración y Climatización**

Los métodos corrientes empleados para la obtención de frío, a nivel de la tecnología actual; se basan fundamentalmente en dos sistemas o ciclos termodinámicos: el ciclo de compresión de vapor, y el ciclo de absorción. Para ciertas aplicaciones en el mercado comienzan a aparecer sistemas basados en efectos termoeléctricos. El sistema de refrigeración por compresión de vapor, es el sistema más empleado en la actualidad y del que existen más realizaciones hechas a lo largo de muchos años. Probablemente el porcentaje de instalaciones a compresión de vapor, referido a unidades de energía, representa un 95% del total de instalaciones. En general las instalaciones de producción de frío basada en el ciclo de absorción, encuentran su mejor mercado en el campo de las instalaciones para acondicionamiento ambiental, aunque nada se opone técnicamente a su utilización en instalaciones de refrigeración industrial a temperaturas moderadamente bajas(Schmid, et al., 2010).

### **1.3. Conclusiones Parciales**

- 1-El estudio bibliográfico realizado muestra la variedad de atención que se le da al uso de la energía en el mundo, desde su explotación, uso y eficiencia, que exige la toma de conciencia del problema social y ambiental que existe.
- 2-Se pudo constatar que en la literatura se reporta que al analizar las variables temperatura y presión, se puede hacer una valoración de las etapas del ciclo de compresión de vapor en un sistema de refrigeración y dictaminar la eficiencia, para aplicar medidas de corrección y mejorar el ahorro energético.
- 3-La revisión bibliográfica demuestra que altos consumos de electricidad son originados por el funcionamiento de los equipos de refrigeración y climatización instalados; y su reducción energética es posible con la aplicación de una evaluación sistemática en los ciclos termodinámicos para caso en específico.
- 4-Se reportó también que en los sistemas de refrigeración, existen innumerables ineficiencias localizadas en el mal funcionamiento de los equipos, provocados por una inadecuada ubicación de las partes que componen el sistema.

## Capítulo. 2

### 2.1. Materiales y Métodos

En este capítulo se muestran los métodos y procedimientos empleados para cumplir con los objetivos trazados, lo cual se llevó a cabo en cuatro etapas (Figura 2.1):

Etapa I: Diagnóstico

Etapa II: Elaboración de las propuestas

Etapa III: Valoración de las propuestas

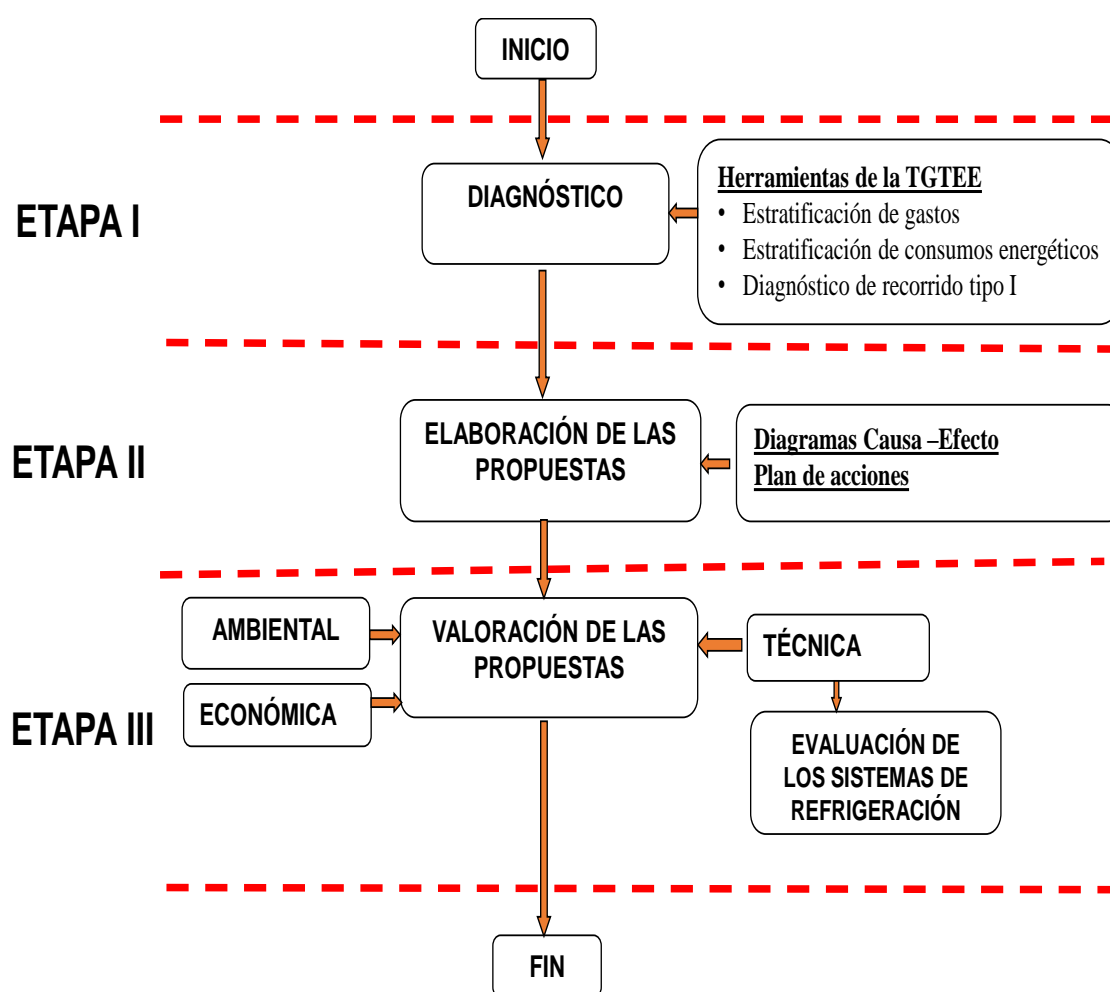


Figura 2.1 Etapas, métodos y procedimientos para cumplir con los objetivos propuestos en el proceso investigativo

## **2.2. ETAPA I: Diagnóstico**

Para la realización del diagnóstico de la situación actual e histórica de la institución se aplicaron algunas técnicas y procedimientos establecidos para la realización de la prueba de necesidad como primer paso de la implementación de la tecnología de gestión total eficiente de la energía (TGTEE). Aquí se realizó:

- La caracterización de la institución, como una necesidad para el conocimiento de los elementos básicos de la institución.
- La estratificación de los gastos, para conocer el impacto de los portadores energéticos en los gastos totales de la entidad.
- La estratificación del consumo de los portadores energéticos, para conocer los portadores energéticos de mayor peso. Esta estratificación se realizó a niveles más profundos para conocer el peso los sistemas de refrigeración dentro del consumo total de portadores energéticos.
- El diagnóstico de recorrido de tipo I para identificar por simple inspección las principales oportunidades de ahorro de la entidad.

### **2.2.1. Herramientas aplicadas durante el diagnóstico**

Las herramientas aplicadas durante el diagnóstico en este proceso de investigación fueron las siguientes.

#### **Diagramas de Pareto**

Se confeccionaron varios diagramas de Pareto. Los diagramas de Pareto, son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en por ciento. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total.

El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

Su utilidad fue identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser: los mayores consumidores de energía, las

mayores pérdidas energéticas o los mayores costos energéticos. Predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce. Determinar la efectividad de una mejora comparando los diagramas de Pareto anterior y posterior a la mejora. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de este tipo de diagrama.

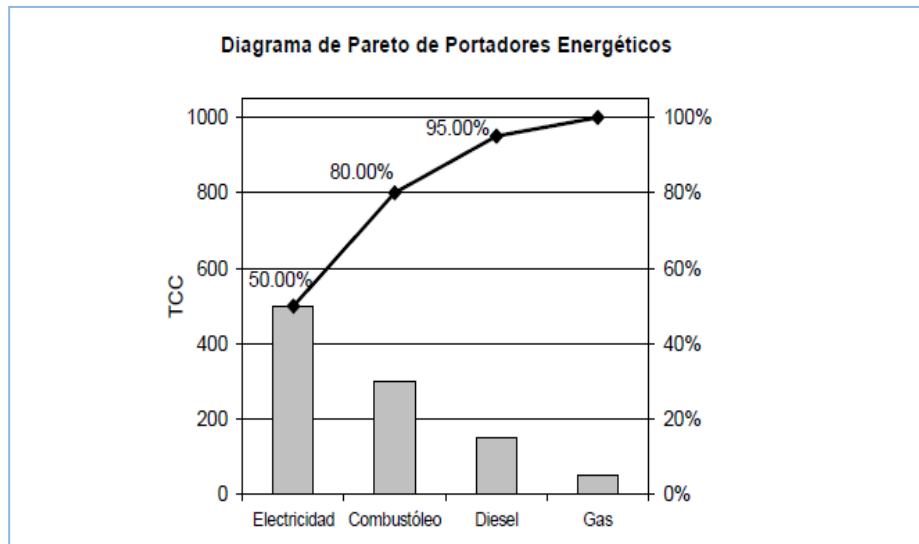


Figura 2.2 Diagrama de Pareto

Fuente(Borroto, 2006).

Se utilizó el método de estratificación de los resultados obtenidos

### **Estratificación de los resultados**

Cuando se investigó la causa de un efecto, una vez identificada la causa general al aplicar el diagrama de Pareto, fue necesario encontrar la causa particular del efecto, con aplicación sucesiva del Pareto a estratos más profundos de la causa general.

La estratificación fue el método utilizado de agrupar datos asociados por puntos o características comunes pasando de lo general a lo particular. Pueden ser estratificados los gráficos de control, los diagramas de Pareto, los diagramas de dispersión, los histogramas y otras herramientas de descripción de efectos.

Utilidad de la Estratificación.

- Discriminar las causas que provocan el efecto estudiado.
- Conocer el árbol de causas de un problema o efecto.

- Determinar la influencia cuantitativa de las causas particulares sobre las generales y sobre el efecto estudiado.
- Uso del método de estratificación para el control y reducción de los consumos y costos energéticos:
- Identificar el número mínimo de equipos que provocan la mayor parte de los consumos totales equivalentes de energía de la empresa.
- Encontrar el número mínimo de las causas de pérdidas que provocan la mayor parte de los sobre consumos de energía de la empresa.
- Localizar el número mínimo de áreas o equipos que provocan los mayores costos de energía de la empresa.
- Descubrir factores o variables de control que pueden influir sobre los consumos, pérdidas y costos energéticos.

Identificar causas de comportamientos no esperados de las variaciones de los consumos energéticos (Borroto 2002).

### **Diagnóstico de recorrido**

Para la determinación de las principales oportunidades de ahorro, se realizó un diagnóstico energético preliminar, también llamado diagnóstico de recorrido de tipo I, el cual consistió en una inspección visual de los equipos de refrigeración y climatización, en la observación de los parámetros de operación, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento, así como de la información estadística existente sobre el consumo. Con este diagnóstico se obtuvo un panorama global generalizado del estado energético y una idea preliminar de los potenciales de ahorro (Borroto 2002).

## **2.3. ETAPA II: Elaboración de las propuestas**

### **Diagrama causa efecto**

Se confeccionó el Diagrama Ishikawa o “Causa – Efecto”, para mostrar todos los factores que inciden de una forma u otra en el logro de la eficiencia energética a que se aspira. Su graficación identificó todas las posibles causas que pueden



estar influir en la eficiencia energética, y permite organizar toda la información disponible.

Este diagrama se confeccionó como sigue:

Identificación del problema: Se refiere a lo que se quiere mejorar o controlar.

Reconocer la frase que resume el problema: Cuando esto ocurre la misma se plasma en la parte extrema derecha del papel, dejando espacio para el resto del diagrama hacia la izquierda. Es cuando se dibuja una caja alrededor de lo que identifica el problema, se denomina comúnmente cabeza de pescado, luego se dibuja las espinas principales, esto representa el *input* principal categorías de recursos o factores casuales, se dibuja una caja alrededor de cada título, puede ser diferente para los títulos tradicionales en el diagrama de causa y efecto. La misma se llevó a cabo a través del diagnóstico de recorrido. Es importante resaltar que solo fueron causas y no soluciones los que se plasmaron, todo con la intención de incentivar ideas que nos sirvieran para la identificación de los problemas.

### **Definición del plan de acción**

El plan de acciones es la traducción de las oportunidades de ahorro, detectadas en acciones concretas para llevar a vías de hecho el ahorro de portadores energéticos en la entidad. Para su elaboración fue necesario asignar un responsable que supervise y ejecute los planes de acción marcados en los plazos previstos, asignar los recursos humanos, materiales y financieros requeridos, evaluar los costos previstos y de una manera especial, jerarquizar la atención y dedicación que se debe de prestar a dichos planes en función de su urgencia e importancia.

Todo Plan de acciones debe contener tareas a realizar de forma inmediata para el caso que se produzcan desviaciones de los objetivos propuestos durante su período de vigencia. Los planes de retaguardia tienen siempre que estar a punto.

En esta etapa se definieron que acciones concretas se debían realizar en cada para mitigar las causas que provocaron el efecto. En este Plan de Acción o Programa vienen detallados los siguientes aspectos:

- Acciones específicas que van a tomarse.
- Personas responsables de llevarlas a cabo.
- Momento en que dichas acciones deben tomarse.
- Valoración y resultados esperados de cada una de ellas.

## **2.4. ETAPA III: Valoración de las propuestas**

### **Aspectos técnicos**

Se evaluaron el 100 % de los equipos, que poseen dispositivos instalados para la toma de los parámetros, se realizó una evaluación de 94,6 ton de refrigeración en los sistemas de climatización y refrigeración de media y baja temperatura, en el Hospital Clínico Quirúrgico Provincial Camilo Cienfuegos de Sancti Spíritus.

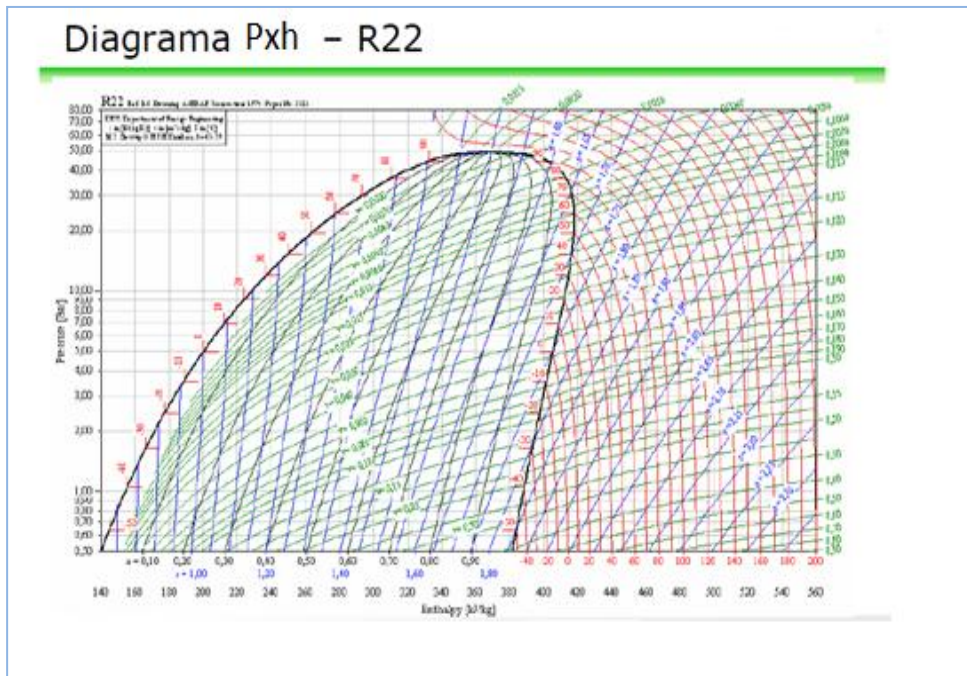
Se utilizaron instrumentos de medición para medir los parámetros de funcionamiento en los sistemas de Refrigeración y Climatización con vista a representar las variables de estudio en el ciclo básico del Refrigerante

R-22, el cual se utiliza como sustancia de refrigeración, estos son:

- Manifold con manómetros
- Amperímetro de gancho
- Termómetro digital
- Multímetro digital

Se utilizó del Software de trabajo *Engineering Equation Solver* (ESS), para determinar las diferentes etapas del ciclo, compresión, condensación expansión, y evaporación. Con estos procesos determinados se puede obtener el COP o coeficiente de funcionamiento.

