

*Universidad de Matanzas  
Sede "Camilo Cienfuegos"  
Departamento de Mecánica  
Facultad de Ciencias Técnicas*



## **ÍNDICES DE EFICIENCIA EN UNA ENFRIADORA DE AGUA BASADO EN LA NORMA ISO 50001**

**Ejercicio de Culminación de Estudios en Ingeniería Mecánica**

**Autor: Leonardo Alvarez Fernández.**

**Tutor: M.Sc. Ing. Jorge Luis Lamas Acevedo.**

*Matanzas, 2020*

“En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento.”

Albert Einstein

## DEDICATORIA

- ✚ A mis padres Geydis y Rodolfo, porque no bastaría una vida entera para agradecerles todo el sacrificio que han hecho por mí.
- ✚ A la razón de mi alegría diaria, mis hermanos Étienne y Ronaldo.
- ✚ A quien ha sido, durante más de un año, ese puntal de apoyo q me faltaba para encontrar equilibrio, mi amiga y compañera de vida, mi Lulú.
- ✚ A toda mi familia y amigos en general.

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✚ A toda mi familia, en especial a mis padres y hermanos por toda su dedicación, sacrificio y entrega a lo largo de todos mis años de estudiante, principalmente en estos cinco años de carrera universitaria, los amo.
- ✚ A mi Lulú por su paciencia, apoyo y amor incondicional.
- ✚ A mi tutor y más que profesor, amigo Jorge Luis Lamas.
- ✚ A Mario, Danny, Adiel, Jose, Hendry, Reiniel y Aniel.
- ✚ A mis hermanos mecánicos, a mis amigos, que son un montón y, a todas esas personas que, de una forma u otra, han contribuido a mi formación como Ingeniero Mecánico.
- ✚ Y por supuesto, a la que siempre será mi casa, la universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

**¡GRACIAS!**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaré que, yo Leonardo Alvarez Fernández, soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

---

Presidente

---

Secretario

---

Vocal

## RESUMEN

El presente trabajo se realiza en una instalación hotelera de Varadero en el área de las enfriadoras de agua pertenecientes al sistema centralizado de climatización de la instalación. Partiendo de la determinación de los días grados de enfriamiento, índice de ocupación del hotel y de la temperatura base, así como de los parámetros reales del funcionamiento de la misma, tales como consumo energético, producción de frío y temperatura ambiente y su análisis estadístico, se obtienen los índices de eficiencia de estas aplicando la norma cubana Iso 50001-2011. Se obtendrá la línea base y la línea meta del sistema de mayor consumo en la instalación que permitirá la implementación de un sistema de gestión energética en dicha instalación.

**Palabras claves:** Enfriadoras de agua, gestión energética, norma Iso, índices de eficiencia.

## **ABSTRACT**

This work is performed at a Varadero hotel facility in the area of water coolers belonging to the centralized air-conditioning system. Based on the determination of the days of cooling, the hotel's occupation rate and the base temperature, as well as the actual parameters of the operation of the hotel, such as energy consumption, cold production and ambient temperature and statistical analysis, the efficiency indexes of these applying the Cuban standard ISO 50001-2011 are obtained. The baseline and the target line of the system's highest consumption will be obtained that will allow the implementation of an energy management system in that facility.

Key words: Water coolers, energy management, ISO standard, efficiency rates.



## TABLA DE CONTENIDO

### Índice

Introducción .....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica .....	4
1.1 Enfriadoras de agua con compresores de levitación magnética.....	4
1.1.1 Compresores centrífugos magnéticos .....	5
1.1.2 El motor .....	7
1.1.3 Campo de aplicación.....	8
1.2 Índices energéticos en una enfriadora de agua .....	8
1.3 Eficiencia energética y desarrollo sostenible en edificaciones .....	13
1.4 Norma cubana Iso 50001-2011 .....	17
1.4.1 Funcionamiento.....	18
1.5 Importancia de la línea base y línea meta energética.....	21
1.6 Influencia de las condiciones ambientales en el funcionamiento de una enfriadora de agua .....	22
1.7 Días grados y temperatura base .....	25
Capítulo 2 Materiales y métodos .....	27
2.1 Caracterización de la instalación objeto de estudio .....	27
2.2 Determinación de la temperatura base y HDO-GDE como indicador de desempeño energético.....	28
2.3 Herramientas que permiten el control y monitoreo del consume energético de las enfriadoras de agua. ....	29
2.4 Método para la determinación del ahorro energético de la instalación. ....	41
Conclusiones .....	43
Recomendaciones .....	44
Referencias Bibliográficas .....	45

## INTRODUCCIÓN

Los retos actuales de nuestra sociedad, de limitación de la demanda mundial de energía, la reducción drástica de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del efecto invernadero justifican los esfuerzos orientados a diseñar equipos eléctricos con mejores eficiencias y por tanto menor consumo de electricidad. Las enfriadoras aire-agua integran sistemas de generación, de frío y calor para confort, en grandes consumidores de energía eléctrica como: hoteles, hospitales, centros de enseñanza, edificios centralizados y grandes centros comerciales.

El sector hotelero se caracteriza en general por su elevado, y en ocasiones poco racional, consumo energético. Dentro de los costos energéticos en un hotel turístico la electricidad representa la mayor partida, y son la climatización y el alumbrado de las áreas que consumen más energía eléctrica. Para hoteles del Caribe, en particular, el consumo de climatización puede representar alrededor del 65% del total del consumo de electricidad, debido fundamentalmente a las altas temperaturas, mientras que el consumo en equipos de refrigeración representa alrededor de un 14%, el alumbrado un 11%, ventiladores y bombas un 12% y la producción de agua caliente un 7% aproximadamente. Es por ello que cualquier programa de ahorro de energía y reducción de costos energéticos en un hotel turístico debe enfocarse, en primer plano, hacia la eficiencia del sistema de climatización, ya que existen importantes potenciales de ahorro alcanzables con un diseño adecuado del sistema y con estrategias operacionales enfocadas al ahorro de energía. La tendencia actual en la climatización de grandes edificaciones, incluyendo el sector hotelero, es hacia la instalación de sistemas centralizados de climatización por agua helada (SCCAH), dadas sus ventajas en cuanto a costo inicial, eficiencia, facilidades y flexibilidad de operación. El diseño y funcionamiento de los enfriadores de agua helada o chillers, ha sido y son objeto de minuciosos estudios dado el peso que tienen en el consumo total de energía. Al evaluar los consumos energéticos de los chillers es necesario tomar en consideración las condiciones de operación del mismo en comparación con las de diseño. (Montelier, 2008) plantea que los chillers con frecuencia operan por debajo del 50% de su carga máxima, y otros autores (Corporation, 2004) señalan que en un 99% de las horas de acción de los chillers estos operan fuera de las condiciones de diseño debido esencialmente a sobre dimensionamiento o a la influencia de factores climatológicos. Esta regularidad del trabajo

de los chillers a cargas parciales tiene un significativo impacto en los consumos energéticos, lo cual ha provocado la investigación de diferentes estrategias que conduzcan a una operación eficiente, y por tanto, a la reducción de los consumos de energía. La mayor parte del tiempo los chillers trabajan a cargas parciales, a causa principalmente de las variaciones de carga térmica de las edificaciones y las condiciones climáticas imperantes, por lo que resulta de vital importancia lograr su operación de forma eficiente bajo dichas circunstancias (Montelier, Borroto, Armas, & Gómez, 2010).

En la actualidad, las empresas, a nivel global se desenvuelven en una competencia por alcanzar un fin común: el ser más eficientes. La eficiencia energética es un elemento que toda organización anhela alcanzar puesto que no solo constituye el primer punto de partida para un mejor desarrollo sostenible sino que constituye actualmente la mejor arma de competencia económica. Los índices de consumo energético cumplen una variedad de funciones que van desde el monitoreo de la eficiencia energética, el análisis y la evaluación de políticas energéticas, hasta la valoración de nuevas tecnologías. Estudios realizados en varias zonas turísticas del país han demostrado que el índice de consumo actual no es lo suficientemente cercano al consumo real. El índice de consumo actual tiene en cuenta solamente el consumo de energía por unidad de alojamiento rentada, o sea, kWh por Habitación Día Ocupada (Pineda, 2019).

Este trabajo de diploma se realiza en una instalación del polo turístico de Varadero. Este hotel pertenece a la compañía Cubanacán y cuenta con un total de habitaciones de 404, entre estándar y suites sencillas y dobles, además de las zonas sociales climatizadas como restaurantes, tiendas y salón de reuniones.

El hotel presenta un sistema centralizado compuesto por dos enfriadoras de agua de condensación por aire, con dos compresores de levitación magnética, marca *Smartd* de capacidad 788 kW y un sistema de control compuesto por una *interface* que permite visualizar y registrar muchos parámetros del funcionamiento de las mismas. La instalación presenta un sistema de eficiencia energética establecido de forma global, por lo que aún tiene la posibilidad de establecer un sistema de gestión energética basado en la norma cubana Iso 50001-2011 solo para el área de climatización pudiendo, de esta manera evaluar

el desempeño de dichas enfriadoras, siendo este el **problema científico** de este trabajo de diploma.

La **hipótesis** del trabajo es que teniendo los parámetros del funcionamiento de las enfriadoras se pueden establecer la línea base y meta del sistema más consumidor de energía eléctrica del hotel.

El **objetivo principal** de este trabajo es la implementación de la norma cubana Iso 50001-2011 en el área de enfriadoras de la instalación.

Los objetivos específicos trazados para dar cumplimiento exitoso al trabajo son:

- Realizar un estudio bibliográfico sobre los contenidos de la norma cubana Iso 50001-2011.
- Obtener los datos de consumo energético y producción de frío de las enfriadoras.
- Recopilar informaciones estadísticas de la ocupación del hotel y la temperatura ambiente para el periodo analizado.
- Profundo análisis crítico de los resultados obtenidos

## **CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En el transcurso del presente capítulo se hará referencia al análisis de la bibliografía existente luego de una extensa búsqueda y selección de la misma para el satisfactorio cumplimiento de los temas a desarrollar. Esta aportará todo el material teórico necesario para un excelente desarrollo de la investigación.

### **1.1 Enfriadoras de agua con compresores de levitación magnética**

Las enfriadoras de agua, conocidas en el sector de la climatización como *chillers*, son ampliamente utilizadas en los sistemas centralizados de climatización que abarcan las más variadas capacidades frigoríficas, las cuales oscilan entre 15 y 1650 kW, por lo que están presentes desde una casa familiar hasta grandes instalaciones como hoteles, edificios condominios, aeropuertos, teatros, etc. En nuestro país, la norma cubana plantea la preferencia en el uso de estos sistemas con enfriadoras de agua por encima de la climatización distribuida en instalaciones turísticas categorizadas con 4 o 5 estrellas, por lo que el desarrollo en este sector de la economía ha traído consigo la amplia presencia de las mismas en el mercado cubano, además de las ventajas que representa en cuanto a su eficiencia, flexibilidad y facilidades de operación que permitan trazar estrategias en su funcionamiento. Estos equipos de refrigeración trabajan siguiendo el ciclo inverso de Carnot, donde una sustancia refrigerante primaria se condensa y evapora para posteriormente ser comprimida. Están compuestas por uno (o varios) circuito(s) frigorífico(s) integrado por sus cuatro elementos fundamentales que son: compresor, condensador, elemento de expansión y evaporador, siendo el primero de ellos el corazón de la enfriadora y el de mayor consumo energético, por lo que la eficiencia de estos equipos depende en gran medida del correcto funcionamiento de ellos. Además, pueden incorporar, en algunos casos, recuperadores de calor en la zona de sobrecalentamiento del compresor para el calentamiento de agua sanitaria y economizadores que no son más que intercambiadores de placa, preferiblemente, que se ubican en la salida del condensador con el fin de lograr un aumento de la potencia frigorífica a la vez que logran reducir el consumo energético de ellos. Las enfriadoras disponen de un potente sistema eléctrico y electrónico que garantizan el funcionamiento seguro de las mismas. Tiene como función, a partir del consumo de energía, el enfriamiento de un refrigerante secundario, que en este caso es

agua, la cual se hace circular por una red de tuberías hasta las diferentes unidades terminales con el objetivo de lograr las condiciones termo higrométricas del aire que garanticen las condiciones de confort requeridas. Entre sus ventajas están su operación totalmente automática y fácil mantenimiento, que unido a la reducida área que ocupan en las instalaciones hacen de esta tecnología una atractiva oferta en el mundo de la climatización (Lamas, 2018).