Se utilizó el diagrama P-h(Diagrama de presión y entalpia) para determinar los procesos de intercambio térmico, compresión de vapor, estrangulación y absorción de calor.



**Figura 2.3. Diagrama de Presión entalpia**

**Fuente:** (Da Silva, 2007).

### Evaluación de los sistemas de climatización y refrigeración

Para evaluar el desempeño energético del sistema en general fue necesario interpretar los resultados, a partir de un indicador que relacione la variación de las magnitudes termodinámicas que representan su operación, con la consecuencia en el consumo de energía eléctrica que esta representa.

Para relacionar la cantidad de energía eléctrica empleada con la cantidad de calor extraída, en la literatura especializada (Ruano, 2011a). Se define el Coeficiente de Funcionamiento (COP) para las condiciones reales de explotación que varía en función de la calidad de los mantenimientos, el tiempo de explotación y la calidad de la energía eléctrica. Análisis de oportunidades de ahorro en el consumo energético del sistema.

En consecuencia con los objetivos del trabajo, para analizarlas oportunidades de ahorro de energía de los sistemas para la climatización del hospital, es necesario disminuir las aportaciones de calor a la unidad condensadora de acuerdo a la naturaleza de cada una de ellas.

Debido a lo anterior, el análisis de oportunidades de ahorro de energía eléctrica del sistema centró en la evaluación de las consecuencias que produce el aumento en la temperatura de condensación, debido a suciedades en el mismo lo que provocan mala transferencia de calor.

### Evaluación de los ciclos térmicos

Se utilizó el *software Engineering Equation Solver (ESS)*, para evaluar los ciclos térmicos para obtener como resultado el COP, la potencia del compresor, el calor absorbido en el evaporador, el calor rechazado en el condensador y la potencia /ton de refrigeración. Para esta evaluación con el *software ESS* se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Determinación del factor de funcionamiento COP en cada sistema de refrigeración  $COP = \frac{Q_{abs}}{W}$
- Del ciclo básico o diagrama P-H para el refrigerante R-22 y utilizando el *software EES*, se obtuvieron los valores de entalpia, H1 y H2 para determinar el trabajo del compresor (W)
- Se calculó el calor absorbido (Qabs), con los valores de entalpia H5-H1
- Se obtuvo el desprendimiento de calor o calor rechazado en el condensador con la expresión  $Q_k = H_2 - H_4$
- Se calculó la masa de refrigerante  $M = \frac{Q_{total}}{Q_{abs}}$
- Se determinó la potencia del compresor  $P = M \times W$

COP: coeficiente de funcionamiento del sistema

Qabs: calor absorbido por el sistema en kJ/kg

Qk: calor rechazado en el condensador en kJ/Kg

M: masa de refrigerante que circula por el circuito de refrigeración Kg/h

W: trabajo del compresor en kJ/kg

P: potencia del compresor en kW

H: entalpia

- Se determinó el Índice de consumo de potencia (kW/ton) (Borroto Nordelo, 2002).

- Se determinó la transferencia de calor por conducción debido a la temperatura exterior e interior de la cámara, esta transferencia de calor se atenúa mediante el aislamiento térmico de la misma

$$Q = S \times M$$

Q: carga de transmisión de calor, a través de paredes, techo y piso (Kcal/h)

S: área exterior total de la cámara (m<sup>2</sup>)

M: factor unitario de transmisión de calor (Kcal/24hm<sup>2</sup>)

- Para cámaras con temperaturas de funcionamiento -1°C o menos se toman 18 horas de funcionamiento
- Para cámaras con temperaturas de funcionamiento 0°C o más se toman 16 horas de funcionamiento (Acosta, 1975).

### Valoración económica

La evaluación económica parte de la base del ahorro económico que representa, la solución de los potenciales analizados en el ahorro energético por la aplicación de los mantenimientos y factibilidad económica de la propuesta de disminuir la pérdidas energéticas ocasionadas por transferencia de calor a través de paredes, techos y puertas de las cámaras de refrigeración de baja y media temperatura. Para este caso se utilizó las herramientas del VAN y PRI (Borroto, 2006).

Para la realización del cálculo económico con el ahorro energético debido a las mejoras efectuadas en los equipos de climatización y refrigeración, se tuvo en cuenta; el valor de la energía que le es situada al cliente en su acometida, de 0,2325 \$/kWh en Moneda Total, se, consideró CUC y CUP (OC ONURE, 2015).

$$AE = PA(\text{kWh/año}) * CE (\$/\text{kWh})$$

AE": Ahorro económico en la institución

PA: Potenciales de ahorro energético en kWh/año

CE: Costo de la energía puesta al cliente (0,2325\$/kWh)

### Cálculo económico.

Para la realización del cálculo económico con el ahorro energético debido a las mejoras efectuadas en los equipos de climatización y refrigeración, se consideró el

valor de la energía que le es situada al cliente en su acometida. Igual que en el epígrafe 2.2 de 0,2325 \$/kWh en Moneda Total.

### **Valoración ambiental**

Los cálculos para las emisiones contaminantes se realizaron exclusivamente a partir de las reducciones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera. El método de cálculo empleado fue el siguiente:

1. Se determinó el combustible que no es necesario consumir

$$AC(\text{kg/año}) = PA(\text{kWh/año}) * ICC(\text{g/kWh})$$

AC: Ahorro de combustible no combustionado

ICC: Índice de consumo de combustible (240g/kWh)(DURE UNE, 2012).

PA: Potenciales de ahorro

### **Cálculo del CO<sub>2</sub> dejado de emitir a la atmósfera**

$$CO_2: (\text{Kg/año}) = PA (\text{kWh/año}) * ICO_2 (\text{gCO}_2/\text{kWh})$$

Para definir las emisiones de CO<sub>2</sub> por kWh generado.

ICO<sub>2</sub>: Índice de emisiones de CO<sub>2</sub> ( 0.7762239 g CO<sub>2</sub> / kWh)(ONURE, 2014).

## **2.5. Conclusiones parciales**

- 1-Las herramientas existentes permiten alcanzar los objetivos propuestos.
- 2-Se describieron las metodologías y *software* para evaluar la eficiencia en los sistemas de refrigeración y climatización, así como los métodos de análisis técnico, económico y ambiental para valorarlas propuestas realizadas.

## **CAPITULO III**

### **3.1. Caracterización energética de la Institución**

El Hospital Provincial Clínico Quirúrgico “Camilo Cienfuegos” se encuentra ubicado en la cabecera provincial en Bartolomé Mazó S/N esquina Mirto. Comenzó a prestar servicios en el año 1986. Cuenta con 27 departamentos que garantizan la asistencia médica y actividades administrativas de servicios y económica que apoyan y complementan su actividad fundamental. Tiene como objeto social prestar servicios de asistencia médica tanto clínicos, quirúrgicos, como gineco-obstétricos a la población espiritana y servicios internacionales a extranjeros.

La institución recibe actualmente los beneficios de la reparación y remodelación, con la consiguiente entrada en funcionamiento de equipamiento médico de última generación y su correspondiente climatización, para garantizar la calidad de las condiciones de estos equipos en su prestación de servicios médicos. Atiende anualmente a más de 570 000 pacientes, lo que ha originado en los últimos años, un incremento en el consumo de electricidad. En el mismo, se confeccionan como promedio mensual 50 500 raciones para pacientes y trabajadores, con un consumo para ello de 3 500 litros de gas manufacturado.

El hospital tiene gran repercusión dentro de la estructura de salud provincial, ya que consume el 63% de la electricidad dentro del consumo energético total del sector. Presenta consumos mensuales del orden de 331 MWh de energía eléctrica, 34 956 litros de diesel regular promedio, 3 313 litros promedio de gasolina consumida por vehículos administrativo, 2 288 litros de gas licuado, como promedio mensual y un consumo de agua de 10 000 m<sup>3</sup>.

#### **3.1.1. Estructura de gastos**

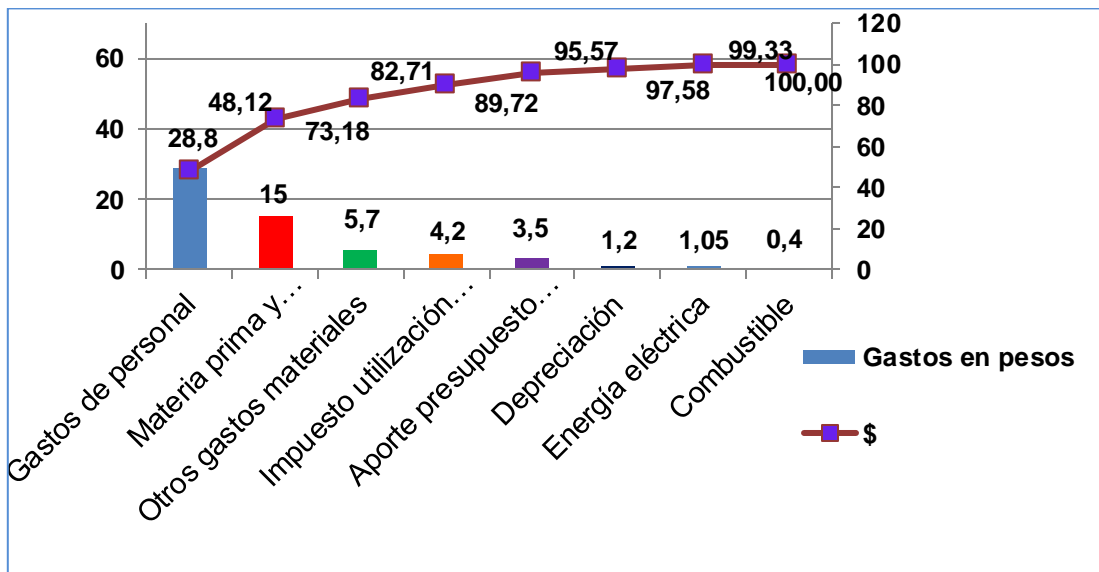
#### **3.1.2. Impacto de los consumos energéticos en los costos totales de la Institución**

Como se observa en la [Figura 3.1](#), los gastos en energía no son de las partidas con mayor peso en la estructura general de gastos de la entidad, ellos representan el 1,77 % del total. Sin embargo, constituye una estrategia importante para mejorar



el ahorro de portadores energéticos por lo que se puede trabajar en su reducción, tomando en consideración que:

- Los gastos energéticos pueden incrementarse significativamente, a partir del aumento de los precios del petróleo en el mercado mundial.
- Es una de las pocas partidas que está fundamentalmente en manos de la institución: la posibilidad de reducirlo.

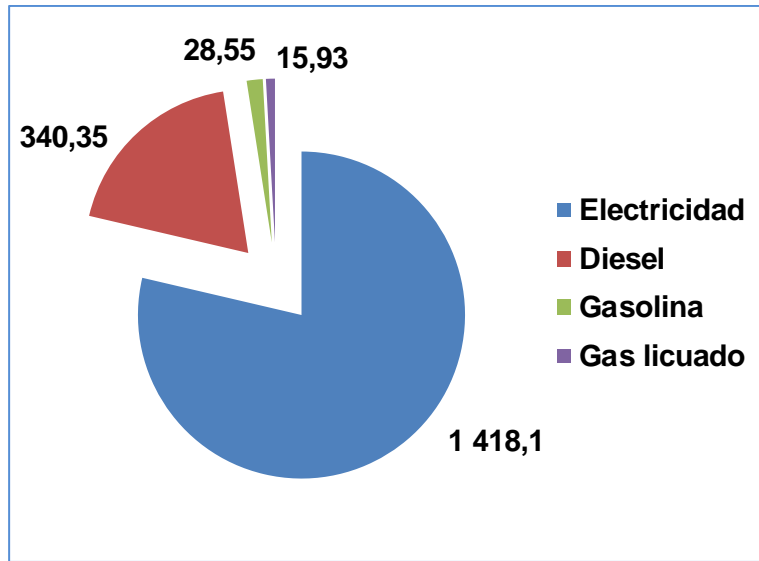


**Figura 3.1 Diagrama de Pareto gastos totales de la institución año 2014 (60,3 millones de pesos)**

### 3.1.3. Estructura de consumo de los portadores energéticos

El hospital tiene un consumo anual del orden de los 3 981,4MWh de energía eléctrica, 419 480 litros de diesel para uso de los generadores de vapor y para el transporte específicamente de insumos propios de salud y la alimentación de los pacientes ingresados; 39 760 litros de gasolina y 27 460 litros de gas licuado para la cocción de alimentos tanto de pacientes como para trabajadores. Además, el consumo de agua para todas las actividades es de 488 887 m<sup>3</sup>.

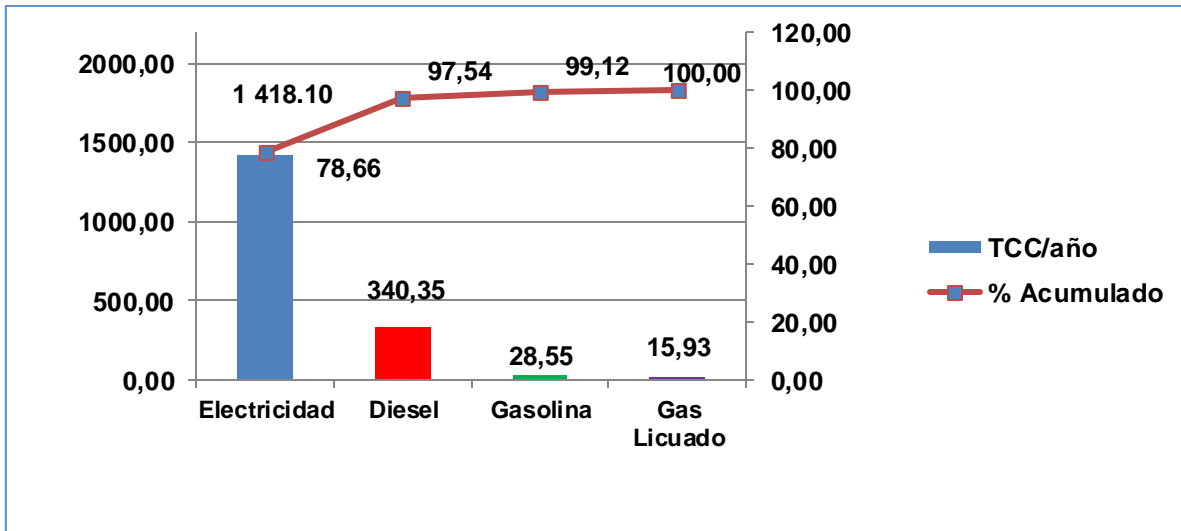
La [Figura 3.2](#) muestra los consumos energéticos (Tcc/año), donde se observó que el consumo de electricidad y diésel, representan los mayores valores cuantitativos, con más de 1 418 y 340 Tcc/año, respectivamente.



**Figura 3.2 Portadores energéticos Tcc/año**

#### **3.1.4. Consumo de portadores energéticos en la institución**

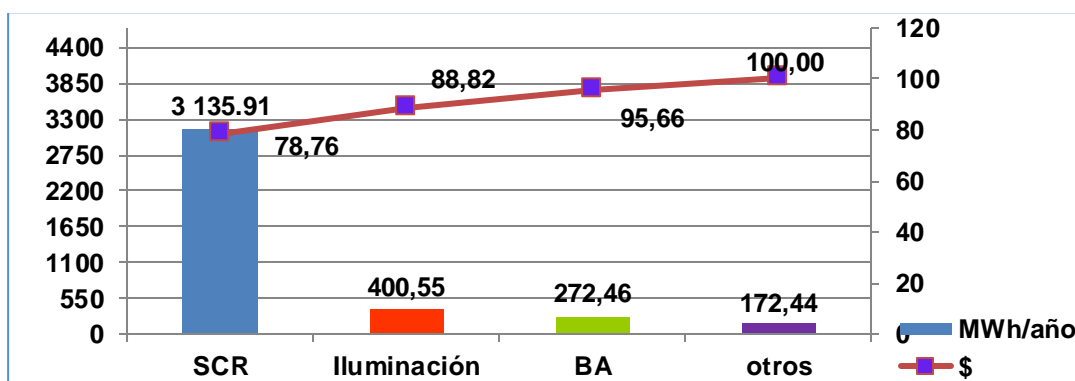
El diagrama de Pareto (Figura 3.3) mostró que los consumos de electricidad, son los mayores gastos energéticos de la institución con un 78,66 %. Lo cual demostró que actuando sobre el consumo de electricidad en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos, se pueden resolver el 80% de los problemas asociados al consumo de portadores energéticos. El consumo de diesel, gasolina y gas licuado representaron el 18,9, 1,6 y 0,9% del consumo de portadores energéticos respectivamente. Por tal motivo, resulta una prioridad trabajar sobre la reducción del consumo de electricidad en el Hospital Provincial referido.



**Figura 3.3 Diagrama de Pareto consumos de electricidad, diesel, gasolina y gas licuado (expresados como % del total)**

### 3.1.5. Estratificación del Consumo de electricidad

El diagrama de Pareto (Figura 3.4) mostró que el consumo de electricidad en las instalaciones de climatización y refrigeración del Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos, representa más del 78 % del consumo total de energía eléctrica. Por tal motivo, resulta una prioridad la búsqueda de alternativas que contribuyan a reducir los consumos en los equipos de climatización y refrigeración.



**Figura 3.4 Diagrama de Pareto consumo de electricidad en los sistemas de clima y refrigeración, iluminación, bombeo de agua y otros equipos de electromedicina**

SCR: sistemas de clima y refrigeración

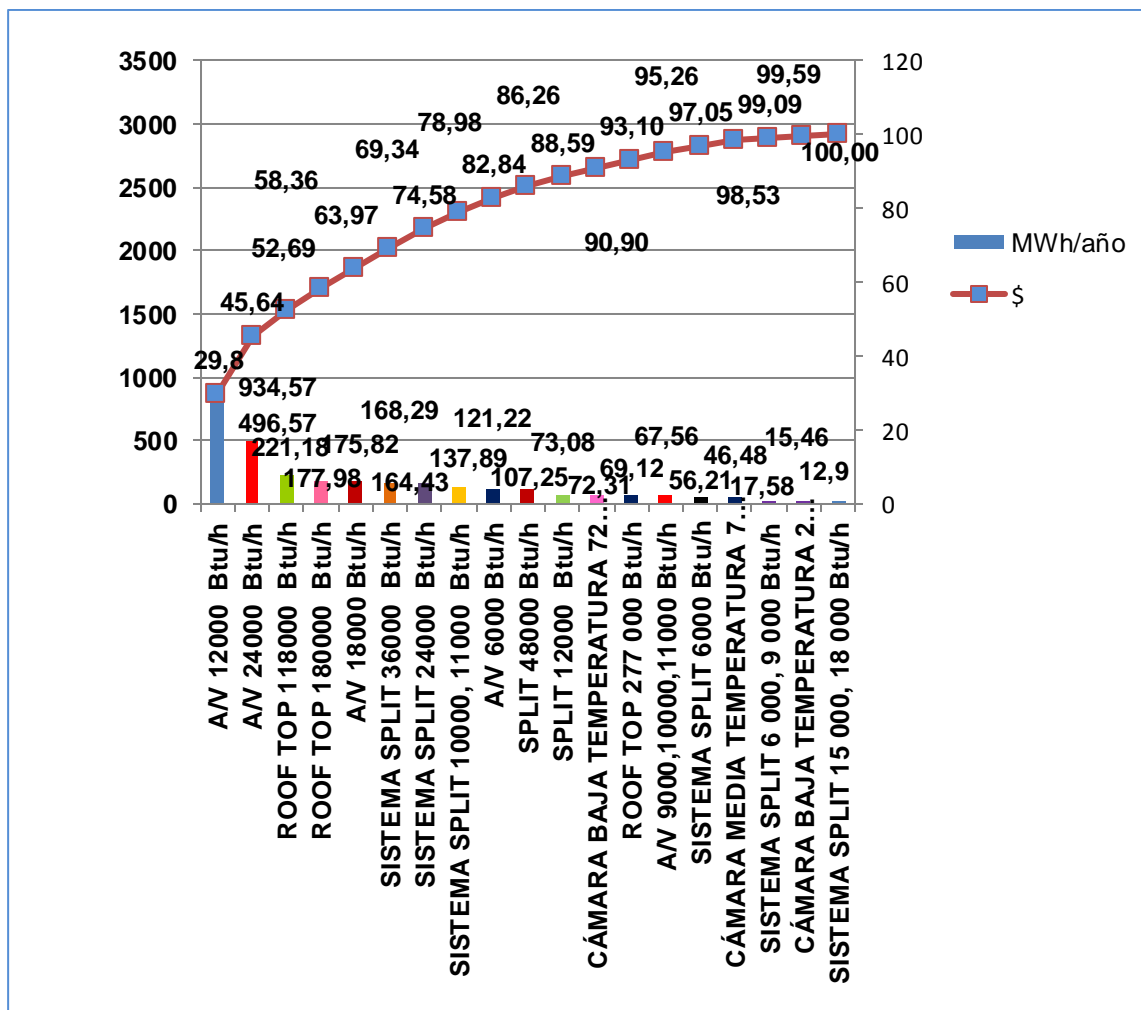
BA: bombeo de agua

Esto está asociado a su régimen de funcionamiento, donde en los salones de operación trabajan más de ocho horas diarias a régimen intenso, ya que se necesitan temperaturas inferiores a las de confort humano, para lograr los requisitos de sepsia dentro de los locales que se ejecutan las operaciones. Las cámaras de mantenimiento congelado trabajan 24 horas diarias y en condiciones extremas, ya que la totalidad de los productos cárnicos, deben entrar pre-enfriados y congelados. Estos deben mantenerse en este estado, sin producirse cambios en su estructura ni descomposición. Otros locales como salas de terapia intensiva, terapia intermedia, cardiología, materno y salas de medicina general que están climatizadas, donde se encuentran pacientes; también son equipos que trabajan a régimen continuo de 24 horas diarias.

En la propia [Figura 3.4](#) se observó que los consumos de electricidad en iluminación, bombeo de agua y otros (equipos disímiles en el Hospital Provincial), representaron menos del 22% del consumo total de este portador energético. Por tal motivo, ellos no resultaron una prioridad para el presente trabajo.

### **3.1.6 Estratificación del consumo de energía en los equipos de refrigeración y climatización**

En la [Figura 3.5](#) se mostró el consumo de energía en los equipos de refrigeración y climatización de media, baja y alta temperatura instalados en el Hospital Provincial. Estos equipos poseen una carga de refrigeración total de 381,6 ton de refrigeración (equivalentes a 1 153 952,5 Kcal/h), distribuidos en 377 ton de refrigeración en los sistemas de climatización y de 4,6 ton de refrigeración en los sistemas de media y baja temperatura.



**Figura 3.5 Diagrama de Pareto equipos de climatización y refrigeración de baja y media temperatura**

Como resultado de la realización del Diagnóstico de Recorrido Tipo I, se detectaron un grupo de oportunidades para reducir el consumo de electricidad en los sistemas de climatización de la institución hospitalaria. Las mismas se detallan a continuación:

Aspectos generales.

- 1-Perfeccionar el sistema de monitoreo y control energético.
- 2-Desarrollar un programa interno de concientización para todo el personal alrededor del ahorro de energía.
- 3-Establecer y ejecutar un programa de seminarios y cursos de capacitación, para el personal directivo y especialistas en eficiencia energética.

4- Potenciar la acción del movimiento del fórum de ciencia y técnica y la ANIR, en función del ahorro de electricidad y establecer otros mecanismos que incentiven la creatividad e iniciativa de los trabajadores en dicho campo.

Estás oportunidades pueden ser utilizadas como punto de partida para la confección de un diagrama causa-efecto.

### **3.2 Diagrama Causa - Efecto**

Identificadas algunas oportunidades de ahorro, el diagrama causa - efecto (Figura3.6) permitió precisar con mayor exactitud las principales causas del elevado consumo de electricidad de los sistemas de climatización. Las principales causas detectadas fueron de tipo organizativa, (sistema de monitoreo y control incompleto, la eficiencia energética no es tarea de todos); técnica (Ubicación de las unidades condensadoras de los sistemas Split sin orientación solar, No se evalúan los sistemas de climatización y refrigeración, Altas presiones de condensación en los equipos, Aislamiento térmico de las cámaras de refrigeración ineficiente); material ( faltan recursos materiales); métodos (Los mantenimientos a los equipos de climatización no se realizan con la periodicidad necesaria, Los mantenimientos a los equipos de refrigeración de media y baja temperatura no se realizan con la periodicidad necesaria).

Estas causas sirvieron de base para la elaboración de un plan de acciones para contribuir a la reducción del consumo de electricidad en los sistemas de climatización y refrigeración del Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos.

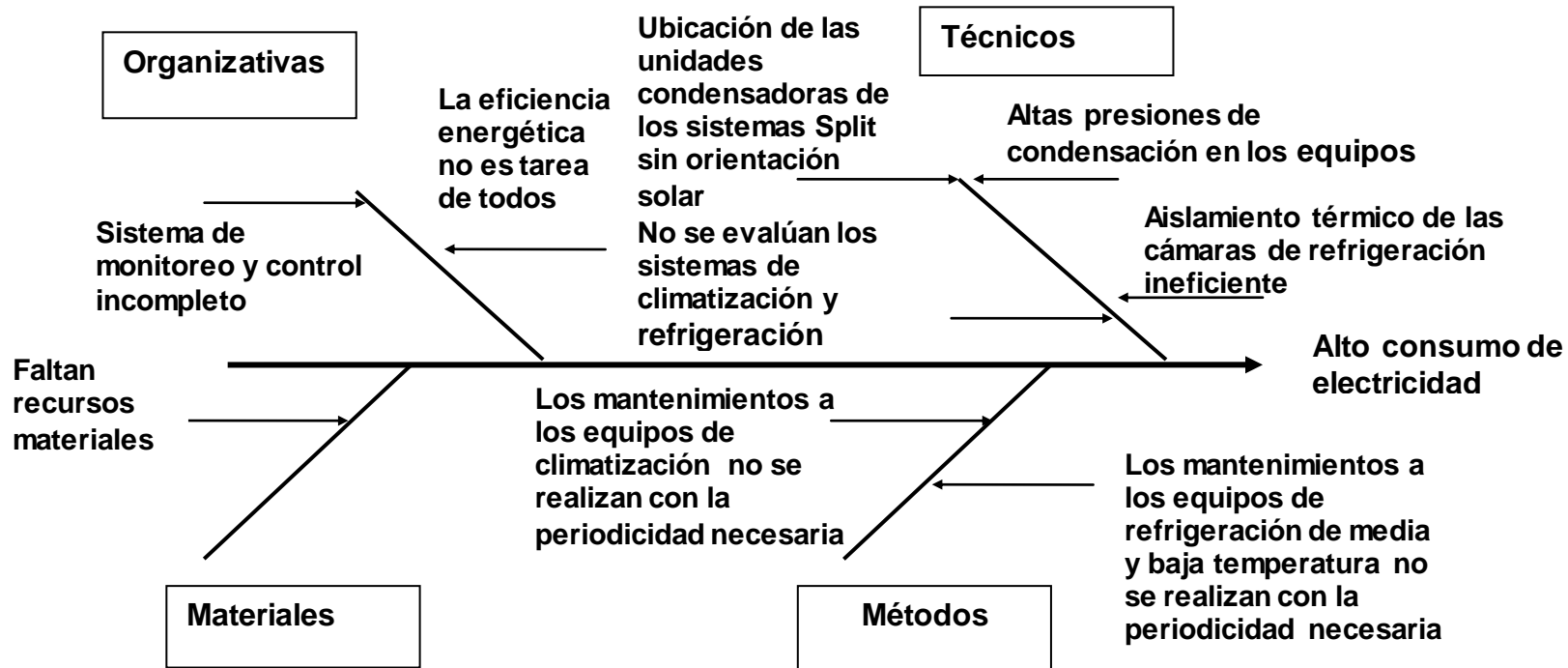


Figura 3.6 Diagrama de causa-efecto

### **3.3 Plan de acciones para la proyección de la institución hospitalaria hacia el mejoramiento energético**

Las principales causas detectadas en el diagrama causa-efecto permitió la confección, de un plan de acción que se mostró en la [Tabla 3.1](#). Se mostraron un total de cinco acciones que serán propuestas a la entidad, para su proyección hacia el consumo eficiente de los portadores energéticos. En sentido general, las acciones proponen la evaluación de factibilidad de mejoras en el equipamiento instalado y el establecimiento de medidas organizativas y de control.



**Tabla 3.1. Plan de acciones para la proyección de la institución hacia el consumo eficiente de los portadores energéticos**

<b>No</b>	<b>Acción</b>	<b>Fecha de Cumplimiento</b>	<b>Participantes</b>	<b>Responsables</b>	<b>Valoración y resultados esperados de cada una de ellas</b>
1	Capacitación periódica del personal encargado de los portadores energéticos	Permanente	Todos los recursos humanos	Jefe de recursos humanos	Obtener mejores resultados en la evaluación de los portadores energéticos.
2	Evaluación de los sistemas de climatización y refrigeración	Permanente	Personal técnico que atiende los servicios	Especialista en energía	Con la medición de los parámetros de trabajo en los sistemas de climatización y refrigeración, se puede hacer una evaluación en los ciclos termodinámicos y con ello, aplicar medidas técnicas que nos definen ahorros energéticos
3	Reubicación técnica de las unidades condensadoras de los sistemas Split según orientación solar	Permanente	Personal técnico que atiende los servicios	Especialista en energía	Se obtienen ahorros energéticos al disminuir las aportaciones de calor por radiación solar
4	Efectuar los mantenimientos planificados a los equipos de media , baja y alta temperatura con la periodicidad establecida en la programación de los mismos	Permanente	Personal técnico que atiende los servicios	Especialista en energía	Con la aplicación de los mantenimientos se obtienen menores temperaturas de condensación y con ello disminución en los consumos de electricidad
5	Evaluar la factibilidad técnica y económica, de las pérdidas energéticas por deterioro de aislamiento térmico en puertas y paneles de las cámaras de media y baja temperatura	Año en curso	Especialista en energía	Administración de la institución	Definir por parte de la administración la aplicación de la panelización a las cámaras de media y baja temperatura

### 3.4. Evaluación de los sistemas de climatización

En el Hospital Provincial Camilo Cienfuegos se encuentran instalados 377 ton de refrigeración. Se evaluaron el 100% de los sistemas de refrigeración de media, baja y alta temperatura con dispositivos instalados para efectuar mediciones de los parámetros termodinámicos. La capacidad de refrigeración evaluada fue de 94,6 ton de refrigeración para un 25 % del total en funcionamiento.

En la [Tabla 3.2](#) se exponen los MWh/año, las toneladas de refrigeración y el indicador (MWh/año) / ton de refrigeración de los equipos de climatización antes y después de efectuado el mantenimiento. Allí se observó que por cada ton de refrigeración instalada en los equipos de climatización, se ahorran 1,711 MWh/año al aplicar los mantenimientos planificados.

**Tabla 3.2 Equipos evaluados con y sin el mantenimiento**

Equipos de clima Evaluados	MWh/año	ton de Refrigeración	(MWh/año) /ton de Refrigeración
Equipos de clima sin mantenimientos	663,5	94,6	7,013
Equipos de clima con mantenimientos	501,6	94,6	5,302
Diferencia	161,9	0	1,7111

Mtto: mantenimiento

En la [Tabla 3.3](#) se detallan los resultados del 100% de los equipos que poseen dispositivos para tomar las mediciones de los parámetros termodinámicos con posibilidades a evaluar. Como se puede apreciar  $P_k$  (presión en el condensador) disminuye en la medida que se efectúa el mantenimiento aumentando el COP (coeficiente de funcionamiento), y disminuye el trabajo del compresor, lo que implica una reducción hasta un 45% en el consumo de la potencia del mismo. Esto representó un ahorro de electricidad por cada equipo que se le efectúe el mantenimiento [\(Ver Anexos del 1-19\)](#).