### **1.1.1 Compresores centrífugos magnéticos**

Esta nueva tecnología fue presentada en enero de 2003 durante una exposición internacional de aire acondicionado, calefacción y refrigeración, en la ciudad de Chicago, Illinois. Se hizo acreedora a los premios *Innovation Award*, en la categoría de energía, y al *Energy Efficiency Award*, en Canadá, por su capacidad para reducir gases de efecto invernadero. Estos compresores son empleados con mayor frecuencia en chillers enfriados por agua y sus cualidades son clave para mejorar el rendimiento a cargas parciales (*IPLV*, por sus siglas en inglés).

Los compresores centrífugos convencionales utilizan cojinetes de rodamiento o cojinetes hidrodinámicos. En ambos casos, existen pérdidas de energía por fricción y requieren aceites para su lubricación y enfriamiento. Recientemente, se han desarrollado cojinetes de rodamiento cerámicos, los cuales evitan problemas de manejo de aceites y reducen los consumos energéticos (no los eliminan), y su lubricación está dada por el mismo refrigerante. La tecnología de cojinetes magnéticos es significativamente diferente. Poseen electroimanes e imanes permanentes que son controlados mediante un sistema digital, permitiendo a la flecha y al impulsor levitar para controlar su rotación y posición. Los cojinetes radiales proveen la fuerza electromotriz necesaria para generar la rotación y controlar las revoluciones, mientras que el cojinete axial mantiene centrado y en posición a la flecha y al impulsor. Una vez que los cojinetes magnéticos son energizados, el impulsor y la flecha comienzan a levitar. Los cojinetes magnéticos permanentes realizan el primer trabajo, mientras que los electroimanes controlados digitalmente proveen el posicionamiento fino. Existen cuatro sensores de posicionamiento por cada cojinete magnético, los cuales mantienen al arreglo de levitación (conformado por la flecha y el

impulsor) centrado, con una tolerancia de 0.0005 mm. Cada vez que este arreglo modifica su posición del punto central, los electroimanes ajustan su intensidad para corregirla. Esta corrección puede llegar a ocurrir más de 6 millones de veces por minuto y el programa de control está diseñado para compensar automáticamente cualquier desequilibrio que pueda sufrir el arreglo.

Cuando el compresor no está en operación, el arreglo de levitación reposa sobre un cojinete de contacto con revestimiento de grafito en la cara interna. Los cojinetes magnéticos proveen el posicionamiento adecuado al rotor, previniendo el contacto con otras superficies metálicas. Si el cojinete magnético falla, el cojinete de contacto (también conocido como cojinete de respaldo) es utilizado para prevenir una falla del compresor. El compresor utiliza capacitores de onda suave en la línea de corriente directa del motor. Después de una falla en la energía (corte de energía), el motor se convierte en generador de forma instantánea, utilizando el momento angular (par angular) para generar electricidad, manteniendo así a los capacitores con carga durante el periodo de falla o corte de energía. Los capacitores, a su vez, proveen suficiente energía para mantener al rotor en levitación, permitiendo al sistema detenerse y reposar sobre el cojinete de contacto en forma suave, por lo que esta característica permite al compresor ver al corte de energía como un paro normal.

El manejo de aceite, particularmente para mantener lubricados a los cojinetes del compresor, es un elemento crítico para el diseño de un sistema de refrigeración; sin embargo, los cojinetes magnéticos no lo requieren para este fin, y sólo se utiliza en pequeñas cantidades para lubricar otros aparatos, como sellos y válvulas (ocasionalmente). No obstante, puede evitarse por completo el uso de aceites también para estos componentes.

En una investigación desarrollada *ASHRAE* (Naranjo & Nieto) se demuestra como la presencia de aceite en el evaporador de los sistemas de refrigeración disminuye la transferencia de calor y, por ende, el coeficiente de efecto frigorífico (COP) del sistema en general llegando a oscilar esta disminución entre un 40 y 50 % cuando el contenido de aceite es de un 5 a un 15 %.

Por otra parte, el nivel ruido provocado por los compresores magnéticos es mucho menor en comparación con otros, llegando su valor a 77 dB a un metro de distancia para dos compresores en funcionamiento.

### **1.1.2 El motor**

La mayoría de los compresores herméticos tradicionales utilizan motores de inducción enfriados por el refrigerante líquido o el gas de la succión, los cuales están compuestos por devanados de cobre que al recibir la energía eléctrica generan un campo magnético que hace que el rotor gire. Estos devanados son voluminosos, sumando tamaño y peso al compresor, además de provocar ruido y vibraciones.

Los compresores con cojinetes magnéticos cuentan con motores de imanes permanentes sincronizados de corriente directa, con un variador de frecuencia integrado (VFD, por sus siglas en inglés), en el cual los devanados de cobre de los motores de inducción convencionales se reemplazan por rotores de imanes permanentes. El variador de frecuencia integrado también actúa como arrancador suave, consumiendo menos de dos amperes de corriente al arranque, en comparación con los picos de consumo de 500 a 600 amperes consumidos por un compresor tipo tornillo de 75 toneladas de refrigeración, 460 volts, con arrancador tipo línea cruzada.

Los motores de inducción tradicionales operan en el rango de 92 por ciento de eficiencia, mientras que los compresores de imanes permanentes poseen un rango entre 96 y 97 por ciento. Este incremento se debe al uso de los cojinetes magnéticos, los cuales eliminan las pérdidas energéticas asociadas con la fricción entre partes móviles.

El rango de capacidades de los compresores centrífugos magnéticos va desde 60 hasta 700 toneladas de refrigeración (TR) en un sólo compresor, dependiendo de sus condiciones de operación. Los equipos más pequeños (de 60 TR hasta 150 TR) utilizan un sólo compresor. Los proyectos en desarrollo para esta tecnología buscan la expansión en rango de capacidades y el mejoramiento de la eficiencia energética, lo cual promete ofrecer mayor campo de aplicación para equipos enfriados por aire y por agua, y mejorar los desempeños actuales (AHRI, 2018).



### **1.1.3 Campo de aplicación**

Este nuevo diseño de compresores puede considerarse, actualmente, como una computadora. Pueden proporcionar un diagnóstico detallado del desempeño de operación y transferir esta información por medio de algún protocolo de comunicación abierto al sistema de control centralizado en el edificio.

La combinación de la tecnología de los evaporadores de tipo inundado, junto con la tecnología del compresor centrífugo magnético, permiten mejoras en el desempeño de estos equipos en comparación con un compresor centrífugo tradicional. La integración del variador de frecuencia proporciona un excelente rendimiento a cargas parciales, y es en este campo donde estos equipos ofrecen un retorno de inversión de hasta dos años, dependiendo de cada aplicación particular. Los consumos a carga plena llegan hasta 0.639 kW/TR (5.6 en factor COP) con un valor integrado a cargas parciales (IPLV) de 0.365 kW/TR. Este valor IPLV puede bajar hasta 0.28 kW/TR o menor, dependiendo de las condiciones de operación y la capacidad del equipo ("Chillers, aspectos técnicos," 2017).

### **1.2 Índices energéticos en una enfriadora de agua**

Las enfriadoras de agua dentro de los sistemas centralizados de agua fría son grandes consumidoras de energía, representando hasta un 65 % del gasto total en instalaciones hoteleras y edificios públicos o privados, provocando grandes erogaciones en la factura de las instituciones donde se instalan, así como emisiones de CO<sub>2</sub> que contribuyen al calentamiento global, por lo que el conocimiento de los índices energéticos que evalúan su desempeño es una herramienta útil a la hora de la toma de decisiones para una inversión o para conocer cómo funciona una instalación real.

Las enfriadoras de agua después de construidas son probadas en bancos de pruebas donde se simulan las condiciones para las cuales fueron diseñadas, es decir para temperaturas del aire o agua, según sea el agente de condensación y temperaturas del agua helada de entrada al evaporador entre 6 y 7 °C y salida del mismo entre 11 y 12 °C. Entonces, podríamos preguntarnos, si la enfriadora que hemos adquirido para esas condiciones, ¿va a trabajar siempre dentro de estos parámetros? La respuesta como se puede intuir es no, ya que se

plantea con frecuencia que los *chillers* operan por debajo del 50% de su carga máxima y que en un 99% de las horas de operación estos lo realizan fuera de las condiciones nominales de funcionamiento, las cuales solo se cumplirán bajo una situación ideal, aunque se trata de un marco referencial para el funcionamiento de las mismas. Entre las condiciones más comunes y habituales que se presentan en una instalación real que impiden la operación en condiciones de diseño destacan la variabilidad meteorológica del ambiente exterior y de las ganancias internas y externas de calor de la edificación, la primera de ellas difícilmente controlable por los operadores de la instalación y la segunda, aunque no se tenga un total dominio de esas ganancias, si se pueden atenuar. La tercera de estas condiciones es el funcionamiento defectuoso de elementos y componentes de la instalación.

Cuando se desea realizar la evaluación energética de una enfriadora o cualquier otro sistema de refrigeración debemos efectuar una serie de mediciones lo más real y ajustado al funcionamiento de la máquina. Para ellos nos auxiliamos del diagrama termodinámico presión-entalpía del refrigerante que evoluciona en la enfriadora de agua, obteniéndose la entalpía en los diferentes puntos del proceso y así calcular la cantidad de calor cedido o absorbido por unidad de masa. Otro parámetro importante a obtener para la evaluación de las enfriadoras, será la cantidad de flujo másico de refrigerante que circula por el sistema para cada condición de carga. Partiendo de la información de los fabricantes de las máquinas y de los fabricantes de los compresores brindadas en la chapilla, podemos leer el caudal volumétrico desplazado por el compresor y conociendo el volumen específico de entrada al compresor podremos obtener la masa de refrigerante que circula en cada momento de la medición, no obstante, cuando se trate de compresores reciprocantes, deberá particularizarse porque la reexpansión del gas en el espacio muerto causa variaciones del flujo másico para las condiciones de presiones de aspiración y descarga en las que la máquina se encuentre funcionando en cada momento. Para la identificación del caudal de agua en circulación puede optarse por dos procedimientos: medir la caída de presión entre la entrada y la salida de agua del intercambiador de calor en estudio y determinar el caudal a partir de sus curvas características de pérdida de carga-caudal, que sólo los fabricantes pueden facilitar, o bien medir el consumo de los motores y la presión total neta de la bomba o bombas que recirculan el agua a través del intercambiador, y determinar el caudal

bombeario en las curvas caracterfsticas de esas bombas, que tambi3n deben facilitar los fabricantes.

Los puntos caracterfsticos que se representa en la figura # 1 son:

- Punto 1: Vapor recalentado en la aspiraci3n del compresor.
- Punto 2: Vapor sobrecalentado en la descarga del compresor.
- Punto 2': Vapor sobrecalentado a la temperatura real de descarga del compresor.
- Punto 3: Vapor saturado al inicio de la condensaci3n.
- Punto 4: Lquido subenfriado a la entrada del dispositivo de expansi3n de la m3quina.
- Punto 5: Lquido con t3tulo o calidad del vapor a la entrada del evaporador.