**Tabla 3.3 Resumen sistemas de climatización.**

Equipos	Capacidad (Kcal h <sup>-1</sup> )	Mantenimiento	Pk (kPa)	Qabs (kJ kg <sup>-1</sup> )	Qrech (kJ kg <sup>-1</sup> )	COP	W (kJ kg <sup>-1</sup> )	PC (kW)	Δ PC (%)	Δ Pk (%)
Equipo1	9 072	no	1 862	142	186,6	3,2	44,55	3,3	18	9,29
		si	1 689	149	187,2	3,89	38,23	2,7		
Equipo 2	12 096	no	1 985	140,2	181	3,44	40,82	4	7,25	4,48
		si	1 896	143,5	181,5	3,77	38,01	3,71		
Equipo 3	15 120	no	1 930	139,4	185,6	3,02	46,16	5,8	21,7	13,58
		si	1 668	149,3	187,9	3,87	38,63	4,54		
Equipo 4	9 072	no	1 930	140,9	182,8	3,37	41,89	3,12	15,3	14,25
		si	1 655	150,1	187,8	3,98	37,67	2,64		
Equipo 5	9 072	no	1 896	140,9	186,6	3,08	45,64	3,41	19,9	10,92
		si	1 689	149	187,6	3,85	38,68	2,73		
Equipo 6	29 736	no	1 930	139,8	186	3,03	46,15	11,39	26,4	14,97
		si	1 641	150,8	187,4	4,12	36,63	8,38		
Equipo 7	45 360	no	1 986	138,1	184	3,01	45,89	17,5	24,5	16,6
		si	1 655	150,1	187,8	3,98	37,67	13,22		
Equipo 8	9 072	no	1 944	137,2	193	2,46	55,85	4,28	36,9	13,11
		si	1 689	149	187,2	3,9	38,23	2,7		
Equipo 9	9 072	no	1 979	138,7	183,7	3,07	45,04	3,4	21,7	14,65
		si	1 689	149,1	186,7	3,97	37,6	2,66		

**Tabla 3.3 Resumen sistemas de climatización (continuación...)**

Equipos	Capacidad (kcal h <sup>-1</sup> )	Mantenimiento	Pk (kPa)	Qabs (kJ kg <sup>-1</sup> )	Qrech (kJ kg <sup>-1</sup> )	COP	W (kJ kg <sup>-1</sup> )	PC (kW)	Δ PC (%)	Δ Pk (%)
Equipo 10	9 072	no	1 979	138,1	185,3	2,93	47,18	3,6	21,1	14,3
		si	1 696	148,5	188,6	3,7	40,06	2,84		
Equipo 11	15 120	no	1 986	137,1	186,7	2,77	49,6	6,35	29,1	14,95
		si	1 689	149	187,2	3,89	38,23	4,5		
Equipo 12	9 072	no	1 931	137,6	193,2	2,47	55,65	4,25	45,1	12,53
		si	1 689	149,5	182,6	4,51	33,11	2,33		
Equipo 13	15 120	no	1 999	135,5	192,1	2,39	56,67	7,34	36,6	15,5
		si	1 689	148,6	188	3,77	39,42	4,65		
Equipo 14	12 096	no	1 965	139,1	184	3,1	44,85	4,52	21,9	12,26
		si	1 724	148,3	185,6	3,97	37,3	3,53		
Equipo 15	9 072	no	1 896	140,1	188,5	2,9	48,36	3,63	23,1	10,91
		si	1 689	148,6	188	3,77	39,42	2,79		
Equipo 16	12 096	no	1 931	139,2	187,1	2,9	47,91	4,8	23,9	12,53
		si	1 689	148,8	187,5	3,84	38,68	3,65		
Equipo 17	12 096	no	1 862	141,2	189,1	2,95	47,84	4,76	25,8	7,41
		si	1 724	148,3	185,6	3,97	37,3	3,53		
Equipo 18	15 120	no	1 965	138,2	186,6	2,85	48,41	6,1	28,8	12,26
		si	1 724	148,6	185,4	4,04	36,77	4,34		
Equipo19	29 635	no	1 999	137,7	184,3	2,96	46,54	11,63	22,4	13,75
		si	1 724	147,8	186,6	3,81	38,79	9,03		

### 3.5. Evaluación de los sistemas de media y baja temperatura

En los sistemas de media y baja temperatura la carga de refrigeración total es de 13 904,5 kcal/h (4,6 ton de refrigeración). La evaluación realizada al 100% de estos equipos mostró una reducción del consumo de 0.68, 0.56 y 4.03 kWh/ton de refrigeración para los equipos 20, 21 y 22, respectivamente (Tabla 3.4).

**Tabla 3.4. Consumos de los equipos de media y baja temperatura con y sin mantenimientos**

<b>Equipos</b>	<b>Carga de refrigeración (Kcal/h)</b>	<b>Consumo sin Mtto (kWh/ton)</b>	<b>Consumo con Mtto (kWh/ton)</b>	<b>Diferencia (kWh/ton)</b>
Equipo 20	7 862,5	2,06	1,38	0.68
Equipo 21	2 000	2,7	2,14	0.56
Equipo 22	4 042	6,2	2,17	4.03

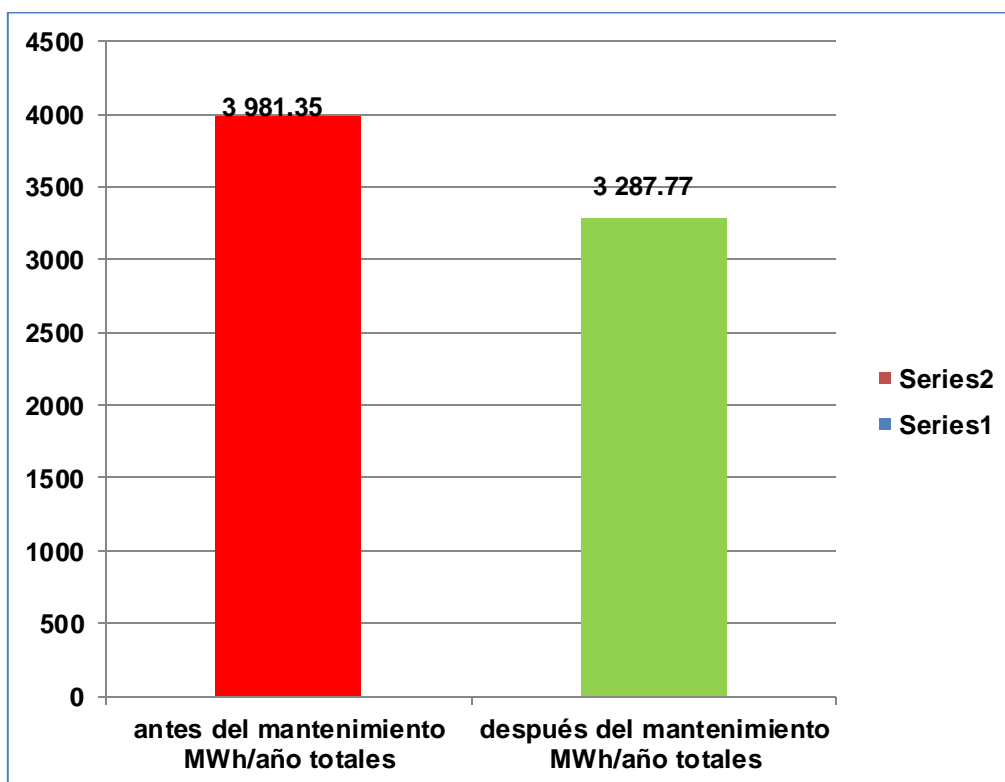
En la [Tabla 3.5](#) se resumen los resultados del 100% de los equipos de media y baja temperatura. Como se puede apreciar  $P_k$  (presión en el condensador) disminuye en la medida que se efectúa el mantenimiento, aumentando el COP (coeficiente de funcionamiento) lo que disminuye el trabajo del compresor. Esto implica una reducción hasta un 56% en el consumo de la potencia de estos equipos, con ahorro de electricidad por cada uno que se le efectúe el mantenimiento (ver [Anexos del 20 - 22](#)).

**Tabla3.5.Resumen sistemas de refrigeración media y baja temperatura**

<b>Equipos</b>	<b>Capacidad (kcal h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Pk (kPa)</b>	<b>Qabs (kJ kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Qrech (kJ kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>COP</b>	<b>W (kJ kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>PC (kW)</b>	<b>Δ PC (%)</b>	<b>Δ Pk (%)</b>
Equipo20	7 862,5	no	1 620	136,8	217,4	1,7	80,58	5,38	10,03	12,53
		si	1 517	141,5	216,6	1,88	75,09	4,84		
Equipo21	2 000	no	1 586	132,2	234,4	1,29	102,2	1,79	20,11	4,35
		si	1 517	138,6	224,1	1,61	85,59	1,43		
Equipo 22	4 042	no	1 517	116,6	324,6	0,56	208	8,34	56,83	9,16
		si	1 378	137,6	244	1,29	106,4	3,6		

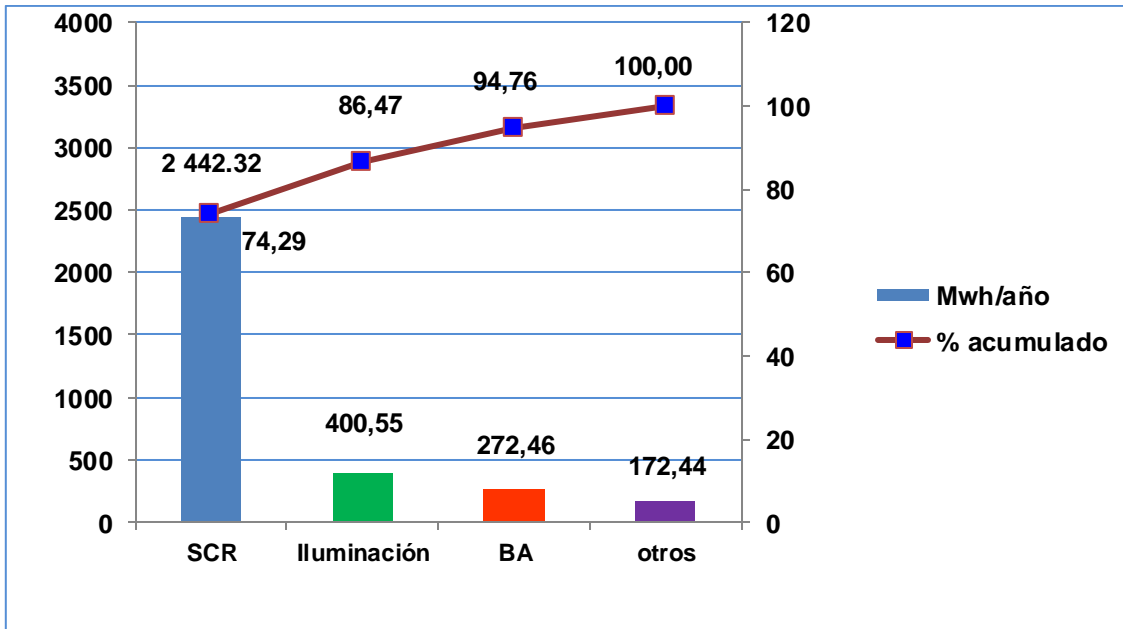
### 3.6. Efecto técnico del mantenimiento aplicado a los equipos de climatización y refrigeración

En la [Figura 3.7](#) se exponen los valores en MWh/año totales consumidos por los equipos eléctricos del hospital, antes de efectuarse el mantenimiento a los equipos de refrigeración de media, baja y alta temperatura. De esta forma se pudo comprobar que la aplicación de los mantenimientos planificados a los SCR en el Hospital Provincial Camilo Cienfuegos, implica una reducción del consumo de electricidad del 18 %.



**Figura 3.7. Consumos total de electricidad en el Hospital Provincial Camilo Cienfuegos, antes y después de efectuarse el mantenimiento a los equipos de refrigeración de media, baja y alta temperatura**

En la [Figura 3.8](#) se representa el diagrama de Pareto después de efectuado el mantenimiento a los equipos de refrigeración de media, baja y alta temperatura. Se observó una disminución del consumo de electricidad en estos equipos desde 76.76 al 74 % (ver [Figura 3.4](#)).



**Figura 3.8. Diagrama de Pareto portadores energéticos**

CR: Sistemas de clima y refrigeración

BA: Bombeo de agua

### 3.7. Efecto económico de la reducción del consumo de electricidad en los equipos de climatización y refrigeración

En la [Tabla 3.6](#) se relacionan el portador de ahorro energético (kWh/año) y el ahorro económico en pesos moneda total (\$/año) que se dejaría de pagar al año debido a la aplicación de los mantenimientos en los equipos de refrigeración de media, baja y alta temperatura. Como se pudo observar la aplicación de los mantenimientos podría representar el ahorro de más de 160 mil pesos al año.



**Tabla 3.6 Efecto económico de la aplicación de mantenimiento en los equipos de refrigeración de media, baja y alta temperatura**

<b>Ahorro (kWh/año)</b>	<b>693 500</b>
<b>Ahorro (\$/año)</b>	<b>161 257,35</b>

Además del efecto del mantenimiento, se evaluó el ahorro energético en kWh/año y en peso moneda total en los equipos de media y baja temperatura al eliminar la transferencia de calor por paredes, piso y techo por deterioro en el aislamiento térmico (Tabla 3.7).

**Tabla 3.7 Efecto económico de la eliminación de la transferencia de calor por paredes, piso y techo por deterioro del aislamiento térmico**

<b>Ahorro (kWh/año)</b>	<b>38 095,2</b>
<b>Ahorro ( \$/año)</b>	<b>8 857,2</b>

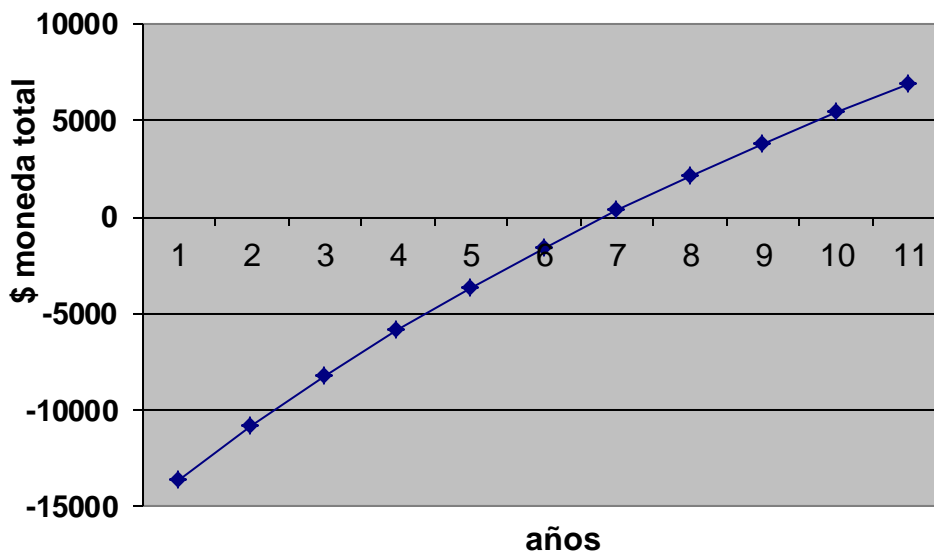
Se determinó que podrían ser ahorrados casi 9 000 \$/año por concepto de eliminación de las pérdidas por deterioro del aislamiento térmico.

La Tabla 3.8 mostró los potenciales de ahorro en los equipos de refrigeración de media, baja y alta temperatura, debido a la aplicación de los mantenimientos y a la eliminación de las pérdidas por transferencia térmica. El costo de mantenimiento de estos equipos fue de 56 173,5 \$/año, por lo que los ingresos netos de la entidad serían equivalentes a los 113 937,5 \$/año.

**Tabla 3.8 Potenciales de ahorro totales de los equipos de refrigeración de media, baja y alta temperatura**

<b>Ahorro (kWh/año)</b>	<b>731 660</b>
<b>Gastos de mantenimiento (\$/año)</b>	<b>56 173,5</b>
<b>Ahorro (\$/año)</b>	<b>113 937,5</b>

Una alternativa para reducir las pérdidas de transferencia de calor por infiltración a través de paredes, pisos y techo es la panelización de los mismos. Esta propuesta tendría asociado un costo de inversión que debe ser valorado independientemente. Tal como se expone en la [Figura 3.9](#), el costo de esta inversión es de 13 618,78 pesos en moneda total y podría ser recuperada por la institución (a partir de la reducción en los consumos de electricidad) en un periodo 6,4 años (ver [Anexo 23](#)).



**Figura 3.9. Periodo de recuperación de la inversión**

### **3.8. Efecto ambiental del ahorro energético: impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub>**

En la [Tabla 3.10](#) se mostró el impacto positivo que origina el ahorro de electricidad en los sistemas de climatización del Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Camilo Cienfuegos. Se pudo determinar que se podrían dejar de emitir a la atmósfera 512,16 toneladas de CO<sub>2</sub> cada año, a partir del ahorro de 175 toneladas de petróleo que se dejan de consumir.

**Tabla 3.10 Valoración del efecto ambiental del ahorro energético en los SCR:  
impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub>**

<b>Ahorro (kWh/año)</b>	<b>731 660</b>
<b>Ahorro de petróleo (t)</b>	<b>175,6</b>
<b>Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>(t)</b>	<b>512,2</b>

### **3.9 Conclusiones Parciales**

1-La aplicación parcial de la Prueba de Necesidad como primer paso de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía arrojó que en esta entidad, el portador energético de mayor peso dentro de la estructura de consumo energético fue el consumo de electricidad con el 78.66 % de los consumos de energía de la institución.