La eficiencia m3xima obtenida por estos equipos ser3, como plantea el ciclo inverso de Carnot, solo funci3n de las temperaturas extremas del foco frfo y foco caliente en que trabajar3 el sistema, aunque esta magnitud es un valor te3rico e inalcanzable en la pr3ctica, nos permitir3 establecer una comparaci3n de cu3n alejado trabaja nuestro ciclo con respecto al m3ximo que puede obtenerse. Por lo que podemos definir el coeficiente de funcionamiento, m3s conocidos por sus siglas en ingl3s *COP* (*coefficient of performance*) como:

$$COPC = \frac{T_{ff}}{T_{fc} - T_{ff}} \quad COPC = \frac{T_{ff}}{T_{fc} - T_{ff}} \quad (1.1)$$

Donde:

*COPC* = Coeficiente de funcionamiento de Carnot, adim.

$T_{ff} = T_{ff}$  = Temperatura de la fuente frfa, K.

$T_{fc} = T_{fc}$  = Temperatura de la fuente caliente, K.

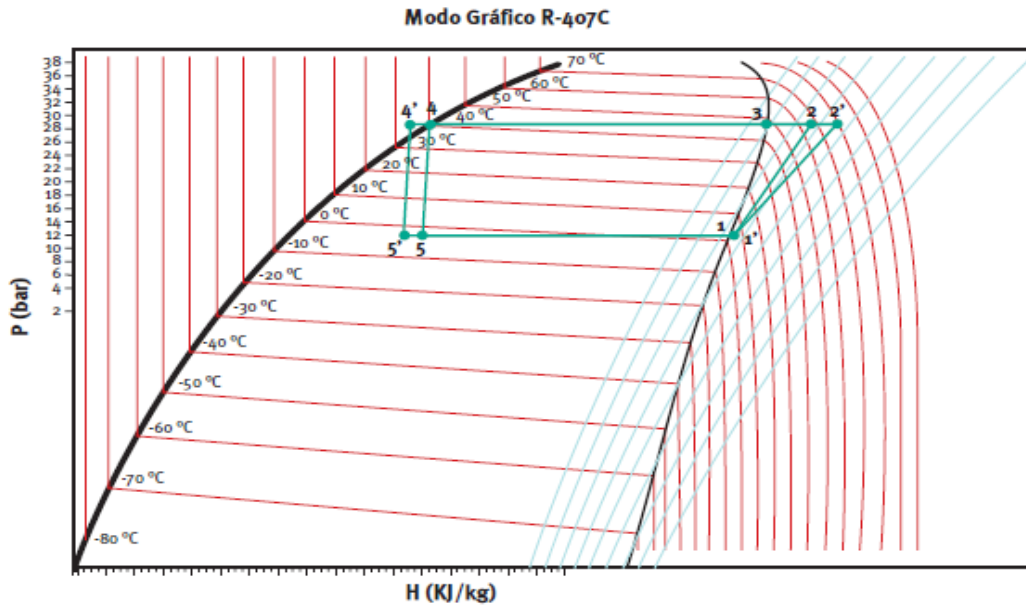


Figura #1: Diagrama termodinámico presión-entalpía de un refrigerante.

Cuando tenemos que seleccionar una enfriadora de agua, ya sea para una inversión nueva o para sustituir un sistema que cumplió su vida útil, deteriorado por el tiempo o por la sobre explotación a que fue sometido, el fabricante del equipamiento aporta la capacidad frigorífica para valores de temperatura dependiendo si el proceso de condensación se realiza por aire o agua y del agua helada, así como el consumo energético de la enfriadora, con lo cual podremos verificar el *COP* que este brinda en sus catálogos, además si la enfriadora está en funcionamiento y queremos realizar el análisis energético de esta para corroborar su eficiencia en condiciones reales de trabajo, se acostumbra a utilizar la siguiente expresión del coeficiente de funcionamiento:

$$COP = \frac{Q_o}{N_{real}} \quad (1.2)$$

Donde:

$COP_r$   $COP_r$  = Coeficiente de funcionamiento real, adimensional.

$Q_o$   $Q_o$  = Capacidad frigorífica, kW.

$N_{real}$   $N_{real}$  = Potencia real del compresor, kW.

Si la enfriadora trae incorporado recuperación de calor en la zona de sobrecalentamiento del refrigerante para la producción de agua caliente sanitaria, entonces, el  $COP_r$  se verá incrementado por esa cantidad de calor que se aprovecha, este incremento está en dependencia de la cantidad de circuitos que posea la enfriadora con esta opcional, es decir si la recuperación se realiza al 100% u otro valor porcentual y del por ciento de calor de sobrecalentamiento recuperado que generalmente se encuentra entre (15 y 30) %, resultando entonces que:

$$COP_r = \frac{Q_o + Q_{rec}}{N_{ec}} \quad (1.3)$$

Donde:

$Q_{rec}$  = Calor de sobrecalentamiento recuperado, kW.

$N_{ec}$  = Potencia eléctrica consumida por el compresor, kW.

Si queremos obtener el coeficiente de funcionamiento efectivo entonces tenemos que considerar el consumo eléctrico de los equipos que intervienen en el proceso de condensación del refrigerante tales como: ventiladores (condensación por aire), bombas (condensación por agua) o ambos cuando su usan torres de enfriamiento o condensadores evaporativos, por lo que resulta:

$$COP_e = \frac{Q_o}{N_{ec} + \sum (N_{e_{otros}} * Cant_{otros})} \quad (1.4)$$

Si existe recuperación de calor entonces la ecuación anterior quedaría:

$$COP_e = \frac{Q_o + Q_r}{N_{ec} + \sum (N_{e_{otros}} * Cant_{otros})} \quad (1.5)$$

Donde:

$N_{e_{otros}}$  : Potencia eléctrica de otros equipos usados en el proceso de condensación, kW.

$Cant_{otros}$  : Cantidad de otros equipos usados, adimensional.

El valor del COP es un número adimensional que relaciona los kW de producción de frío o térmico entre los kW eléctricos consumido (kWt/kWe) (Lamas, 2018).

En (Hitchin, 2015) se hace un estudio de la eficiencia a cargas parciales para ser ampliamente usado en Europa, calcula la demanda energética de enfriamiento y como se ve reducida esta cuando se aprovechan formas de suministro de aire mediante el método de enfriamiento gratuito, mejorando la eficiencia energética sobre todo en construcciones tipo edificios muy usados en el continente.

### **1.3 Eficiencia energética y desarrollo sostenible en edificaciones**

A lo largo de su historia, el hombre ha aprendido a aprovechar los ecosistemas del planeta y sus recursos para satisfacer sus necesidades materiales e inmateriales. Este éxito relativo como especie, en términos de conquistar el mundo, ha implicado un impacto muy fuerte sobre la biosfera y la geosfera, incrementando en forma creciente la presión antrópica sobre la oferta de bienes y servicios ambientales a medida que el ser humano intensifica su dominio sobre la naturaleza y se apropia de ella. Estos impactos se aceleraron a partir de la revolución industrial, acentuándose en el siglo pasado y en el presente, a tal punto que están agotando la capacidad del planeta de soportar los procesos socio-económicos, amenazando con ello la calidad de vida de la gente y la exitosa carrera del ser humano como especie dominante.

La eficiencia energética se puede definir como: “la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, esto sin disminuir nuestra calidad de vida y confort, protegiendo el medio ambiente y fomentando un uso razonable de los recursos”. Desde el comienzo de la Revolución Industrial en el siglo XVIII se ha empezado un debate acerca del ahorro de energía. La eficiencia energética no ha recibido la atención necesaria, solo en los momentos de crisis o en ocasiones de problemas energéticos se le ha prestado interés, ya que todavía no ha llegado el momento de una verdadera crisis energética que nos obligue a replantear nuestras prioridades y salvar el planeta para las generaciones futuras porque pensar en un mundo sin electricidad es algo difícil de imaginar. En los últimos cincuenta años el consumo mundial de energía ha aumentado de manera considerable y desproporcionada con respecto al aumento de la población, esto es debido

fundamentalmente al desarrollo económico y a la falta de sensibilidad sobre todo en los países más desarrollados donde cada vez es mayor el consumo de energía por habitante. De lo anteriormente explicado, se puede decir que al aumentar la energía se tendría un mayor bienestar, pero eso no significa que sea de forma lineal. Por tanto, la eficiencia energética a nivel transnacional y mundial desde el punto de vista de la demanda, se presenta como un reto que requiere acciones inmediatas y una mejora sustancial siendo, en el pasado y en actualidad, un ámbito con un gran potencial de mejora en este aspecto.

En Cuba la Revolución Energética ha generado un cambio sustancial en la forma como el país transforma y usa la energía. Este programa tiene como objetivo mejorar la eficiencia energética como su principal herramienta, las acciones implementadas por su puesta en práctica han tenido un gran impacto principalmente en lo económico, social y energético-ambiental. En lo económico tiene como principal logro el ahorro de energía eléctrica en el sector estatal y residencial, disminuyendo así los costos en la generación de electricidad utilizando este presupuesto para otros proyectos sociales. En lo energético ambiental se reduce la demanda máxima de generación eléctrica lo que disminuye la carga de contaminantes a la atmósfera lo que favorece a un ambiente más limpio. En lo social al disminuir el consumo de energía en las viviendas se mejora las condiciones de vida en las familias viendo así una gran mejora en su economía. También la implementación de la NC ISO 50001: 2011 en algunas entidades ha contribuido al ahorro y uso eficiente de las energías. Actualmente está teniendo gran auge el uso de la tecnología *LED* debido a su mayor tiempo de vida útil y a la mayor emisión de luz comparado con otras fuentes de luz como son las lámparas fluorescentes compactas (por sus siglas en inglés *CFL*) (Therkelsen, Sabouni, McKane, & Scheihing, 2013). Se espera que para el 2030 el uso de las energías renovables aumente hasta el 24% comparado con el 4% que había en el 2015 (Pérez, 2016).

La energía más limpia es aquella que no se consume, algo en lo que todavía hay que trabajar arduamente, teniendo en cuenta que nuestros hoteles y edificios no son precisamente ecológicamente sostenibles (Montero, 2013). La sociedad a nivel mundial valora cada vez más la importancia de la realización de sus actividades con filosofía sostenible, pues se considera que este elemento es esencial para obtener soluciones a sus necesidades en el largo plazo y reparar la explotación irresponsable de recursos que ha generado cambios

lesivos al planeta. Afortunadamente, varios países han emprendido esfuerzos por propiciar la sostenibilidad en sus entornos y actividades. El concepto desarrollo sostenible se fundamenta en buscar un equilibrio entre medio ambiente (recursos), sociedad (necesidades) y economía (negocios); apareció en Alemania a principios del siglo XVIII y se expuso nuevamente en 1972 en la obra "Los límites del crecimiento". En particular, el eje por excelencia es el medio ambiente, pues este permite la existencia de la sociedad y los recursos requeridos para el desarrollo de la economía. En 1987, la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su reporte Nuestro futuro común de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, adoptó el concepto moderno de sostenibilidad: "desarrollo que conoce y atiende las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de conocer y atender las suyas". Entre los objetivos del desarrollo sostenible se tienen: preservar los recursos naturales, reducir el impacto medioambiental de la industrialización, y mejorar las condiciones de vida, salud y educación en el mundo. Actualmente, se conoce que el modelo de la producción y consumo en masa genera impactos negativos al medio ambiente, debido al consumo de recursos a un elevado ritmo y a la contaminación del medio ambiente. En el diseño de edificaciones se pueden considerar diversas aplicaciones sostenibles, activas (energía solar fotovoltaica, energía eólica, tratamiento de aguas grises) o pasivas (iluminación natural, ventilación natural y techos verdes), pues las edificaciones actuales registran, por ejemplo, un consumo significativo de energía eléctrica debido a sistemas de aire acondicionado e iluminación que no aprovechan las condiciones naturales del entorno. Por tal razón, se propone considerar criterios de sostenibilidad en los diseños de nuevos proyectos (Osma & Ordóñez, 2010).