2-A partir de un diagnóstico de recorrido o preliminar se pudieron determinar las principales oportunidades de ahorro de electricidad, confeccionándose un diagrama causa efecto que mostró, como principales insuficiencias la carencia de recursos materiales para la medición de parámetros técnicos por el especialista energético de la institución, no evaluación de los sistemas de climatización y refrigeración, mala ubicación de las unidades condensadoras en los sistemas de climatización según orientación solar, irregularidades en el cumplimiento de los ciclos de mantenimientos en las unidades condensadoras de media, baja y alta temperatura, pérdidas por transferencia de calor al interior de las cámaras debido al mal aislamiento en paredes, pisos y puertas.

3-La valoración económica de las medidas evaluadas permitió demostrar que pueden obtenerse ahorros de hasta 169 mil pesos en moneda total.

4-Se demostró también que se pueden dejar de emitir más de 512 t de CO<sub>2</sub>a partir del ahorro de 175 toneladas de petróleo.

#### **4. Conclusiones generales**

- 1- Se pudo comprobar que el consumo de electricidad fue el portador energético de mayor peso dentro de la estructura de consumo con 78,7 % de los gastos de energía totales de la institución.
- 2- Se demostró que los sistemas de climatización y refrigeración representan casi el 80% del consumo de electricidad de la entidad.
- 3- Se propusieron un total de 5 medidas para contribuir a la reducción del consumo de electricidad en los sistemas de climatización y refrigeración del Hospital, de las cuales se evaluaron:
  - La aplicación de los mantenimientos planificados, a los sistemas de refrigeración de media, baja, y alta temperatura.
  - Reubicación de las unidades condensadoras de los sistemas de refrigeración de alta temperatura con orientación solar.
  - Panelización de las cámaras de refrigeración para eliminar pérdidas por infiltración.
- 4- La valoración técnica, económica y ambiental permitió determinar que es posible el ahorro de 731,66 MWh/año, de 113 937,5 pesos en moneda total, y que pueden dejarse de emitir más de 512 toneladas de CO<sub>2</sub>.

## **5. Recomendaciones**

- 1.** Se recomienda continuar con el proceso de implantación de la tecnología de gestión total eficiente de la energía, para lograr el uso racional de los portadores energéticos, con énfasis en los mantenimientos necesarios a los sistemas de refrigeración y climatización.
- 2.** Evaluar el resto de las medidas propuestas en el plan de acciones: 1. Capacitación periódica del personal encargado de los portadores energéticos, y 2. Reubicación técnica de las unidades condensadoras de los sistemas Split según orientación solar.
- 3.** Proponer a la entidad la implementación de las medidas evaluadas teniendo en cuenta su efecto técnico, económico y ambiental.

## 6. Bibliografía

1. Acosta Marrero Gustavo, (1975). "Cálculo de carga térmica de cámaras de refrigeración comercial en unidades del sistema métrico", Revista tecnológica 4/75
2. Alarcón Creus José, José M. Boixareu Vila Plana, Carlo Capellán Guillen, José Costa Ardeaca., Rafael Díaz de San Pedro. Juan Furió Muñoz, (*HANDBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM*) "Manual de Aire Acondicionado", ISBN: 978-84-267-1499-2, Depósito legal BI- 2611-08 (1972).
3. Alberto Puebla, J. "Manual de buenas prácticas en Refrigeración". [www.fondoin.com.ve](http://www.fondoin.com.ve) , depósito legal If 80020053633113 , ISBN: 980-12-1448-1
4. Alfredo Hernández, R., Manuel de León, José, Marichal Arbona, Erik. (2012). "Sistema Integrado para el Ahorro de Energía". Experiencia en la Universidad de las Ciencias Informáticas, ralfredo@uci.ci, [dleon@uci.cu](mailto:dleon@uci.cu), [emartchal@uci.cu](mailto:emartchal@uci.cu), revista congreso universidad, vol. 1, N<sub>o</sub> 1.
5. Ambiente, C. d. E. d. e. y. m. (2006). "Gestión y Economía Energética".
6. Ambiente, p. d. I. N. U. p. e. M. (1994). "Buenos Procedimientos en Refrigeración- Manual de Instrucción"
7. Bellone, E: "El mundo de la Termodinámica".(2012). Revista Investigación y Ciencia.
8. Borroto Nordelo Aníbal; Yanes José Monteagudo, Teyra de Armas Marcos, Landin Pérez José, Pérez Montesino Milagros, Hernández Montelíer Sergio 2002 , "Ahorro de Energía en Sistemas Termomecánicos", Centro de Estudios y Medio Ambiente , Universidad de Cienfuegos ISBN 959-257-045-0
9. Borroto Nordelo, Anibal E, Colectivo de Autores Centro de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos 2006,"Gestión y Economía Energética" ISBN 959-257-114-7 Editorial Universidad de Cienfuegos 2006
10. Borroto Nordelo, A. E. (1998): "Evaluación Económica de Proyectos de Ahorro de Energía ".
11. Borroto Nordelo, A. E.: "Gestión Energética Empresarial", (2002). colectivo de autores centro de estudios de energía y medio ambiente universidad de Cienfuegos, ISBN 959-257-040-X editorial universidad de Cienfuegos

12. Bula, A., Navarro, Luis F., “*Thermodynamic Simulation of a Solar Absorption Refrigeration System Generator-Heat Exchanger*”.
13. Campos Avella Juan Carlos, Lora Figueroa Edgar, Meriño Stand Lourdes, Tovar Ospino Ivan, Navarro Gómez Alfredo, “*Eficiencia en Sistemas de Climatización*” .universidad autónoma de occidente, proyecto de la unidad de planeación minero energético de Colombia (UPME). Y el instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “ Francisco José Caldas” (COLCIENCIAS)
14. Campos avella J. C. (1995). “Caracterización Energética: el primer paso hacia el uso racional de la energía”. *www.monografias.com*
15. Campos Avella, J. C. (2000). “Herramientas para establecer un sistema de gestión Total Eficiente de la Energía “
16. Campos Avella, J. C., Edgar, Daniel Lora, Tovar Ivan Ospino. . Vol. 6 No 1 enero-julio de 2008, “Programa de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica”, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar. [bslopez2000@yahoo.es](mailto:bslopez2000@yahoo.es), Grupo de Investigación Gestión Eficiente de la Energía, KAI. Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia. [jcampos@e2energiaeficiente.com](mailto:jcampos@e2energiaeficiente.com) “Modelo de Gestión Energética para el sector Productivo Nacional”.
17. Cengel Yunus A., Boles Michael A. “Termodinámica” Séptima Edición, ISBN 978-607-15-0743-3 (2012).
18. Consultoría Energética, [ipsom.htm](http://www.ipsom.com), 2015, “Consultoría Energética. Expertos en Ahorro y Eficiencia Energética”, <http://www.ipsom.com/> artículo electrónico
19. Chapman, A. J. (1968). “Transmisión de Calor segunda edición en castellano”.
20. Da Silva Alessandro, (2007). “Seminario Internacional Bitzer”, 16-20 de abril Sao Paulo, Brasil [aplicacao@bitzer.com.br](mailto:aplicacao@bitzer.com.br), [www.bitzer.com.br](http://www.bitzer.com.br).
21. DURE UNE 2012 “Proyecto de ahorro de energía , sustitución en la entrada del túnel de Línea de las luminarias con lámparas de sodio por luminarias a leds de alta eficiencia”
22. Edwards, J. E. (2001). “*Process modelling and design of shell and tube heat exchangers*”.
23. Electronic, L. (2001). Acondicionadores de aire LG. <http://www.lge.com>
24. Energía, C. M. d. I. (2004). “Informe Consejo Mundial de la Energía”.

25. *Energy information administration*. (2005). "Anuario Internacional Energy".
26. Fitzgerald, A. E., Charles Kingsley, Jr, Stephen D. Umans. (1909). "*Electric Machinery Sixth Edition*".
27. Guerman A. Riabinin. Candidato en ciencias técnicas, profesor de técnica frigorífica del instituto de maquinaria Química de Moscú (1982). "Máquinas e Instalaciones Frigoríficas". Editorial orbe ciudad de la Habana
28. Hernández Eva, R. (2010). "Ahorro y Gestión Eficiente de la Energía".
29. Hernández Sampier Roberto, Collado Carlos Fernández, Lucio pilar Baptista: "Metodología de la Investigación" (2006). Cuarta edición, ISBN 970-10-5753-8.
30. Hower, R. S., H., Cad, William. (1971). "*Principles of heating ventilating and Air Conditioning*".
31. <http://libros.redsauce.net/>. "Segundo principio de la termodinámica".
32. idae.es. (2005). "Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos".
33. idae.es. (2005). "Mantenimiento de Instalaciones Térmicas"
34. idae.es. (2005). "Procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamiento de aire".
35. Iglesias Ruiz Mario Iglesias: "Refrigeración".(2004)editorial pueblo y educación ciudad de la Habana Cuba, ISBN 959-13-1061-7
36. Jacobson, M. Z. (2010). "Investigación y Ciencia Energía Sostenible" Revista.
37. Jakob, U., Eicker, Ursula. (2002). "*Solar Cooling With Diffusion Absorption principle*".
38. Jakob, U. S., Dietrich. Uwe, Bauer. Spindler, Klaus. (2001). "*Design of a solar Driven Cooling Unit Based on the diffusion absorption principle*".
39. Jamil, A., Conrad, Glerer. (2001). "*Introducing Economix*".
40. John, E. (2004). "Guía de buenas prácticas en refrigeración".
41. Jones, J. P. (1986). "*Refrigeration Systems for Cold Storage*".
42. Katherine B. Miller, C. W. (1995). "*Strategies of managing Ozone-Depleting Refrigerants*".
43. Lampe, P., Schmittluz, Tokarz. (1977). "Instalaciones de ventilación y Climatización en la planificación de obras Fundamentales, Sistemas, Ejecuciones".



44. Leyva Céspedes Alfredo Alejandro (2015). "Eficiencia energética en instalaciones hospitalarias una vía para disminuir costos". [alfredolc@uclv.edu.cu](mailto:alfredolc@uclv.edu.cu), centro de estudios de energía y tecnologías ambientales, CEETA, universidad central de Las Villas.
45. Massimo Dentice d, A., Filippo de Rossi. (1997). "*Thermoeconomic optimization of a refrigeration plant*".
46. Monteagudo, G. Manuel, Quintero Diego A. Melgares Hernández Julio C, Peña Rojas Pedro, Mendoza Miranda Rolando, Largo Carlo Mateo, "Instalaciones Frigoríficas", Tomo 1 (1998), colectivo de autores facultad de energética ISJAE.
47. Mycom. (1998). Screw "*Compressors*", MAYEKAWA MFG. CO., Ltd, Tokyo, revista técnica.
48. Comité Estatal de Normalización (C. E. N), (1983). "Sistema Internacional de Unidades factores de conversión y tablas".
49. Nova Science Publishers, I. (2007). "*Thermodynamics and Heat Powered Cycles*".
50. OC ONURE, NINEM Colectivo de autores 2015 " Costo de la energía puesta al cliente" La Habana
51. Ojeda Sarmiento, J., Pajares, Franco. (2008). "Sistema de Gestión de Demanda y Consumo de Energía Eléctrica".
52. Onure: "Tendencias Actuales de la Gestión, la Eficiencia y la conservación Energética en Cuba". (2015). oficina nacional para el control del uso racional de la energía.
53. Onure : " manual de procedimientos para el control de portadores energéticos" Anexo 1, (2014), oficina nacional para el control del uso racional de la energía
54. Parise José Alberto (2004) "*Engineering Equation Solver*" software .[www.fchart.com](http://www.fchart.com)
55. Perú, R. D. Guillen Gordin, Reynaldo. Díaz González, Osmín. Zaldivar Alemán, Reynaldo. Zarragoitia Valera, Manuel. Martínez Carvajal, René (2002). "Manual de Buenas Prácticas de Refrigeración", Documento preparado por la comisión técnica del grupo nacional de implementación del protocolo de Montreal, bajo la dirección de la oficina técnica de ozono
56. Pizzetti, C. (1991). "Acondicionamiento del aire y Refrigeración". Editorial Bellisco, madrid, España

57. Plank, R. (1963). "El Empleo del Frio en la Industria de la Alimentación". Depósito legal b. 23.495-1963, editorial REVERTÉ, S.A.
58. Quadri, Nestor. "Sistemas de aire acondicionado calidad del aire interior", primera edición 2001 <http://www.lealsina.com.ar>, e-mail: [info@lealsina.com.ar](mailto:info@lealsina.com.ar), ISBN 950-553-088-9
59. [rgaya@hotmail.com](mailto:rgaya@hotmail.com). (2000). "Energía solar para Refrigeración Domestica".
60. RITE, p. (2006). "Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios"
61. Rodríguez, H. (2009). "Caracterización del Consumo de Energía Final en los Sectores Terciario, Grandes Establecimientos Comerciales, Centros Comerciales" Conferencia, 103.
62. Rosa, M. T., Luis Basualdo, Marta Valderrama, José. (1999). "Diseño y simulación de intercambiadores de calor aplicando el software *chemcad-trem*".
63. Roy, J. D. (1991). "Principios de refrigeración"
64. Ruano Domínguez René. "Sistemas de Refrigeración Evaluación de la Eficiencia". (2011). [www.energianow.com](http://www.energianow.com), [info@energianow.com](mailto:info@energianow.com), Inst: IEG: 100225.
65. Ruano Domínguez René. "Sistemas de Refrigeración Propiedades de los Refrigerantes".(2011), , [www.energianow.com](http://www.energianow.com) , [info@energianow.com](mailto:info@energianow.com), Inst.: IEG : 100225
66. S.A., N. I. "*Thermodynamic Properties of Freon 22 Refrigerant*".
67. Salud, F. P. d. (1976). "Actividades de Mantenimientos". I fórum prov. De las actividades de servicio, dirección provincial Habana ministerio de salud pública.
68. Saint – Gobainisover. "La solución de climatización en Hospitales y centros de salud" gama CLIMAVER, [www.isover.es](http://www.isover.es), [isover.es@saint-gobain.com](mailto:isover.es@saint-gobain.com), [www.isover-aislamiento-tecnico.es](http://www.isover-aislamiento-tecnico.es), depósito legal M-32867-2011
69. Sam V, S., David, Jacob, Schaefer, Laura A. "*Modeling and analysis of the air cooled ammonia-Water Triple effect cycle*".
70. Schaefer, L. A., Shelton, Samuel V. "*Heat exchanger Mean temperature Diferences for Refrigerant Mixture*".
71. Schmid, K. P. Refrigeración, I. Hinojosa LFC (2010). "Eficiencia Energética en Sistemas de Refrigeración".

72. Schneider, Electric: (2010) "Eficiencia Energética Manual de soluciones", [www.schneider-electric.com.ar](http://www.schneider-electric.com.ar), [sol@ar.schneider-electric.com](mailto:sol@ar.schneider-electric.com) PAN/EE/80/01-10.
73. Shelton, S. V., Schaefer, Laura A. (1994) "*The economic payoff for Global Warming Emissions Reduction*".
74. Somosa, c. j., García Adriano. (1998). "Reformas en el sector de la energía en América Latina".
75. Sprenger, R. (1974). "Manual de Calefacción y Climatización".
76. Stoecker, W. F., Jones J.W. "*Refrigeration and Air Conditioning Second Edition.*"
77. Stoecker, W. F. (1972) "Refrigeración y Acondicionamiento de Aire"). depósito legal: M. 21.459-1972
78. Stoecker, W. F. (1977). "*Using SI Units in Heating, Air Conditioning, and Refrigeration*"
79. Technoblock. (2002). "Catálogo Técnico" [www.technoblock.it](http://www.technoblock.it), [technoblock@technoblock.it](mailto:technoblock@technoblock.it)
80. Universidad politécnica de Valencia, área de medio Ambiente, código del documento primera edición enero 2011. "Buenas Prácticas Ambientales para el Ahorro de Energía Eléctrica"
81. Viego, P., de Armas, Marcos, padrón, Arturo. (2002). "*Ahorro de Energía en Sistemas de suministro eléctrico Industrial.*"
82. Viego P de Armas, Marcos padrón Arturo. (2002) "Ahorro de Energía en Sistemas de Suministro Eléctrico Industrial", centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos.
83. Armas, J .C .L, Margarita J; Castellanos, Juan C; Álvarez, Mario A.(2006) "Análisis Exergético de un Sistema de Climatización Centralizado por agua helada".
84. [www.testo.+es](http://www.testo.+es) (2009). "Medición del COP del aire acondicionado.