En el mundo, el sector de las edificaciones es el mayor sector que contribuye con un tercio de las emisiones globales de contaminantes. Las edificaciones residenciales y comerciales consumen el 40% de la energía, 25% del agua, 40% de los recursos globales y 60% de la electricidad. El uso de la energía es para calentamiento, enfriamiento de espacios, ventilación, agua, calentamiento de agua, etc. Para la construcción de edificaciones, los recursos que se utilizan son el 20% de agua, 40% de energía y 30% recursos minerales, y, por lo tanto, las edificaciones emiten: 40% de dióxido de carbono, 30% de residuos sólidos y 20% de agua residual. En total se emplean 20% de los recursos para la construcción y



80% para la operación y uso de la edificación. Actualmente, debido a que los recursos son finitos y contaminan hay una preocupación seria de considerar en el diseño de las edificaciones la influencia del clima. Así, en la actualidad el aprovechamiento de los recursos naturales, en particular la energía solar debe incluirse en cada paso del diseño de una edificación. Con esta idea surge el concepto de Edificación Sustentable (Alvarez, 2013).

La Edificación Sustentable se refiere a la utilización de prácticas y materiales respetuosos del medio ambiente (con ventaja ambiental o ambientalmente preferibles) en la planeación, diseño, ubicación, construcción, operación y demolición de edificaciones. Desde el diseño, se contempla la existencia de planificación urbana vinculada al desarrollo sustentable, considerando que al incluir el desarrollo sustentable se reduce la infraestructura. La eficiencia de los edificios sustentables contempla el ahorro de costos para el suministro de agua y aborda las cuestiones de la escasez de agua, considera el uso eficiente de la tierra y los materiales, limita los residuos de la construcción y reduce los impactos ambientales a nivel mundial y local. Incluye la reducción de la demanda de energía, el uso de fuentes renovables de energía y promueve la creación de mercados de energía renovable.

Sin embargo, el futuro desarrollo de las ciudades requiere edificios totalmente sostenibles, y que cumplan con un alto nivel de eficiencia energética. Además, cabe destacar que, a partir del año 2020, todos los edificios deberán dejar de emitir cualquier gas nocivo a la atmósfera. Así, por ejemplo, a los edificios nuevos se les exigirá una total autosuficiencia en materia de energía, el flujo producido y el consumido deben coincidir, de manera que su resultado sea nulo. Y, en lo que se refiere a los edificios que ya existen antes de esta fecha, tendrán fijados unos objetivos de reducción de emisiones y de energía. Esto será obligatorio a partir del 31 de diciembre de 2018 para edificios públicos y del 31 de diciembre de 2020 para todos los edificios de nueva construcción.

La arquitectura sostenible parte de la definición de desarrollo sostenible que se presentó en las Naciones Unidas en 1987 y que, en palabras de Gro Brundtland, primera ministra noruega en esa fecha, definió como desarrollo sostenible “cuando satisface las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para que

satisfagan sus propias necesidades”. Por lo tanto, “la arquitectura sostenible buscará siempre minimizar el impacto ambiental y aumentar la calidad de vida de sus habitantes presentes y futuros”, define Josep Castellá.

#### **1.4 Norma cubana Iso 50001-2011**

El sistema de gestión energética es la parte del sistema de gestión de una organización dedicado a desarrollar e implementar su política energética, así como a gestionar aquellos elementos de sus actividades, productos o servicios que interactúan con el uso de la energía. El consumo de energía en los últimos años ha sido un fenómeno creciente. Los problemas energéticos actuales se deben principalmente a los efectos que causan sobre el medio ambiente los diferentes tipos de energía que se utilizan. Las desventajas fundamentales de la explotación de combustibles fósiles y su impacto negativo al medio ambiente han suscitado un creciente interés en estos temas a escala mundial. La aplicación de un sistema de gestión energética, al igual que de otros sistemas de gestión, requiere de una guía, una norma que estandarice lo que hay que hacer para implementarlo, mantenerlo y mejorarlo continuamente, con la menor inversión de recursos, en el menor tiempo y con la mayor efectividad. De ahí que a partir del año 2005, países líderes en la gestión de la energía tales como Dinamarca, Noruega, España, Estados Unidos y China instituyeran guías y normas para la gestión energética, las cuales contribuyeron a que en el año 2011 se aprobara por la Organización Internacional de Normalización, la norma internacional ISO 50001: 2011 “*Energy Management Systems - Requirements with guidance for use.*”, la cual posee una alineación con las normas ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 y la ISO 22000: 2005. La norma trae implícita la planificación de la energía, la cual permite contar con un plan minuciosamente diseñado que sirve de guía durante un período de tiempo determinado. Es una herramienta muy útil para cualquier organización que decida mejorar su modelo de consumo energético y que desee hacerlo conforme a un plan correctamente elaborado. Cuba como miembro de esta organización adoptó en el año 2012 la Norma Nacional idéntica con la referencia NC-ISO 50001: 2011 (NC-ISO, 2011). En Cuba se han diseñado para gestionar la eficiencia energética dentro de las organizaciones, la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGEE), y el procedimiento para la mejora de los procesos que intervienen en el consumo de combustibles. Ambos respetan el ciclo de

mejora continua Planear-Hacer-Verificar-Actuar, con técnicas y herramientas coincidentes entre ambas metodologías, sin embargo, la TGEE ha sido más aplicada en el país, pero adolece de la planificación energética en concordancia con la NC-ISO 50001: 2011 (Correa et al., 2014).

### 1.4.1 Funcionamiento

El procedimiento propuesto (Correa et al., 2014) para la planificación energética del Sistema de Gestión de la Energía consta de cuatro etapas y se diseña teniendo en cuenta los requerimientos de la NC-ISO 50001: 2011 y otras normas a nivel mundial referentes a la gestión de la energía y gestión de la calidad, tales como:

- UNE 216301: 2007. Sistema de Gestión Energética.
- DIN EN 16001. *Energy Management Systems in Practice A Guide for Companies and Organizations.*
- ANSI/MSE 2000: 2008. *Management System for Energy.*
- ISO 9001: 2008. Gestión de la calidad.

En la figura 2, se muestran las etapas del procedimiento y sus resultados esperados.



Figura # 2. Procedimiento y resultados esperados para la planificación energética.

En cada etapa del procedimiento se proponen técnicas y herramientas las cuales pueden ser utilizadas teniendo en cuenta el tipo de organización, por lo que algunas de ellas pueden ser de uso opcional. Teniendo en cuenta las características de la gestión de la energía, se recomienda para el análisis de los recursos energéticos, contar con estadística de datos de la siguiente forma:

- Primera opción: Datos diarios, como mínimo 90 datos, permitirá el análisis el comportamiento diario de la variable que se mida (energía eléctrica, diésel, agua, índices consumo, etc.)
- Segunda opción: Datos mensuales, se recomienda, como mínimo tres años, permitirá el análisis el comportamiento mensual de la variable que se mida (energía eléctrica, diésel, agua, índices consumo, factor de potencia, etc.)

De las dos opciones la recomendada es la primera pues garantiza la toma de decisiones sobre los portadores energéticos de forma sistemática. A continuación, se realiza la descripción del procedimiento por etapas, los objetivos de cada una de ellas y las técnicas o herramientas a utilizar.

Etapa I: Revisión del proceso de planificación energética.

Objetivo: Revisar el proceso de planificación energética actual en correspondencia con la norma NCISO 50001: 2011.

La etapa I consta de tres pasos para su desarrollo, los cuales se detallan a continuación:

- ❖ Paso 1. Formar el equipo de trabajo: Debe ser integrado por un grupo de expertos conocedores del tema e interesados en el mismo, de forma tal que aporten información precisa.
- ❖ Paso 2. Aprobación del equipo de trabajo por la alta dirección: Se presentará ante la alta dirección el grupo de trabajo seleccionado, junto a los criterios de selección, para su aprobación.
- ❖ Paso 3. Revisión del proceso de planificación energética: Se aplicarán las técnicas y herramientas que seleccione el grupo de trabajo para la determinación y análisis de la planificación de la energía actual de la organización

Etapa II: Establecimiento de requisitos legales y otros requisitos.

Objetivo: Recopilar requisitos internacionales, nacionales, regionales o locales relacionados con la energía.

Etapa III: Revisión energética.

Objetivo: Analizar el uso y consumo de energía en la organización, identificar las áreas de uso significativo de la energía y consumo e identificar oportunidades para la mejora del desempeño energético.

- Paso 1. Análisis del uso y consumo de energía.

Para el cumplimiento de este objetivo se proponen las siguientes herramientas:

- Diagrama energético-productivo.
- Gráfico de consumo y producción vs tiempo.
- Gráfico de control.
- Estabilidad del proceso.
- Análisis de capacidad del proceso.
- Gráfico de Tendencia de Sumas Acumulativas (CUSUM).

- Paso 2. Identificación de áreas de uso significativo de la energía y consumo.

Para el cumplimiento de este objetivo se proponen las herramientas siguientes:

- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de causa y efecto o Ishikawa.
- Estratificación.

- Paso 3. Identificación de oportunidades para la mejora del desempeño energético.

Para el cumplimiento de este objetivo se proponen las herramientas y/o técnicas siguientes:

- Análisis del modo de falla y efecto.
- Diseño de experimentos (DOE).
- Técnica UTI (Urgencia, Tendencia e Impacto).

Etapa IV: Resultados del proceso de planificación energética.

Objetivo: Determinar la línea de base energética, la línea meta del desempeño energético y mejorar, diseñar o incorporar indicadores de desempeño energético. La línea base y línea meta se determinan mediante el análisis de dispersión lineal o modelos alternos. Para el cumplimiento de este objetivo, se proponen las herramientas siguientes:

- Diagrama de dispersión.
- Comparación de modelos alternos.
- CUSUM y CUSUM tabular.
- Diagrama índice de consumo vs. Producción.

Etapa V: Planes de acción y de control de la planificación energética.

Objetivo: Proponer acciones de mejora para el proceso de planificación energética y establecer planes de control para el proceso. Para el cumplimiento de este objetivo, se proponen las herramientas siguientes:

- Planes de control del proceso.

### **1.5 Importancia de la línea base y línea meta energética**

La línea base energética es una referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético que refleja un periodo especificado y puede normalizarse utilizando variables que afecten el uso o al consumo de energía, por ejemplo, nivel de producción, grados días, etc. También esta línea base se utiliza para calcular los ahorros energéticos como una referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético.

La institución o empresa debe establecer dicha línea basándose en la información revisión energética inicial y considerando un periodo para la recolección de datos adecuados al uso y consumo de energía de dicha institución. Esta línea debe registrarse y mantenerse y debe ser ajustada o revisada cuando ocurre alguna de las siguientes situaciones:

- Los indicadores de desempeño energético ya no reflejan el uso y consumo de la energía de la organización.
- Se han realizado cambios importantes en los procesos, patrones de operación o sistemas de energía.
- Cuando se establece un método predeterminado.

Por otra parte, la línea meta energética se obtiene de graficar los mejores indicadores energéticos de la empresa y compararlos con la línea base, la diferencia entre los términos lineales de ambas líneas nos ofrece el potencial de ahorro que puede tener la institución con la aplicación de la norma.