## 7. Anexos

### Anexo 1

#### Tablas y Gráficos

#### Equipo 1.Sistema de climatización

1..10	cop	pk [kPa]	w [kJ/kg]
Run 1	3,89	1689	38,23
Run 2	3,813	1708	38,93
Run 3	3,737	1727	39,63
Run 4	3,66	1747	40,34
Run 5	3,583	1766	41,04
Run 6	3,507	1785	41,74
Run 7	3,43	1804	42,44
Run 8	3,353	1824	43,15
Run 9	3,277	1843	43,85
Run 10	3,2	1862	44,55

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

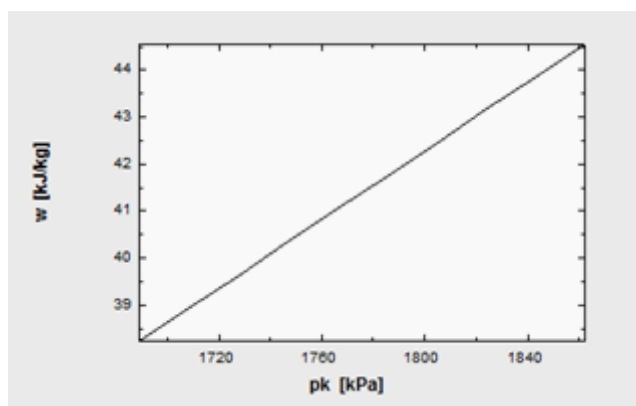


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

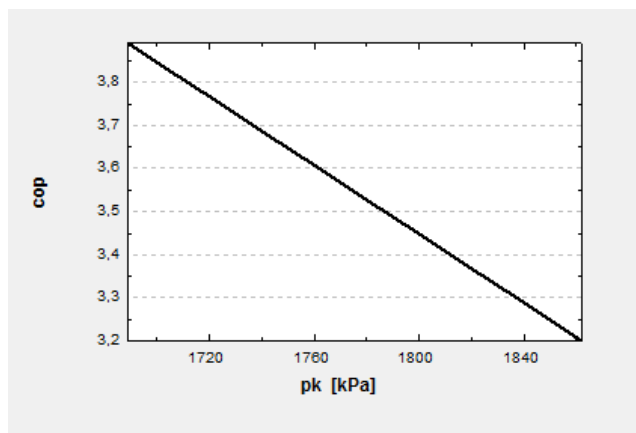


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 2

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 2. Sistema de climatización

1..10	1 p	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1896	3,77	38,01
Run 2	1906	3,733	38,32
Run 3	1916	3,697	38,63
Run 4	1926	3,66	38,95
Run 5	1936	3,623	39,26
Run 6	1945	3,587	39,57
Run 7	1955	3,55	39,88
Run 8	1965	3,513	40,2
Run 9	1975	3,477	40,51
Run 10	1985	3,44	40,82

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

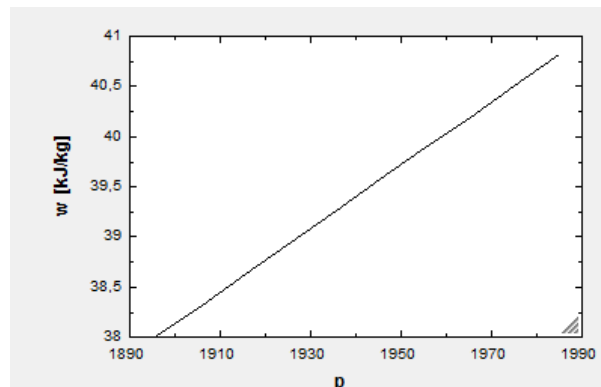


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

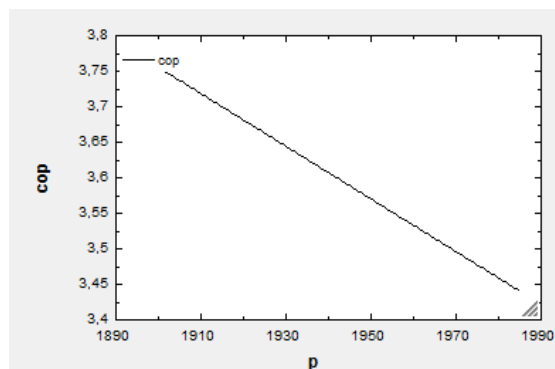


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

### Anexo 3

#### Tablas y Gráficos

#### Equipo 3. Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1668	3,87	38,63
Run 2	1697	3,776	39,47
Run 3	1726	3,681	40,3
Run 4	1755	3,587	41,14
Run 5	1784	3,492	41,98
Run 6	1814	3,398	42,81
Run 7	1843	3,303	43,65
Run 8	1872	3,209	44,49
Run 9	1901	3,114	45,32
Run 10	1930	3,02	46,16

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

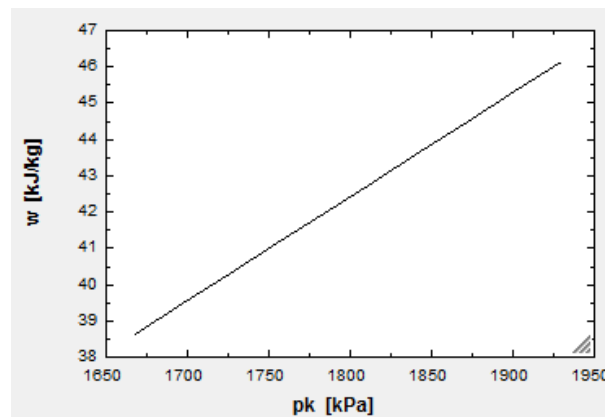


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

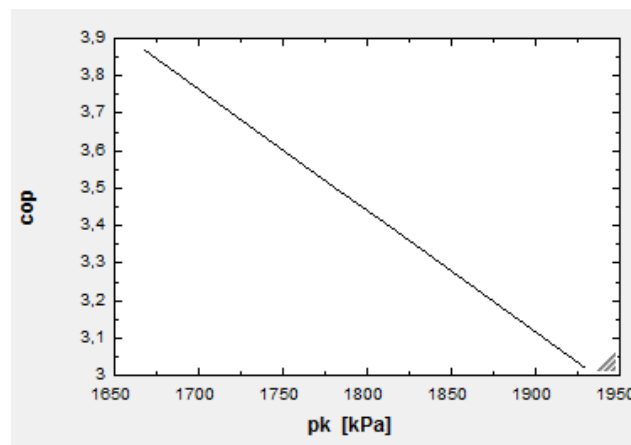


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 4

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 4. Sistema de climatización

1..10	pk [kPa]	cop	w [kJ/kg]
Run 1	1655	3,98	37,67
Run 2	1686	3,912	38,13
Run 3	1716	3,844	38,59
Run 4	1747	3,777	39,05
Run 5	1777	3,709	39,51
Run 6	1808	3,641	39,97
Run 7	1838	3,573	40,43
Run 8	1869	3,506	40,89
Run 9	1899	3,438	41,35
Run 10	1930	3,37	41,81

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

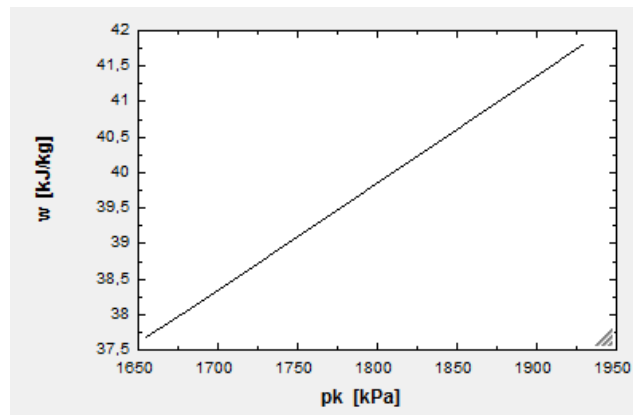


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

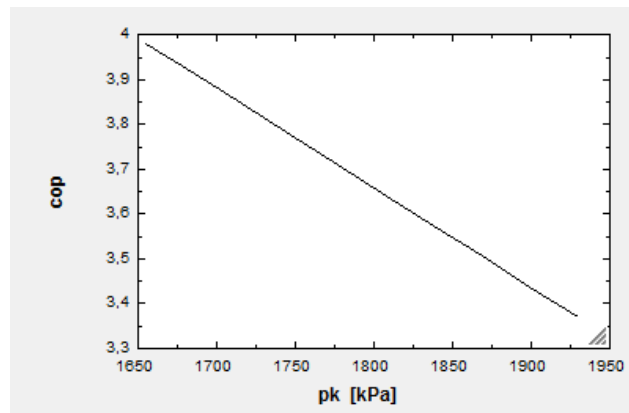


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 5

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 5. Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	3,85	38,68
Run 2	1712	3,764	39,45
Run 3	1735	3,679	40,23
Run 4	1758	3,593	41
Run 5	1781	3,508	41,77
Run 6	1804	3,422	42,55
Run 7	1827	3,337	43,32
Run 8	1850	3,251	44,09
Run 9	1873	3,166	44,87
Run 10	1896	3,08	45,64

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

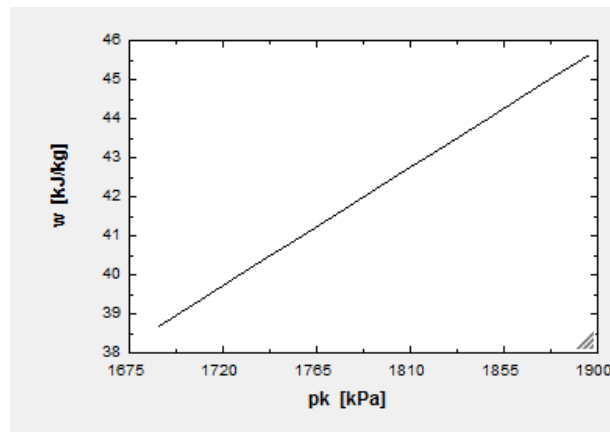


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

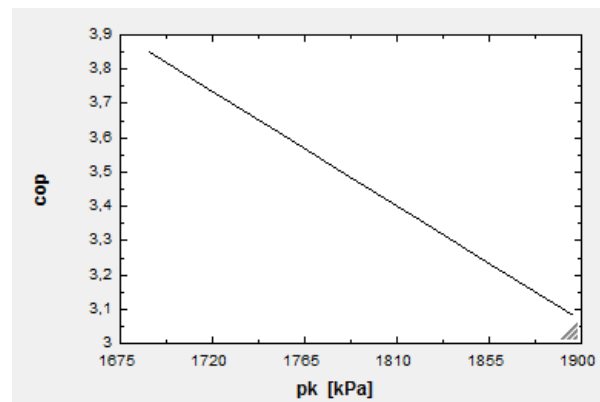


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento



## Anexo 6

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 6 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	469	4,12	36,63
Run 2	631,3	3,999	37,69
Run 3	793,7	3,878	38,75
Run 4	956	3,757	39,8
Run 5	1118	3,636	40,86
Run 6	1281	3,514	41,92
Run 7	1443	3,393	42,98
Run 8	1605	3,272	44,03
Run 9	1768	3,151	45,09
Run 10	1930	3,03	46,15

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

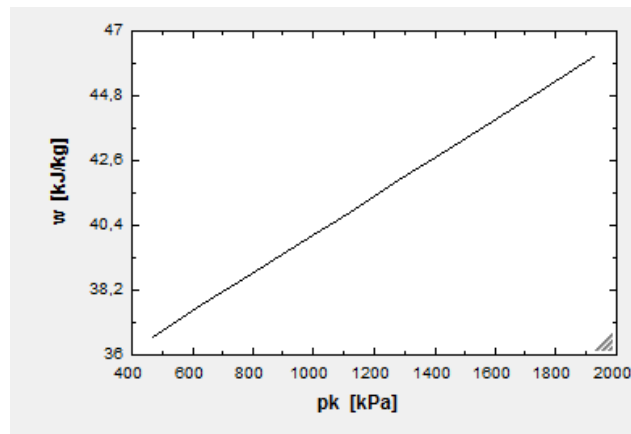


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

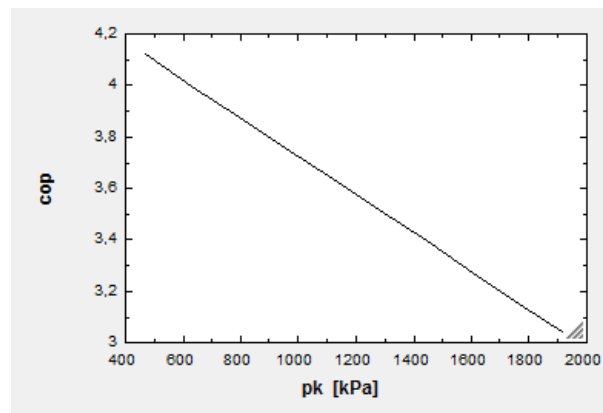


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 7

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 7 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1655	3,98	37,67
Run 2	1692	3,872	38,58
Run 3	1729	3,764	39,5
Run 4	1765	3,657	40,41
Run 5	1802	3,549	41,32
Run 6	1839	3,441	42,24
Run 7	1876	3,333	43,15
Run 8	1912	3,226	44,06
Run 9	1949	3,118	44,98
Run 10	1986	3,01	45,89

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

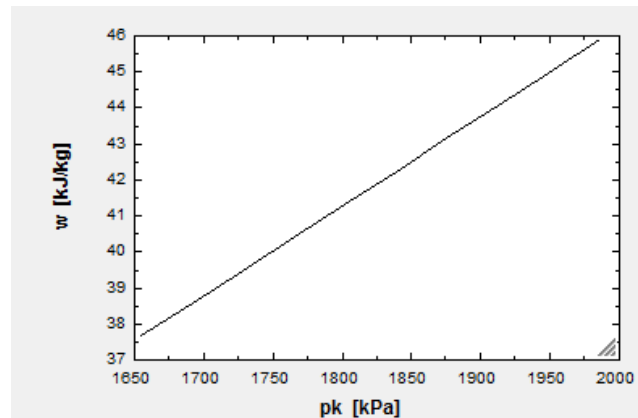


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

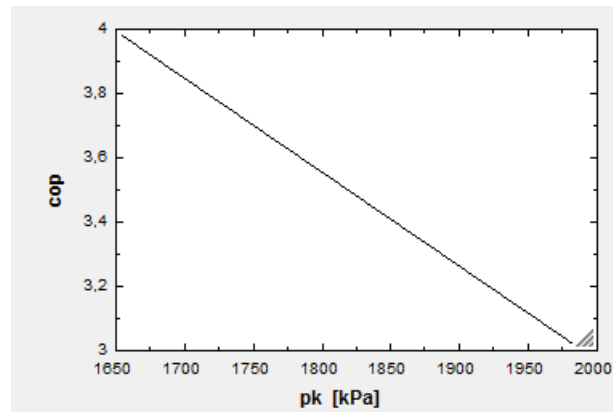


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 8

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 8 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	3,9	38,23
Run 2	1717	3,74	40,19
Run 3	1746	3,58	42,15
Run 4	1774	3,42	44,1
Run 5	1802	3,26	46,06
Run 6	1831	3,1	48,02
Run 7	1859	2,94	49,98
Run 8	1887	2,78	51,93
Run 9	1916	2,62	53,89
Run 10	1944	2,46	55,85

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

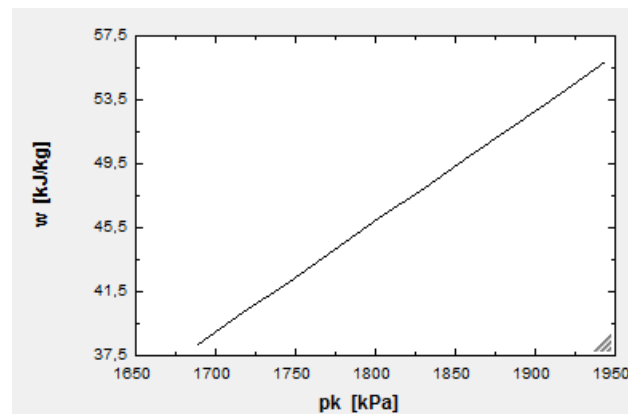


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

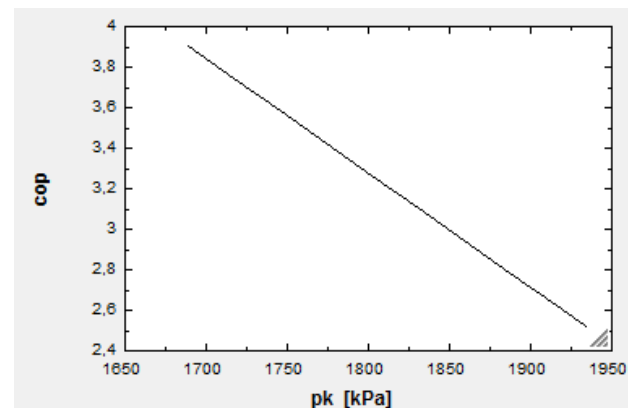


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 9

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 9 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	3,97	37,6
Run 2	1721	3,87	38,43
Run 3	1753	3,77	39,25
Run 4	1786	3,67	40,08
Run 5	1818	3,57	40,91
Run 6	1850	3,47	41,73
Run 7	1882	3,37	42,56
Run 8	1915	3,27	43,39
Run 9	1947	3,17	44,21
Run 10	1979	3,07	45,04

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

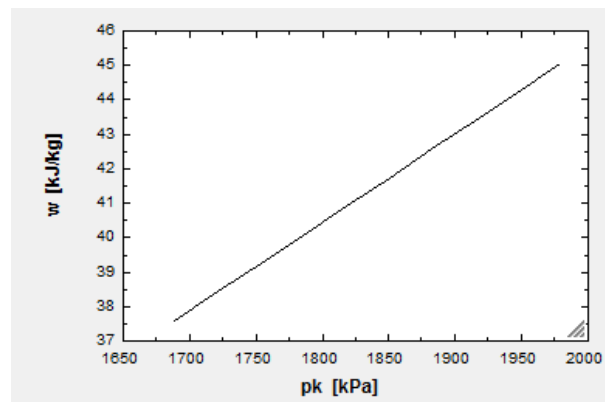


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

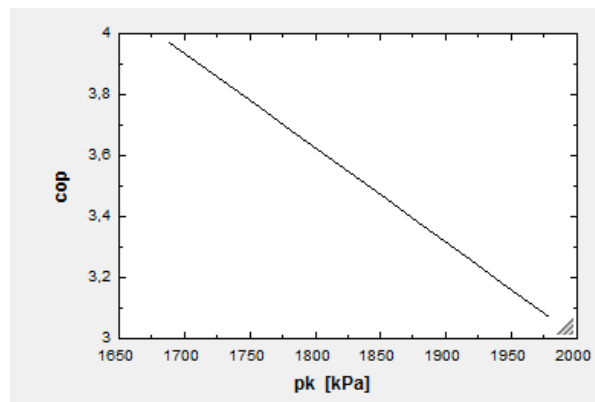


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 10

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 10 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1696	3,7	40,06
Run 2	1727	3,614	40,85
Run 3	1759	3,529	41,64
Run 4	1790	3,443	42,43
Run 5	1822	3,358	43,22
Run 6	1853	3,272	44,02
Run 7	1885	3,187	44,81
Run 8	1916	3,101	45,6
Run 9	1948	3,016	46,39
Run 10	1979	2,93	47,18

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

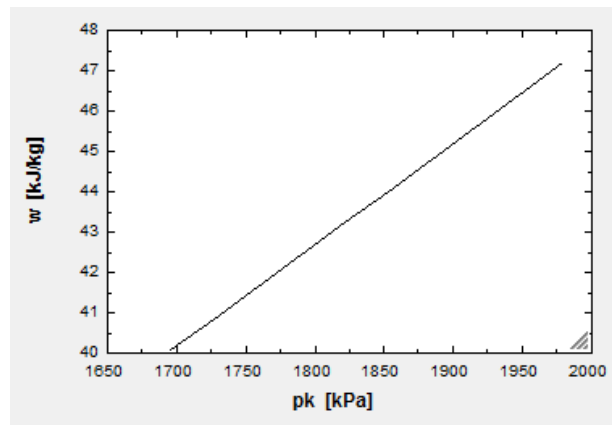


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

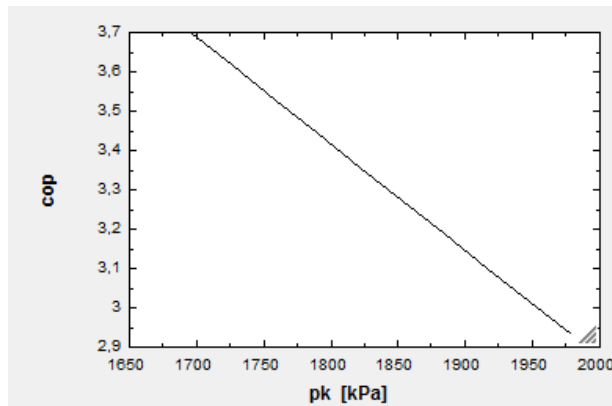


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 11

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 11 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	3,89	38,23
Run 2	1722	3,766	39,49
Run 3	1755	3,641	40,76
Run 4	1788	3,517	42,02
Run 5	1821	3,392	43,28
Run 6	1854	3,268	44,55
Run 7	1887	3,143	45,81
Run 8	1920	3,019	47,07
Run 9	1953	2,894	48,34
Run 10	1986	2,77	49,6

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

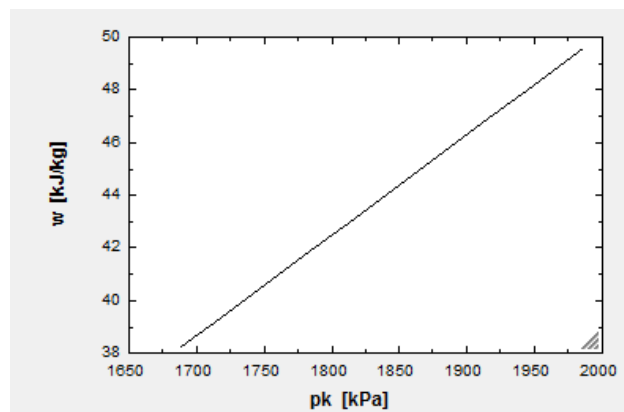


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

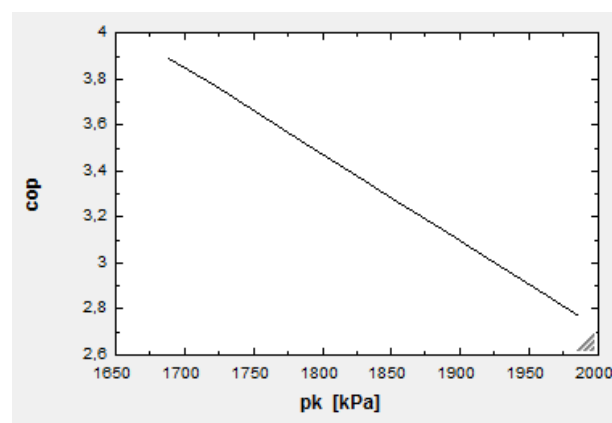


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 12

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 12 Sistema de climatización

1.10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	4,51	33,11
Run 2	1716	4,283	35,61
Run 3	1743	4,057	38,12
Run 4	1770	3,83	40,62
Run 5	1797	3,603	43,13
Run 6	1823	3,377	45,63
Run 7	1850	3,15	48,14
Run 8	1877	2,923	50,64
Run 9	1904	2,697	53,15
Run 10	1931	2,47	55,65

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

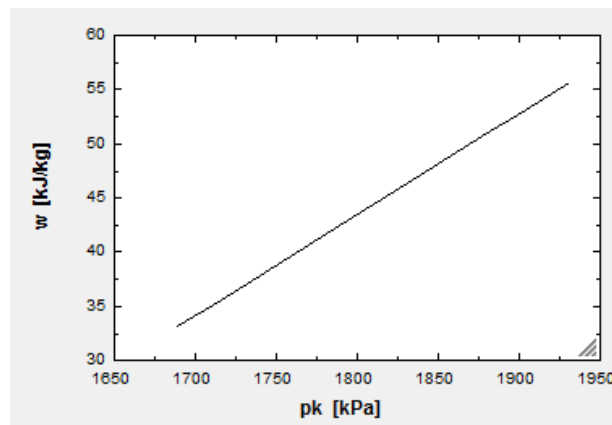


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

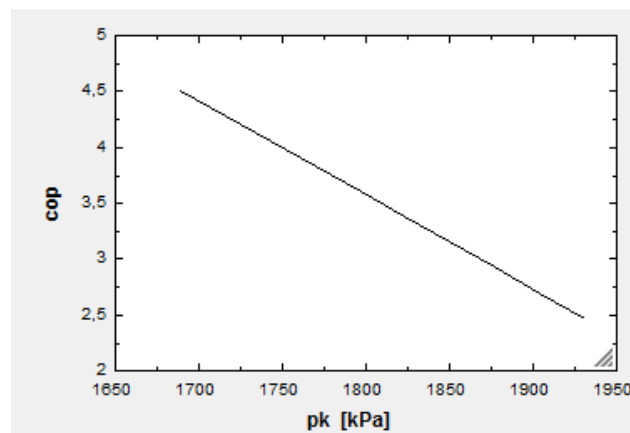


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 13

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 13 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	3,77	39,42
Run 2	1723	3,617	41,34
Run 3	1758	3,463	43,25
Run 4	1792	3,31	45,17
Run 5	1827	3,157	47,09
Run 6	1861	3,003	49
Run 7	1896	2,85	50,92
Run 8	1930	2,697	52,84
Run 9	1965	2,543	54,75
Run 10	1999	2,39	56,67

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

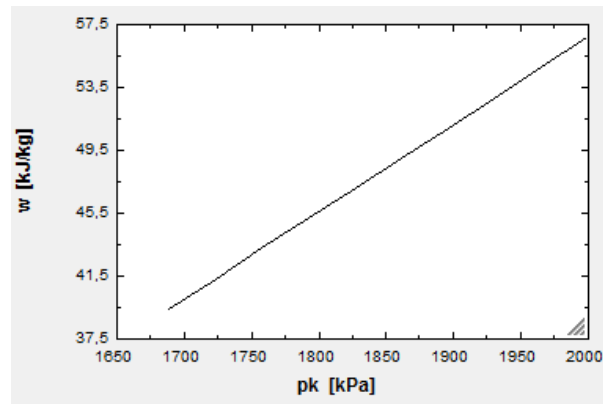


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

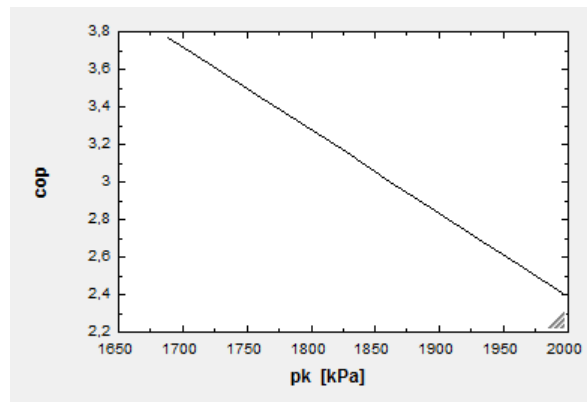


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento



## Anexo 14

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 14 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1724	3,97	37,3
Run 2	1751	3,873	38,14
Run 3	1778	3,777	38,98
Run 4	1804	3,68	39,82
Run 5	1831	3,583	40,66
Run 6	1858	3,487	41,49
Run 7	1885	3,39	42,33
Run 8	1911	3,293	43,17
Run 9	1938	3,197	44,01
Run 10	1965	3,1	44,85

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

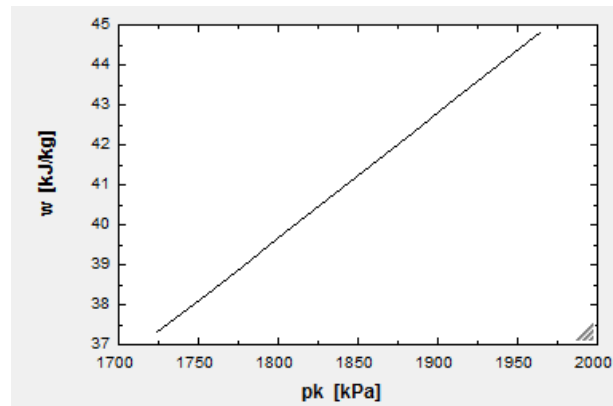


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

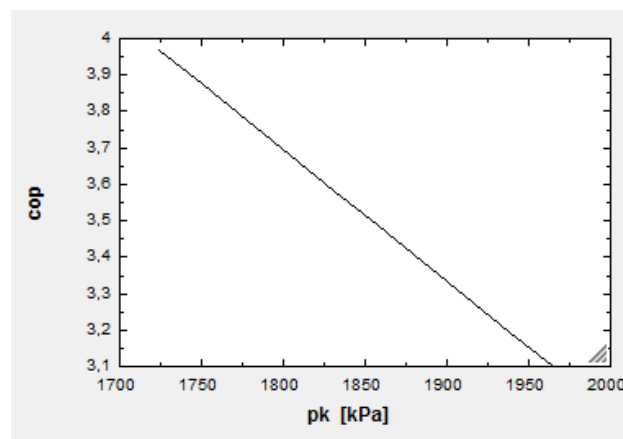


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 15

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 15 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	3,77	39,42
Run 2	1712	3,673	40,41
Run 3	1735	3,577	41,41
Run 4	1758	3,48	42,4
Run 5	1781	3,383	43,39
Run 6	1804	3,287	44,39
Run 7	1827	3,19	45,38
Run 8	1850	3,093	46,37
Run 9	1873	2,997	47,37
Run 10	1896	2,9	48,36

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

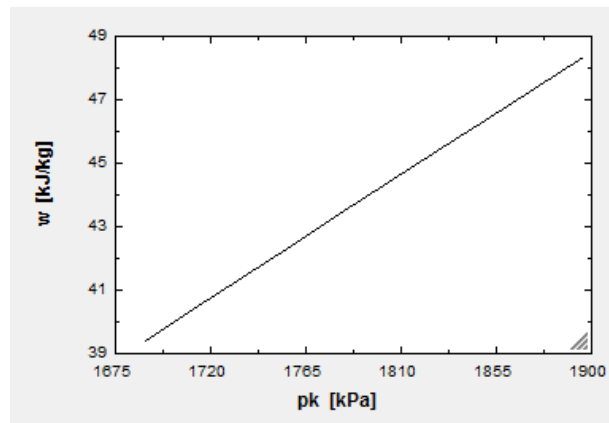


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

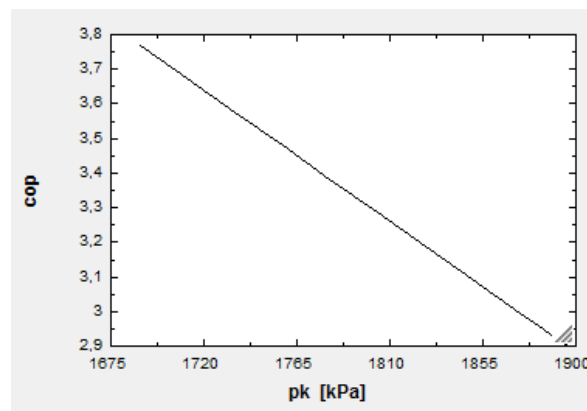


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 16

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 16 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1689	3,84	38,69
Run 2	1716	3,736	39,71
Run 3	1743	3,631	40,74
Run 4	1770	3,527	41,76
Run 5	1797	3,422	42,79
Run 6	1823	3,318	43,81
Run 7	1850	3,213	44,84
Run 8	1877	3,109	45,86
Run 9	1904	3,004	46,89
Run 10	1931	2,9	47,91