## **1.6 Influencia de las condiciones ambientales en el funcionamiento de una enfriadora de agua**

Los equipos de acondicionamiento de aire están diseñados de manera que funcionan a su máxima capacidad y eficiencia (Montero, 2013) bajo un conjunto de condiciones de diseño de temperatura y humedad relativa.

- El salto de temperatura entre la temperatura de evaporación y de condensación es un factor muy importante:
  - a) Por cada grado centígrado que disminuye el salto de temperatura, se produce una reducción del consumo de energía y también aumenta la capacidad frigorífica.
- La temperatura de condensación:
  - a) El COP depende de las temperaturas de condensación, de forma que, al disminuir la temperatura y presión de condensación, aumenta el COP, aunque también depende de la eficiencia del compresor y de la elección del refrigerante (pero ya se vio que actualmente, tal vez priman otras cuestiones al respecto, como son seguridad y consideraciones medioambientales)

- b) Una disminución en la temperatura de condensación reduce la energía consumida. Por el contrario, una temperatura de condensación elevada, disminuye la capacidad frigorífica al mismo tiempo que aumenta la potencia consumida por el compresor.

Una reducción de la temperatura de condensación se consigue:

- Cuando la temperatura ambiente disminuye.
  - Cuando se instalan condensadores más grandes y más eficientes.
  - Si se realiza un adecuado mantenimiento del condensador. Un condensador recién salido de fábrica, de eficiencia normal, hará que el refrigerante condense a una determinada temperatura, pero a medida que este envejece y se acumula suciedad en el serpentín exterior y la eficiencia del condensador disminuye, el refrigerante condensará a una temperatura superior, de ahí la importancia de realizar un adecuado mantenimiento en los intercambiadores.
- La temperatura de evaporación:
    - a) Las variaciones de capacidad de un compresor, debidas a los cambios de temperatura de aspiración, son principalmente resultado de la diferencia de volúmenes específicos que se tienen en el vapor a la entrada del compresor. A mayor temperatura de vaporización, mayor presión vaporización y menor volumen específico en la aspiración. Por la diferencia existente en el volumen específico en la aspiración, por cada carrera de compresión del pistón, la masa de refrigerante comprimida aumentará a medida que aumenta la temperatura de aspiración. La variación real en la capacidad del compresor debido a cambios de temperatura en la aspiración es mayor que la indicada por los cálculos teóricos, y esto es debido a que la relación de compresión varía al cambiar la temperatura de aspiración.
    - b) Cuando aumenta la temperatura de vaporización permaneciendo constante la temperatura de condensación, la relación de compresión disminuye y se mejora el rendimiento volumétrico.



- c) Al aumentar la temperatura de evaporación, disminuye el consumo de energía.
- d) La temperatura de evaporación depende de la eficacia del evaporador y de la válvula de expansión.

Un aumento de temperatura de evaporación se puede conseguir:

- Elevando la temperatura del fluido que se evapora.
- Instalando evaporadores más grandes y más eficientes, tanto como sea, económicamente rentable.
- Realizando un adecuado mantenimiento del evaporador y la válvula de expansión
- Si la temperatura exterior aumenta, el equipo estará trabajando con una presión de descarga superior y su capacidad se verá reducida. La capacidad varía también cuando disminuye la temperatura ambiente, o cuando varía la humedad relativa. Cualquier circunstancia que aumente la cantidad de calor que se absorbe en el sistema tendrá la consecuencia de aumentar las presiones del sistema. El condensador libera calor hacia el exterior. Cualquier circunstancia que impida que el condensador libere ese calor tendrá la consecuencia de aumentar las presiones en el sistema.
- La válvula de expansión puede tener una influencia importante en el rendimiento; ésta controla el caudal de refrigerante en el evaporador para mantener el nivel de sobrecalentamiento a la salida del mismo de manera que se garantice que todo el líquido se ha evaporado antes de entrar al compresor.

Tanto la refrigeración del compresor como la eficiencia energética del sistema puede mejorarse usando válvulas de expansión electrónica. La apertura de la válvula se controla electrónicamente y así, se controla con mayor precisión el grado de sobrecalentamiento.

- Un diseño eficiente generalmente consiste en compresores múltiples, para así poder cubrir todas las demandas de potencia de manera efectiva y evitar el funcionamiento a carga parcial en la medida de lo posible. Muy a menudo es posible mejorar la eficiencia, seleccionando varios compresores de menor tamaño y con distintas capacidades.

- Los condensadores evaporativos son la base de los sistemas de refrigeración más eficientes ya que la temperatura de condensación puede alcanzar prácticamente la temperatura ambiente de bulbo húmedo. Mediante una torre de enfriamiento también se alcanzan temperaturas de condensación muy bajas, siendo los condensadores de aire en este caso los menos eficientes, produciendo temperaturas de condensación del orden de 10 a 15 ° C por encima de la temperatura ambiente de bulbo seco.
- A carga parcial, la temperatura de evaporación aumenta y la temperatura de condensación disminuye. Por tanto, el EER a carga parcial supone una compensación entre el aumento de eficiencia debido al menor salto de temperatura y una disminución de la eficiencia debido al aumento de las pérdidas, lo cual es especialmente significativo en el caso de compresores de tornillo y centrífugos y en menor medida para los alternativos.

### **1.7 Días grados y temperatura base**

Los Días Grados (DG) son un parámetro importante a considerar para la definición de las estrategias de diseño o los requerimientos de climatización (natural o artificial) y, por lo tanto, la demanda de energía de una edificación y se pueden definir como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento (en grados centígrados o Kelvin), necesarios para alcanzar la zona de confort, acumulados en un cierto período de tiempo (generalmente un mes; aunque podrían ser semanales, o incluso horarios). Esta temperatura de confort es la temperatura base (TB) fijada. En (Assawamartbunlue, 2013) se realiza un estudio en cuatro ciudades de Tailandia teniendo en cuenta los grados horas, mensuales y anuales, durante un amplio período de tiempo que permitió obtener con mayor precisión la temperatura base para la implementación de método de eficiencia energética en esa nación asiática.

Los DG son muy importantes para calcular la demanda energética, tanto en frío como en calor, de un determinado sistema de climatización. Por ello es imprescindible conocer, usar y saber calcular este parámetro climático.

La variable DG se utiliza para cuantificar lo frío o cálida que es la temperatura exterior de un día respecto a una temperatura de base determinada, que es aquella en la que no se necesita climatizar los espacios. En la mayoría de estudios que utilizan esta variable, la temperatura exterior del aire que se tiene en cuenta es la temperatura media diaria, siempre que la disponibilidad de datos lo permita. De hecho, en algunos estudios se realizan estimaciones a partir de temperaturas medias mensuales (Molina, Velaverde, Borroto, Santiesteban, & Monteagudo, 2017)

Los DG cuantifican la discrepancia o distancia entre la temperatura ambiente representativa de un período de tiempo y una cierta temperatura de referencia.

Los grados de un período determinado de tiempo (una semana, un mes, etc.) son la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura fija o base de los DG y la temperatura media del día. Cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base, obtendremos los DG de calentamiento; si, por el contrario, esa temperatura media diaria es superior a la base, obtendremos los DG de enfriamiento. Así que podemos tener dos tipos de DG: de calentamiento o de enfriamiento.

Este indicador climático es utilizado por normas de varios países para clasificar el clima para uso en eficiencia energética, limitar las cargas térmicas en refrigeración de los edificios, facilitar la determinación de cargas térmicas anuales o mensuales en refrigeración, entre otros.

Los DG de calefacción constituyen una herramienta muy útil para tomar en cuenta las necesidades de conservación de energía de una localidad. Cuando se quiere utilizar los recursos energéticos renovables para el acondicionamiento térmico de edificios, es necesario contar con un balance térmico ajustado, de manera que el costo de los sistemas solares no sea excesivo y a la vez, sea suficiente para cubrir las necesidades de calefacción.

La literatura reporta varios métodos de cálculo de los grados-día mensuales con temperatura base variable, seleccionar uno u otro depende fundamentalmente de los parámetros climatológicos y de si está disponible o no esta información para una determinada región (Assawamartbunlue, 2013).

## CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se planteará la propuesta de métodos a utilizar en el estudio, en el que se incluyen las características del local, una caracterización energética y la obtención del indicador energético.

### 2.1 Caracterización de la instalación objeto de estudio

La investigación se destina a un hotel 5 estrellas perteneciente a la cadena Cubanacan, ubicado en el Km 15 de la autopista Varadero, Matanzas, Cuba. La misma cuenta con 404 habitaciones y 500 trabajadores.

En un inicio la capacidad instalada en el hotel asciende a 3345,7 KWH, (kilo watt horas) y el subsistema de clima tiene instalado 1030,42, KWH lo cual representa el 30,80 % del total.

La instalación cuenta con:

1. Un sistema centralizado conformado por dos enfriadoras de agua SMARTD con condensadores por torre de enfriamiento de cartucho.
2. 492 unidades terminales tipo fancoil en las habitaciones, oficinas y pequeñas áreas de servicio, con un consumo total de 54,12 KW.
3. 9 unidades terminales tipo manejadoras de aire en los diferentes restaurantes, sala de fiesta, piano bar, sala polivalente y cancha de squach con un consumo total de 24 KW.
4. 1 unidad enfriadora de agua tipo scroll con manejadora de aire para la climatización del gimnasio con capacidad de 35,17 KW y consumo total de 18 KW.
5. 5 acondicionadores de aire tipo split en diversos locales (inversiones posteriores a la inauguración del hotel) con un consumo de 8,75 KW.
6. 6 electro bombas centrífugas con velocidad variable para los circuitos secundarios de agua helada con un consumo de 89,4 KW.
7. 4 Electro bombas centrífugas para el circuito primario de agua helada con un consumo posible de 16.76 KW.

## 2.2 Determinación de la temperatura base y HDO-GDE como indicador de desempeño energético.

Este es un indicador que tiene en cuenta la influencia de la temperatura ambiente sobre el consumo de electricidad del sistema de climatización. Esta variable es la más importante en el consumo de energía eléctrica en un hotel turístico. Para ello se toma la temperatura base y se le sustrae a la temperatura ambiente obteniéndose una medida de cuánto estuvo la temperatura exterior por encima de la temperatura de confort.

Para la obtención del indicador de desempeño energético HDO-GDE, es necesario tanto el cálculo de los grados días de enfriamiento (DGE), como de la temperatura base  $T_b$ . Para el cálculo de los DGE y de la temperatura base ( $T_b$ ) se utilizó la metodología de (Krese, Prek\*, & Butala, 2012).

$$DGE = \sum_1^n (T - T_b) \quad (2.1)$$

Dónde:

$n$ : número de días del mes analizado.

$T$ : temperatura media diaria.

$T_b$ : temperatura base.

Luego multiplicando el valor de GDE por HDO se obtuvo el indicador HDO-GDE.

$$HDOGDE = HDO * GDE \quad (2.2)$$

Para el desarrollo del método de los GDE es necesario determinar la  $T_b$ , tal como se aprecia en la primera expresión. Para el cálculo de la  $T_b$ , se tuvo en cuenta el método de la línea de operación, por considerarse más práctico en cuanto a la disponibilidad de datos.

Según (Riverón, 2017) el método para la estimación de la  $T_b$  se desarrolla en una hoja electrónica de cálculo Excel. Primeramente, se construye una tabla con los datos del consumo diario de electricidad, la temperatura promedio diaria y los GDE para un rango de  $T_b$  entre 15-23°C en el año(s) correspondiente. Posteriormente, se ajustan a un polinomio de segundo grado los datos del consumo diario de electricidad y los valores de los GDE correspondientes al rango de  $T_b$ . Finalmente, se selecciona la  $T_b$  del polinomio

que presenta el valor del término cuadrático más cercano a cero para cada año, tal como plantea (Krese et al., 2012).