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

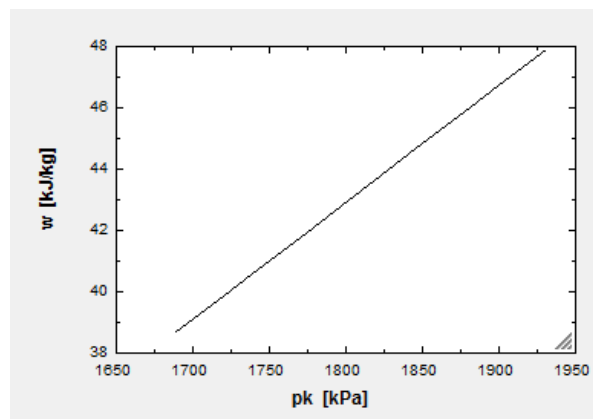


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

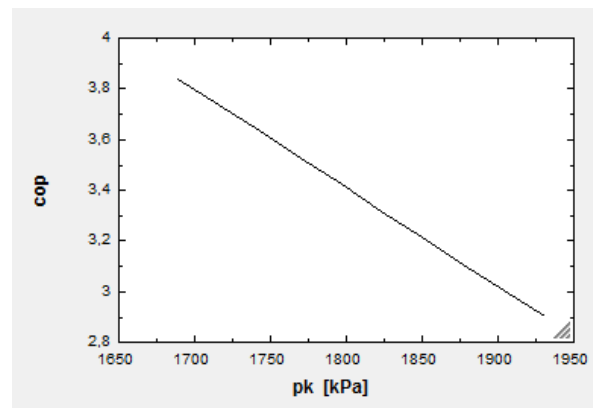


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 17

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 17 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1724	3,97	37,3
Run 2	1739	3,857	38,47
Run 3	1755	3,743	39,64
Run 4	1770	3,63	40,81
Run 5	1785	3,517	41,98
Run 6	1801	3,403	43,16
Run 7	1816	3,29	44,33
Run 8	1831	3,177	45,5
Run 9	1847	3,063	46,67
Run 10	1862	2,95	47,84

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

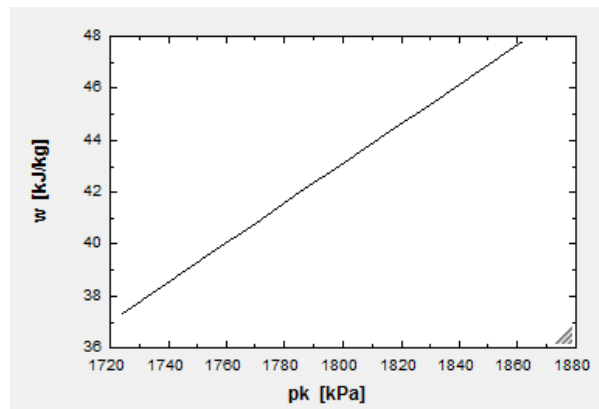


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

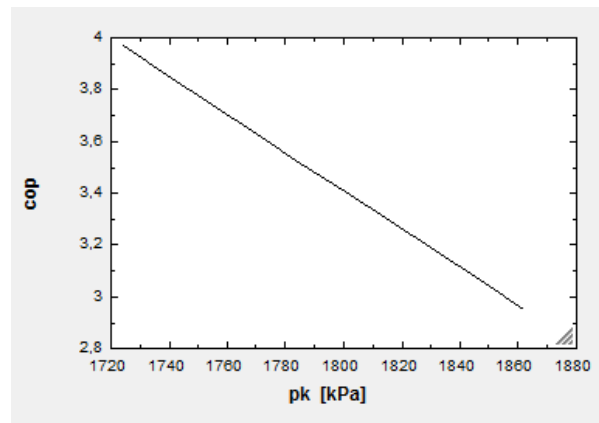


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 18

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 18 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1724	4,04	36,77
Run 2	1751	3,908	38,06
Run 3	1778	3,776	39,36
Run 4	1804	3,643	40,65
Run 5	1831	3,511	41,94
Run 6	1858	3,379	43,24
Run 7	1885	3,247	44,53
Run 8	1911	3,114	45,82
Run 9	1938	2,982	47,12
Run 10	1965	2,85	48,41

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

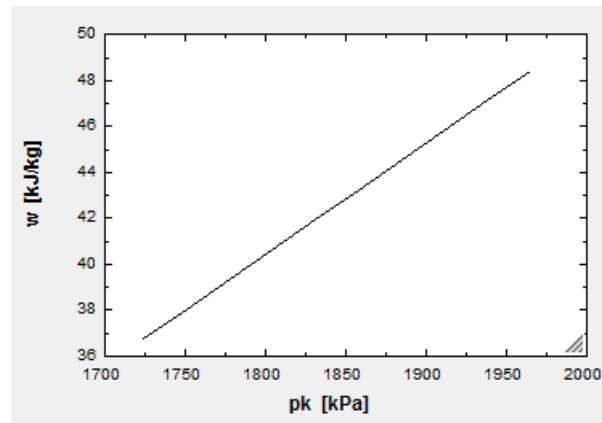


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

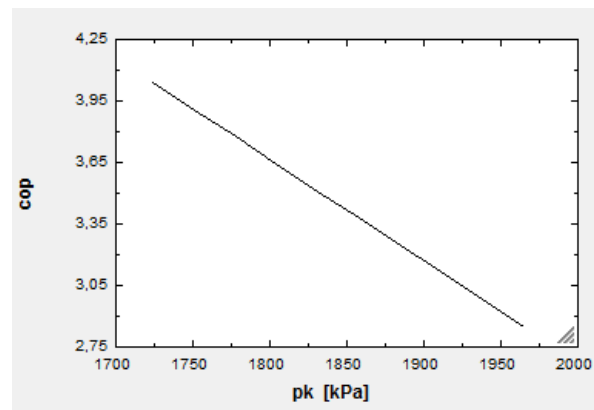


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 19

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 19 Sistema de climatización

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1724	3,81	38,79
Run 2	1755	3,716	39,65
Run 3	1785	3,621	40,51
Run 4	1816	3,527	41,37
Run 5	1846	3,432	42,23
Run 6	1877	3,338	43,1
Run 7	1907	3,243	43,96
Run 8	1938	3,149	44,82
Run 9	1968	3,054	45,68
Run 10	1999	2,96	46,54

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

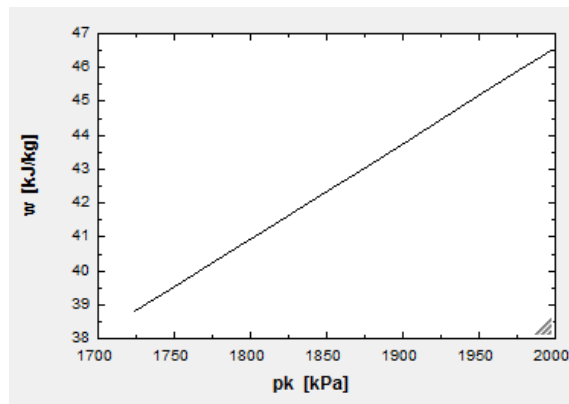


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

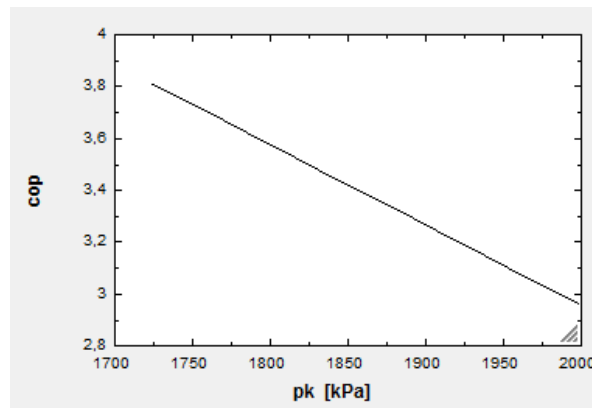


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 20

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 20 Sistema de refrigeración de baja temperatura

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1517	1,88	75,09
Run 2	1528	1,86	75,7
Run 3	1540	1,84	76,31
Run 4	1551	1,82	76,92
Run 5	1563	1,8	77,53
Run 6	1574	1,78	78,14
Run 7	1586	1,76	78,75
Run 8	1597	1,74	79,36
Run 9	1609	1,72	79,97
Run 10	1620	1,7	80,58

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

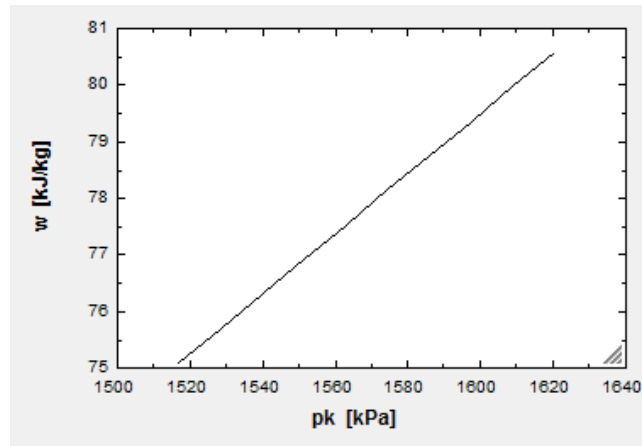


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

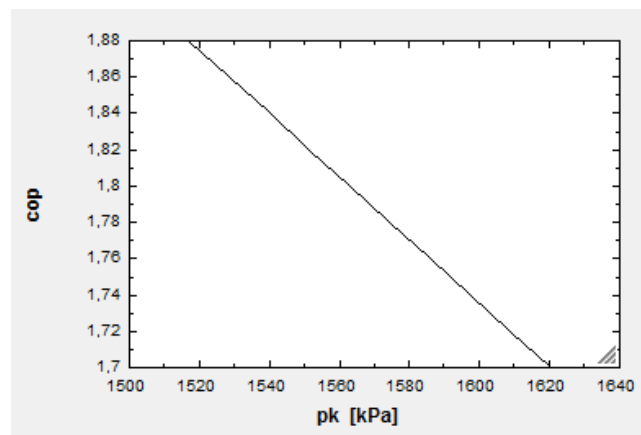


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 21

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 21 Sistema de refrigeración de media temperatura

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1517	1,61	85,59
Run 2	1525	1,574	87,44
Run 3	1532	1,539	89,28
Run 4	1540	1,503	91,13
Run 5	1548	1,468	92,97
Run 6	1555	1,432	94,82
Run 7	1563	1,397	96,66
Run 8	1571	1,361	98,51
Run 9	1578	1,326	100,4
Run 10	1586	1,29	102,2

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

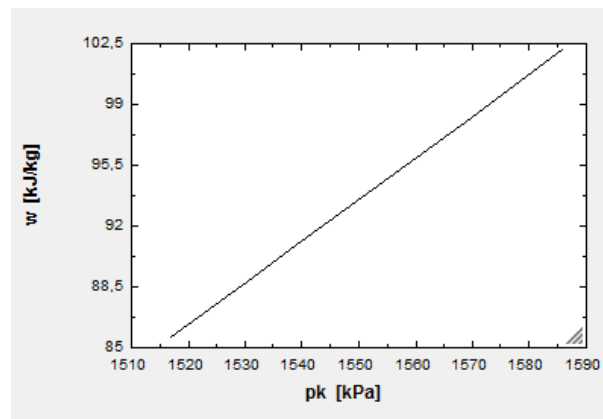


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

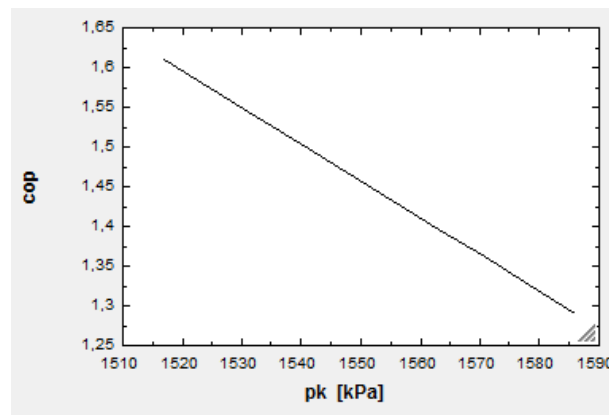


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento



## Anexo 22

### Tablas y Gráficos

#### Equipo 22 Sistema de refrigeración de media temperatura

1..10	1 pk [kPa]	2 cop	3 w [kJ/kg]
Run 1	1378	1,29	106,4
Run 2	1393	1,209	117,7
Run 3	1409	1,128	129
Run 4	1424	1,047	140,3
Run 5	1440	0,9656	151,6
Run 6	1455	0,8844	162,8
Run 7	1471	0,8033	174,1
Run 8	1486	0,7222	185,4
Run 9	1502	0,6411	196,7
Run 10	1517	0,56	208

Tabla que relaciona la presión de condensación, el coeficiente de funcionamiento y el trabajo del compresor

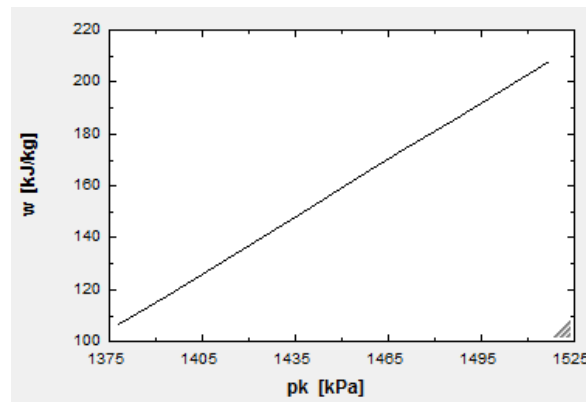


Diagrama de presión de condensación y el trabajo del compresor

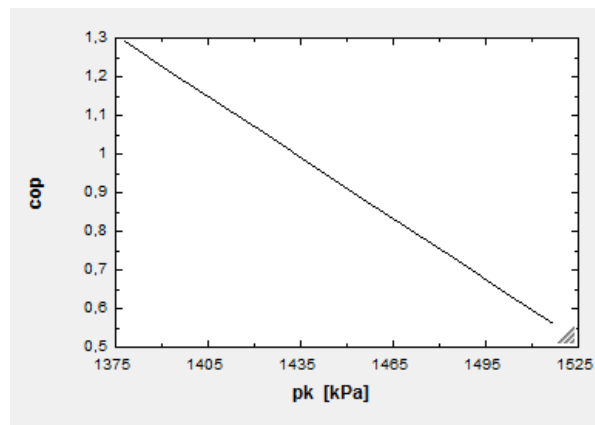


Diagrama de presión de condensación y el coeficiente de funcionamiento

## Anexo 23

### PROYECTO ECONOMIZADOR

#### Datos iniciales

Ingresos (I), \$		8857,134	8857,07	8857,07	8857,07	8857,07	8857,07	8857,07	8857,07	8857,07	8857,07
Gastos (G), \$		5758,52	5758,52	5758,52	5758,52	5758,52	5758,52	5758,52	5758,52	5758,52	5758,52
Costo inversión (Ko), USD	13618,78										
Tasa de descuento (r) , %		14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Tasa de inflación (f), %		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Margen de riesgo, %		1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Tasa de impuestos (t), %		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Vida útil estimada, años		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

#### Resultados

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación (Dep), USD		1361,878	1361,878	1361,878	1361,878	1361,878	1361,878	1361,878	1361,878	1361,878	1361,878
Flujo de caja (Fc), USD		2977,04248	2976,98296	2976,98296	2976,98296	2976,98296	2976,98296	2976,98296	2976,98296	2976,98296	2976,98296
Tasa de descuento real (R)		0,06542056	0,06542056	0,06542056	0,06542056	0,06542056	0,06542056	0,06542056	0,06542056	0,06542056	0,06542056
Tasa de descuento real con margen (D)		0,07542056	0,07542056	0,07542056	0,07542056	0,07542056	0,07542056	0,07542056	0,07542056	0,06542056	0,07542056
Factor de descuento		0,92986878	0,86465594	0,80401656	0,74762989	0,69519769	0,64644263	0,60110682	0,55895046	0,56534081	0,48329983
Flujo de caja descontado (Fd), USD		2768,25885	2574,066	2393,5436	2225,68146	2069,59169	1924,44869	1789,48475	1663,98599	1683,00996	1438,77537
Flujo descontado acumulado (Fda), USD	-13618,78	-10850,5212	-8276,45516	-5882,91156	-3657,2301	-1587,63841	336,810277	2126,29502	3790,28101	5473,29097	6912,06634
VPN, USD											<b>6912,06634</b>

#### TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de caja (Fc), USD		696340	696340	696340	696340	696340	696340	696340	696340	696340	696340
Tasa de descuento real (D)		0,11738318									
Factor de descuento		0,89494814	0,80093218	0,71679277	0,64149236	0,57410239	0,51379187	0,45981708	0,41151244	0,3682823	0,32959356
Flujo de caja descontado (Fd), USD		623188,19	557721,114	499131,475	446696,787	399770,46	357773,831	320189,026	286552,574	256449,694	229509,177
Flujo descontado acumulado (Fda), USD	-13618,78	609569,41	1167290,52	1666422	2113118,79	2512889,25	2870663,08	3190852,1	3477404,68	3733854,37	3963363,55