### **2.3 Herramientas que permiten el control y monitoreo del consumo energético de las enfriadoras de agua.**

#### **➤ Gráfico de Consumo y Producción en el Tiempo (E – P vs T)**

Según (Borroto & Montegudo, 2006) consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo (figura #3). El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos.

#### Utilidad de los gráficos E–P vs T

- ✓ Muestran períodos en que se producen comportamientos anormales de la del consumo energético con respecto a la variación de la producción.
- ✓ Permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos.

#### ¿Cómo preparar un gráfico E–P vs T?

1. Se registran los valores de consumo energético y de producción asociada a los mismos en periodos de tiempos homogéneos (día, mes, año, etc.)
2. Se grafican en un diagrama de coordenadas x-y la curva de variación en el tiempo de la producción y del consumo. En el caso que la escala de valores de producción y consumo sea muy diferente, será necesario realizar un gráfico de 2 ejes del tipo x, y1, y2.
3. Se comparan las tendencias de variación de la producción en cada periodo (de un día a otro, de un mes a otro, etc.) con las tendencias de variación del consumo y se identifican los periodos donde ocurren variaciones anormales

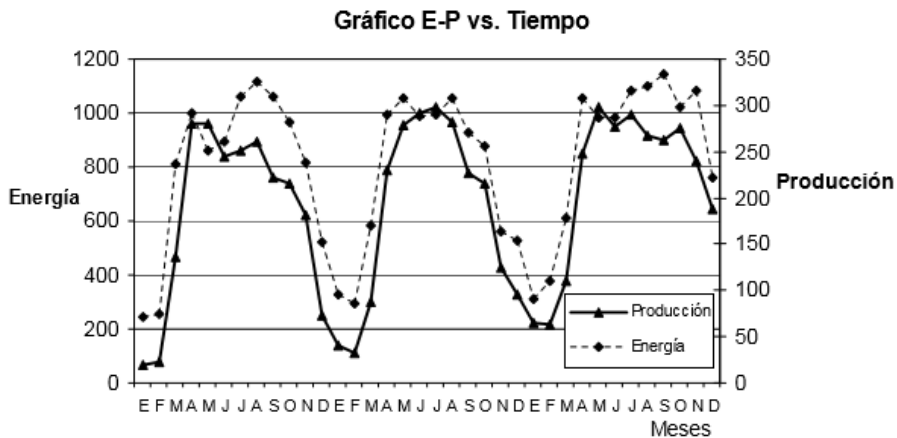


Figura # 3: Gráfico de Consumo y Producción en el Tiempo (E – P vs T)

Variaciones anormales en un gráfico E–P vs. T

Generalmente debe ocurrir que un incremento de la producción produce un incremento del consumo de energía asociado al proceso y viceversa.

Comportamientos anómalos son:

- ✓ Incrementa la producción y decrece el consumo de energía.
- ✓ Decrece la producción y se incrementa el consumo de energía.
- ✓ La razón de variación de la producción y el consumo, ambos creciendo o decreciendo, son significativos en el período analizado.

El gráfico E–P vs. T puede acompañarse de una tabla de variación relativa de la producción y el consumo (figura # 4) en el tipo que permite la evaluación numérica de las anomalías descritas.

La tabla se confecciona a partir de los datos obtenidos de la siguiente forma:

**Tabla numérica del gráfico E-P vs. T**

Período	Consumo	% variación del consumo	Producción	% variación de la producción	Comportamiento

Figura # 4: Tabla de variación relativa de la producción y el consumo.

Donde:

Período = Es el tiempo en que se mide el consumo y la producción: día, semana, mes, año, etc.

Consumo = El valor del consumo de energía en las unidades del portador energético que se evalúa.

% variación del consumo =  $(\text{valor anterior} - \text{valor actual}) / \text{valor anterior} \times 100$ . El porcentaje de variación será negativo si se disminuye el consumo y positivo si se incrementa de un período a otro. El primer periodo no tiene valor anterior, por lo que se ignora el porcentaje de variación.

Producción = El valor de la producción de las unidades productivas.

% variación de la producción =  $(\text{valor anterior} - \text{valor actual}) / \text{valor actual} \times 100$ . Será negativo si se disminuye la producción y positivo si se incrementa. En el primer período se ignora el % de variación.

Comportamiento = Se escribe anómalo si los signos del % de variación del consumo y de la producción son diferentes. También se escribe anómalo si los signos son iguales pero los valores de los % son significativamente diferentes a las diferencias medias.

Uso del gráfico E – P vs. T para identificar factores que influyen en el consumo.

- Seleccionar indicadores cuantitativos y cualitativos de producción que pueden influir en los consumos.
- Recopilar los datos de esos factores en los periodos que se analizan en el gráfico.
- Comparar las variaciones de esos factores individualmente y de combinaciones de ellos, con las variaciones que ocurren en los comportamientos anómalos.
- Verificar las conclusiones obtenidas en los periodos no anómalos.

➤ **Diagramas de Consumo – Producción (E vs. P)**

Para las empresas industriales y de servicios, realizar un diagrama de dispersión de la energía usada por mes u otro periodo de tiempo con respecto a la producción realizada o



los servicios prestados durante ese mismo periodo, revela importante información sobre el proceso.

Este gráfico de E vs. P (figura # 5) puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. Por ejemplo: un hotel turístico grafica el consumo de electricidad versus cuartos-noches ocupados(Borroto & Montegudo, 2006).

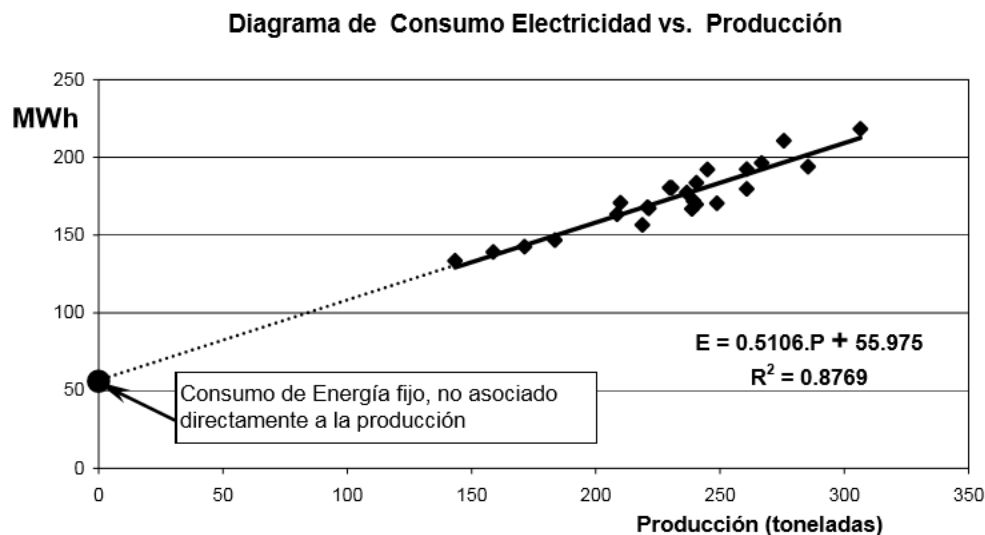


Figura # 5: Diagramas de Consumo – Producción (E vs. P).

#### Utilidad de los diagramas E vs. P

- Determinar en qué medida la variación de los consumos energéticos se deben a variaciones de la producción.
- Mostrar si los componentes de un indicador de consumo de energía están correlacionados entre sí, y, por tanto, si el indicador es válido o no.
- Establecer nuevos indicadores de consumos o costos energéticos.
- Determinar la influencia de factores productivos de la empresa sobre los consumos energéticos y establecer variables de control.
- Identificar el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.
- Determinar cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción.

### ¿Cómo realizar un gráfico E vs. P?

1. Recolectar los datos de consumo de energía y producción asociada a ellos para el mismo periodo de tiempo seleccionado (día, mes, año, etc.).
2. Graficar los pares (E, P) en un diagrama X, Y. En el eje Y se ubica la escala de consumo energético y en el eje X la escala de producción.
3. Utilizando el método de los mínimos cuadrados o algún paquete estadístico, determinar el coeficiente de correlación entre E y P. Trazar la recta que más ajuste a los puntos situados en el diagrama o línea de tendencia.
4. Calcular analíticamente la pendiente y el intercepto de la recta, expresando su ecuación de la forma:

$$E = mP + E_o \quad (2.3)$$

Donde:

E = consumo de energía en el periodo seleccionado

P = producción asociada en el periodo seleccionado

m = pendiente de la recta que significa la razón de cambio medio del consumo de energía respecto a la producción.

E<sub>o</sub> = intercepto de la línea en el eje Y, que representa la energía no asociada directamente al nivel de producción.

mP = es la energía utilizada en el proceso productivo.

### Uso del diagrama E vs. P para la reducción y control de los consumos energéticos.

- Caracterizar la situación actual de los consumos energéticos por portadores fundamentales, determinando la producción asociada (o producción equivalente asociada) significativa, el porcentaje de energía no asociada a la producción y los posibles problemas que afectan estos parámetros.
- Controlar periódicamente el porcentaje de energía no asociada a la producción por tipo de portador.

- Establecer metas y planes para reducir la energía no asociada a la producción por tipo de portador.
- Si existen puntos por encima y por debajo de la recta de ajuste, para un mismo valor de producción, identificar los factores productivos que han provocado ese comportamiento y establecer conclusiones acerca de su influencia en los consumos.

➤ **Diagrama Índice de consumo – Producción (IC vs. P)**

Este diagrama se realiza después de haber obtenido el gráfico E vs. P con un nivel de correlación significativo.

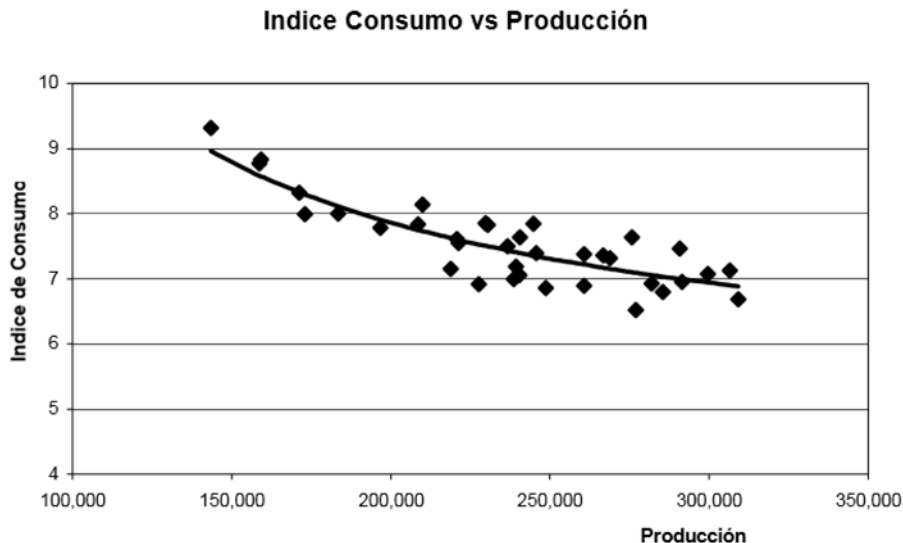
La expresión de la función  $IC = f(P)$  se obtiene de la siguiente forma:

$$E = mP + E_0 \quad (2.4)$$

$$IC = \frac{E}{P} = m + \frac{E_0}{P} \quad (2.5)$$

El gráfico IC vs. P es una hipérbola equilátera, con asíntota en el eje X, al valor de la pendiente m de la expresión  $E = f(P)$ .

A continuación, se presentan dos gráficos reales de IC vs. P, en los que se observa la influencia del nivel de producción sobre el índice de consumo.



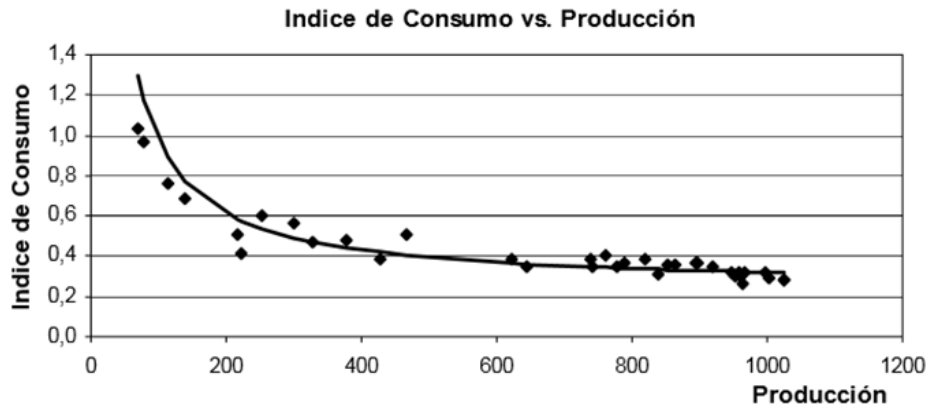


Figura # 6: Gráficos IC vs. P.

Los gráficos anteriores muestran como el índice de consumo aumenta al disminuir el nivel de la producción realizada. En la medida que la producción se reduce debe disminuir el consumo total de energía, como se aprecia de la expresión  $E = f(P)$ , pero el gasto energético por unidad de producto aumenta. Esto se debe a que aumenta el peso relativo de la energía no asociada a la producción respecto a la energía productiva. Si la producción aumenta, por el contrario, el gasto por unidad de producto disminuye, pero hasta el valor límite de la pendiente de la ecuación  $E = f(P)$ . En cada gráfico IC vs. P existe un punto donde comienza a elevarse significativamente el índice de consumo para bajas producciones. Este punto se puede denominar punto crítico. Producciones por encima del punto crítico no cambian significativamente el índice de consumo; sin embargo, por debajo de punto crítico este se incrementa rápidamente.

El gráfico IC vs. P es muy útil para sistemas de gestión energética y estandarizar procesos productivos a niveles de eficiencia energética superiores.

Valores de IC por debajo de la curva que representa el comportamiento del índice durante el periodo de referencia comparativa, indican un incremento de eficiencia del proceso; en el caso contrario existe un potencial de disminución del índice de consumo igual a la diferencia entre el IC real (sobre la curva) y el IC teórico (en la curva) para igual producción. También se pueden establecer sobre este gráfico las metas de reducción del índice proyectadas para el nuevo período e ir controlando su cumplimiento (figura # 6).

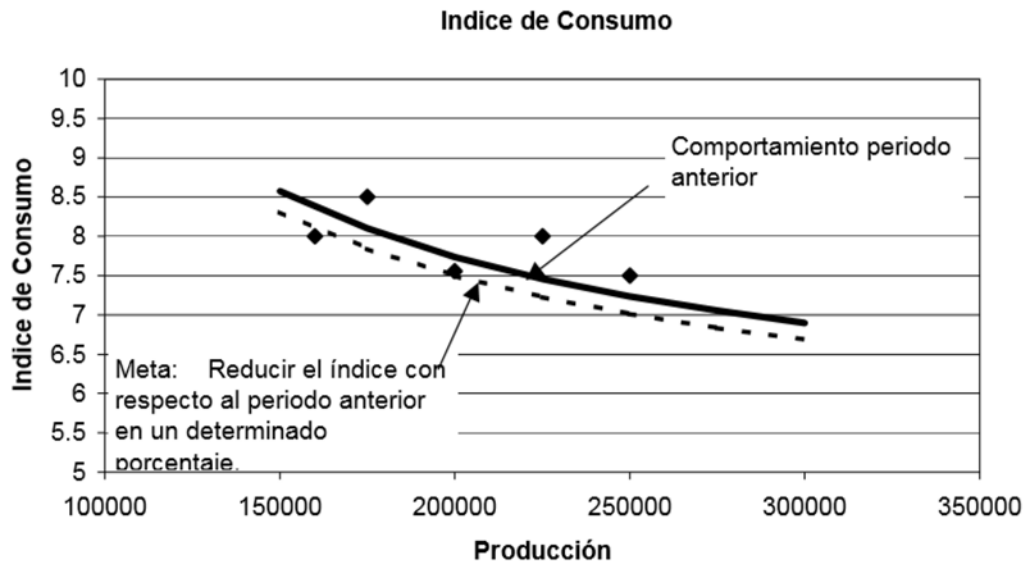


Figura # 6: Gráfico IC vs. P, metas de reducción del índice.

#### Utilidad del diagrama IC vs. P

- Establecer metas de índices de consumos en función de una producción planificada por las condiciones de mercado.
- Evaluar el comportamiento de la eficiencia de la empresa en un periodo dado.
- Determinar el punto crítico de producción de la empresa o de un equipo y planificar estos indicadores en las zonas de alta eficiencia energética.
- Determinar factores que influyen en las variaciones del índice de consumo a nivel de empresa, área o equipo.

#### ¿Cómo elaborar un gráfico IC vs. P?

1. Se determina y traza la curva teórica  $IC = f(P)$  a partir de la expresión  $E = f(P)$ .
2. Se determinan los pares de datos reales (E/P, P) de los registros de datos de E y P utilizados para realizar el diagrama E vs. P.
3. Se dibujan sobre el diagrama IC vs. P los pares de datos (E/P, P).

#### Uso del diagrama IC vs. P para la reducción y control de los consumos energéticos.

- Caracterizar el nivel de eficiencia con que un trabajo en el periodo evaluado al comparar los pares reales (E/P, P) sobre el diagrama con la curvatura de referencia.

- Comprobar y determinar los índices de consumo por portador energético de la empresa q planificar para un nivel de producción previsto.
- Determinar las metas de índices de consumo para los diferentes niveles de producción.
- Determinar el punto crítico de producción para la programación de la producción en la empresa, áreas o equipos. Conocer la zona de producción de alta y baja eficiencia energética.
- Identificar factores que influyen en el incremento o disminución del índice de consumo de la empresa, área o equipo.
- Evaluar el nivel de eficiencia energética de la producción por portador energético a nivel de empresa, área o equipo.

Uso del diagrama IV vs. P para la identificación de factores que influyen en los índices de consumo.

1. Realizar la curva teórica IC vs. P y dibujar los pares (E/P, P) sobre el diagrama.
2. Identificar puntos con igual producción P, pero diferentes valores de IC.
3. Seleccionar indicadores de producción de la empresa que puedan influir sobre el índice de consumo. Ej.: productividad, rendimiento horario, interrupciones, rechazos, tipo de producciones, etc.
4. Evaluar, para los puntos que están por encima de la curva de referencia y los que están por debajo, la influencia de los indicadores de producción.
5. Obtener conclusiones acerca de la influencia de los indicadores de producción en el índice de consumo y verificar que estas sean válidas para el resto de los puntos del diagrama.

➤ **Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM)**

Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a una base de comparación dado. A partir de este gráfico también puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del periodo base hasta el momento de su actualización.

### Utilidad del gráfico de tendencia.

- Conocer la tendencia real de la empresa en cuanto a variación de los consumos energéticos.
- Comparar la eficiencia energética de periodos con diferentes niveles de producción.
- Determinar la magnitud del ahorro o gasto en exceso en un periodo actual respecto a un periodo base.
- Evaluar la efectividad de medidas de ahorro de energía.

### ¿Cómo realizar un gráfico de tendencia?

1. Seleccionar el periodo base de comparación.
2. Determinar para el periodo seleccionado la expresión de relación del consumo de energía y la producción asociada:  $E = mP + E_0$ , con un coeficiente de correlación significativo.
3. Recopilar los valores de E y P para el periodo actual donde se evaluará la tendencia.
4. Elaborar la tabla de valores de tendencia según el siguiente formato (figura # 7).

**Tabla de valores de tendencia**

Período (día, mes, año)	$E_a$	$P_a$	$E_T = m \times P_a + E_0$	$E_a - E_T$	Suma acumulativa [[ $(E_a - E_T)_i + (E_a - E_T)_{i-1}$ ]

*Figura # 7: Tabla de valores de tendencia.*

Donde:

$E_a$  = Energía consumida en el periodo actual.

$P_a$  = Producción realizada asociada a  $E_a$ , en el periodo actual.

$E_t$  = Energía consumida en el periodo base si la producción hubiera sido igual a la del periodo actual,  $P_a$ .

$m$  y  $E_0$  = Pendiente y energía no asociada directamente al nivel de producción de la ecuación de ajuste de la línea recta obtenida para el periodo seleccionado como base.

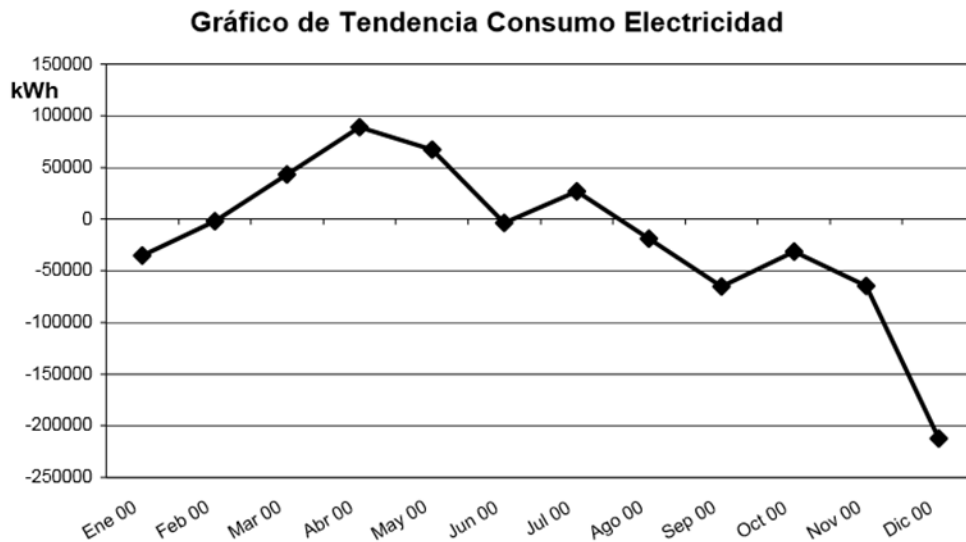
$(E_a - E_t)$  = Diferencia entre la energía consumidos en el periodo actual y la que se hubiera consumido en el periodo base para igual producción.

Suma acumulativa = Se acumula la suma de las diferencias. Es una suma algebraica (si un valor es negativo y otro positivo se resta). El primer periodo no tiene suma acumulativa; este coincide con el valor de la diferencia  $E_a - E_t$ .

5. Realizar el gráfico en un sistema de coordenadas X, Y. En el eje X se registran los periodos (día, mes, año) y en el eje Y el valor de la suma acumulativa (*Figura # 8*).

Uso del gráfico de tendencia para reducir y controlar los consumos energéticos:

- Monitorear los consumos energéticos con respecto al año o el semestre anterior a nivel de empresa, área o equipos altos consumidores.
- Evaluar la tendencia de la empresa en eficiencia energética.
- Determinar la efectividad de medidas de ahorro a nivel de empresa, área o equipo.
- Cuantificar las mejoras o disminuciones de la eficiencia energética a nivel de empresa, área o equipo.



*Figura # 8: Gráfico de tendencia.*



➤ **Indicador de Desempeño Energético Base 100.**

Según (Hernández, 2019) el indicador base 100 es una herramienta de gestión del área energética, que permite comparar el comportamiento de los resultados de consumo energético medidos en un proceso durante un período operativo, respecto a los valores de consumo energético base o de tendencia del mismo. Tomando como referencia de cumplimiento un valor adimensional de 100, matemáticamente se define como:

$$IDB_{100} = \frac{E_T}{E_R} * 100\% \quad (2.6)$$

Donde:

$E_T$  = Es la energía teórica consumida.

$E_R$  = es la energía real consumida.

Para realizar este gráfico (figura # 9) primeramente se calcula  $IDB_{100}$  y en un gráfico de líneas se ubican los datos obtenidos para cada mes. Luego se traza una línea que represente el 100% del indicador de eficiencia base 100 para el mismo período que se halló  $IDB_{100}$ . Ya representadas las dos líneas en el gráfico se podrá comparar como se desempeña dicho indicador en la instalación.

El indicador  $IDB_{100}$ , es una herramienta que representa en qué porcentaje el consumo de energía de un área, proceso o equipo, aumentó o disminuyó su desempeño energético, tomando como cumplimiento el valor 100. Cuando los valores de  $IDB_{100} > 100$ , hay una mejora del desempeño debido a que el consumo de energía fue inferior al de la línea de base para ese nivel de producción. Sin embargo, si  $IDB_{100} < 100$ , hay una disminución del desempeño debido a que el consumo de energía fue superior al de la línea de base para ese nivel de producción.

Para poder realizar con éxitos los procedimientos que describe esta norma Iso se necesita de un personal calificado que atienda la instalación y una serie de instrumentos de medición para la toma de parámetros de funcionamiento de dichas enfriadoras, por lo que el trabajo requerirá de instrumentación fiable y comprobación de su calibración cada cierto periodo

de tiempo. La ventaja que tienen estas enfriadoras es que en su *interface* o pizarra de comunicación podemos leer directamente todos los parámetros que se necesitan, incluso a cargas parciales minuto a minuto, debido al potente sistema de control de las mismas. Esto permitirá un gasto de tiempo ínfimo y no requerirá de un personal altamente calificado, además disminuyen los errores sistemáticos y casuales en las mediciones, otorgando una alta confiabilidad en los resultados que pudieran obtenerse.

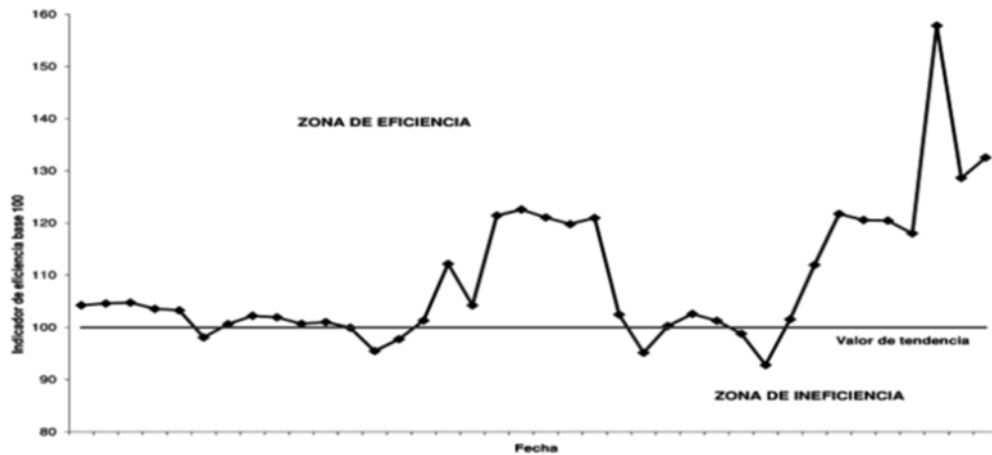


Figura # 9: Indicador de Desempeño Energético Base 100.

#### 2.4 Método para la determinación del ahorro energético de la instalación.

Para determinar el potencial de ahorro en un gráfico de dispersión se traza la línea base de energía con el consumo de energía mensual vs el indicador de producción. Posteriormente se utilizan los puntos que quedan ubicados por debajo de la línea base para trazar la línea meta, que representa el consumo que quiere lograr en el lugar donde se realiza el estudio. Luego restando los intercepto ( $E_0$ ) de las dos líneas se obtiene el potencial de ahorro.

También este gráfico permite determinar el porcentaje de energía no asociado directamente a la producción ( $E_{na}$ ) mediante la siguiente expresión:

$$E_{na} = \frac{E_0}{E_m} * 100\% \quad (2.7)$$

Donde:

Em: es el valor del consumo medio de energía determinado como el valor de la línea central del gráfico de control de consumo del portador energético correspondiente.

El valor del porcentaje de energía no asociada directamente al nivel de producción debe ser tan pequeño como sea posible. Este valor varía con el tipo de producción y de proceso tecnológico utilizado para una producción dada. Constituye un parámetro a monitorear y controlar.

En el caso de una enfriadora de agua, ubicada en un sistema centralizado de aire acondicionado, el índice de consumo es el cociente de la extracción de calor realizada por la máquina y la energía eléctrica consumida para realizar dicha extracción, este consumo se tabula para conocer la dispersión que presenta, esto no es más que el coeficiente de prestaciones o de funcionamiento de la misma y se expresa como:

$$COP = \frac{\textit{kW frío producidos}}{\textit{kW de potencia consumida}} \quad (2.8)$$

No hay duda que, la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> es uno de los aspectos más positivo de este tipo de tecnologías, sobre todo si se comparan con otras formas de generación eléctrica basadas en la quema de combustibles fósiles. Más que un preocupante panorama, es ya una amenaza para la vida, las tendencias en el aumento de las temperaturas medias en el mundo y la crisis climática global, las cuales están mostrando sus impactos y el archipiélago cubano no se encuentra exento de este proceso. Papel protagónico importante en este resquebrajamiento de la salud

Cuba, tiene alta dependencia de los combustibles fósiles, lo que hace del sector eléctrico el responsable de aproximadamente el 40 % de las emisiones totales de gases contaminantes en el país y a su vez que ocupe el quinto lugar entre países del mundo que más CO<sub>2</sub> por kWh generado emite, según los datos de la Agencia Internacional de Energía.

La producción de 1 kWh de electricidad se puede hacer utilizando diferentes fuentes de energía, cada fuente puede ser caracterizada por un factor que indica cuántos kg de CO<sub>2</sub> se emiten a la atmósfera para producir 1 kWh de electricidad. En (Díaz, Monteagudo, Valdivia, & Miranda, 2016)se plantea que este factor es de 0.91 Kg CO<sub>2</sub>/kWh.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó una revisión bibliográfica, tanto a nivel nacional como internacional, sobre los temas que abordan a los indicadores de eficiencia energética; demostrando así que estos son un excelente punto de partida para medir el desempeño energético de las instalaciones.
2. Se planteó una metodología aplicable al sistema de climatización del hotel que puede ser extendida a cualquier instalación del polo turístico de Varadero para el monitoreo y análisis del desempeño energético de las enfriadoras de agua.
3. La mayoría de las herramientas sugeridas son de utilidad para los aspectos fundamentales de los requisitos de la planificación energética, y tratan de cubrir de forma general la diversidad de situaciones organizacionales que puedan existir en la práctica.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar estudios como este de manera mensual durante varios años para así evaluar la gestión energética que se realiza.
2. Implementar estas herramientas, no solo a las enfriadoras, sino al resto de portadores energéticos de la instalación.
3. Extender este método de monitoreo de eficiencia energética basado en la norma ISO 50001-2011 en los demás hoteles del polo turístico de Varadero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRI. (2018). Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle *AHRI Standard 551/591*.
- Alvarez, G. (2013). Energía en Edificaciones. *Revista Mexicana de Física*, 59(2), 44-51.
- Assawamartbunlue, K. (2013). An Investigation of Cooling and Heating Degree-Hours in Thailand. *Journal of Clean Energy Technologies*, 1(2).
- Borroto, A. E., & Montegudo, J. P. (2006). *Gestión y economía energética* Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos.
- Chillers, aspectos técnicos. (2017). *Revista Cero Grados*.
- Corporation, Y. I. (2004). Chiller- Plant Energy Performance.
- Correa, J., Borroto, A. E., Alpha, M., González, R., Curbelo, M., & Díaz, A. M. (2014). Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001:2011 *Ingeniería Energética*, 35(1), 38-47.
- Díaz, Y., Montegudo, J. P., Valdivia, Y., & Miranda, Y. (2016). Feasibility Evaluation of Two Solar Cooling Systems Applied to a Cuban Hotel. Comparative Analysis. *Ingeniería Energética*, 37(1), 35-44.
- Hernández, O. (2019). *Aplicación de herramientas para sistemas de gestión de energía acorde a la Norma ISO 50001 :2011 en el Hotel Iberostar Laguna Azul*. (Trabajo de Diploma), Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Matanzas.
- Hitchin, R. (2015). Monthly air-conditioning energy demand calculations for building energy performance rating. *Building Services Engineering Research and Technology*. doi:10.1177/0143624415605625
- Krese, G., Prek\*, M., & Butala, V. (2012). Analysis of Building Electric Energy Consumption Data Using an Improved Cooling Degree Day Method. *Journal of Mechanical Engineering*, 58(2), 107-114. doi:10.5545/sv-jme.2011.160
- Lamas, J. L. (2018). Índices energéticos en enfriadoras de agua para fines de confort.
- Molina, A., Velaverde, H. R., Borroto, A. E., Santiesteban, C. E., & Montegudo, J. P. (2017). Nuevos índices de consumo energético para hoteles tropicales *Revista de Ingeniería Energética*, 38(3), 198-207.

- Montelier, S. (2008). *Reducción del consumo de energía en instalaciones con sistemas de climatización centralizados todo-agua a flujo constante*. (Doctorado), Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cienfuegos, Cuba.
- Montelier, S., Borroto, A., Armas, M. d., & Gómez, J. (2010). Estrategias operacionales para el ahorro de energía en sistemas centralizados de climatización por agua helada de hoteles turísticos. *Retos Turísticos*, 9(1).
- Montero, R. (2013). *Procedimiento para la optimización energética de la operación de los sistemas de climatización centralizados todo-agua en hoteles*. Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Retrieved from <http://eduniv.mes.edu.cu>
- Naranjo, I., & Nieto, A. Nueva generación de compresores centrífugos magnéticos. *MundoHVACR*.
- NC-ISO. (2011). *Sistemas de Gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso*. In.
- Osma, G. A., & Ordóñez, G. (2010). Desarrollo sostenible en edificaciones. *UIS Ingenierías*, 9(1), 103-121.
- Pérez, J. C. (2016). *Implementación de la Etapa de Planificación Energética basado en la NC-ISO 50001 del 2011 en el Centro de Instrucción Provincial "Protesta de Jarao"*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara. Retrieved from <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/6518>
- Pineda, F. M. (2019). *Determinación del índice de consumo energético para las enfriadoras del hotel MGM Muthu Playa Varadero* Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Matanzas.
- Riverón, Z. (2017). *Herramientas para el análisis del consumo eléctrico en el Hotel Royalton Hicacos teniendo en cuenta la norma NC ISO 50001: 2011*. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Matanzas.
- Therkelsen, P., Sabouni, R., McKane, A., & Scheihing, P. (2013). Assessing the Costs and Benefits of the Superior Energy Performance Program. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, Niagara Falls, NY*.