

PROPUESTA DE ÍNDICE DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO PARA ENFRIADORAS DE AGUA HELADA EN UN HOTEL DE PLAYA.

Leandro Rodríguez Fagundo¹, (leando.rodriguez@est.umcc.cu), Universidad de Matanzas.

Resumen

Este documento describe la obtención de indicadores de desempeño energético para unidades enfriadoras de agua, en el hotel MGM Muthu Playa Varadero en Cuba. Se aplicaron diversas herramientas como determinación de los Días Grado de Enfriamiento, obtención de la Temperatura Base, el Índice de Consumo, se ofrecen gráficos de Energía Producción contra el Tiempo, Línea Base, entre otros. Los indicadores son implementados en Hojas de Cálculo del software Microsoft Excel La validación experimental del modelo se realiza con mediciones reales del consumo energético diario del hotel. Con la aplicación de estos métodos se logra obtener una correlación del 81,29%, considerada dentro del rango muy fuerte y es apreciable para estudios de comportamiento energético y para la implementación de estrategias avanzadas de control de las instalaciones hoteleras.

Palabras clave: Días Grado de Enfriamiento; Indicadores Desempeño Energético; Temperatura Base.

Summary

This document describes the obtaining of energy performance indicators for water chiller units at the MGM Muthu Playa Varadero hotel in Cuba.

Various tools were applied such as determining the Degree of Cooling Days, obtaining the Base Temperature, the Consumption Index, graphs of Energy Production versus Time, Baseline, among others are offered.

The indicators are implemented in Spreadsheets of Microsoft Excel software. The experimental validation of the model is carried out with real measurements of the hotel's daily energy consumption.

With the application of these methods it is possible to obtain a correlation of 81.29%, considered within the very strong range and is appreciable for studies of energy behavior and for the implementation of advanced control strategies of hotel facilities.

Keywords: Cooling Degree Days; Energy Performance Indicators; Base temperature.

El sector energético mundial se enfrenta a cuatro grandes retos: el cambio climático, la calidad y seguridad del suministro, el progreso de los mercados y la disponibilidad de fuentes de energía, en este sentido la eficiencia energética se convierte en un instrumento fundamental para dar respuesta a estos desafíos.

La eficiencia energética es un tema que preocupa a la comunidad científica, empresarial y gubernamental. Cuba es privilegiada en este aspecto, a diferencia de muchos países, el Gobierno y Estado cubanos asume el tema como prioridad, concibe que es imprescindible realizar una adecuada gestión energética en las organizaciones, lo cual se demuestra con la aprobación en el VII Congreso del Partido de los lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución (2017), específicamente en los artículos 201, 204, 206, 207 en los que se declara que se debe mantener una política activa en el acomodo de la carga eléctrica, que disminuya la demanda máxima y reduzca su impacto sobre las capacidades de generación; se indica acelerar el cumplimiento del Programa para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía; exige concebir las nuevas inversiones, el mantenimiento constructivo y las reparaciones capitalizables con soluciones para el uso eficiente de la energía, instrumentando adecuadamente los procedimientos de supervisión; además demanda perfeccionar el trabajo de planificación y control del uso de los portadores energéticos, ampliando los elementos de medición y la calidad de los indicadores de eficiencia e índices de consumo establecidos.

Como resultado de una política inteligente para la obtención directa de moneda libremente convertible, el sector Turismo en Cuba es segundo en importancia económica y representa 83% de la electricidad respecto al total de actividades (Lapido et al., 2016), debido fundamentalmente a las elevadas temperaturas de nuestro clima tropical, lo cual trasmite la jerarquía en este sector de la eficiencia energética.

La gestión del uso de la energía en los edificios ha atraído mucha atención, estudios realizados han dado a conocer que, por ejemplo en la Unión Europea se considera que los edificios consumen el 40% de la energía total, la industria el 31% y el transporte el 29%. Así mismo se plantea que en un edificio el 37% del consumo energético corresponde a la calefacción, ventilación y aire acondicionado, le sigue la iluminación y el calentamiento del agua con 18% y 10% respectivamente. (Carrier, 2020)

Numerosas investigaciones realizadas en hoteles de los principales polos turísticos del país han validado la tesis que afirma que la climatización es la causante de alrededor del 60% del consumo de energía eléctrica total de un hotel, en coherencia con las estadísticas de los hoteles

de regiones tropicales, (Molina Gozález, Borroto Nordelo, & al, 2017).en este trabajo se proponen nuevos indicadores de desempeño energético para las enfriadoras del sistema de clima de un hotel de playa.

Tradicionalmente el denominado Coeficiente de funcionamiento del Ciclo (COP) y la Razón de Eficiencia Energética (*Energy Efficiency Ratio*, EER) se utilizan para determinar la eficiencia energética en los ciclos de refrigeración. Estos miden el funcionamiento en un solo punto, a plena carga térmica, y por lo tanto resultan menos representativos del consumo a lo largo de las estaciones. El ratio de eficiencia energética estacional (SEER), garantiza una evaluación precisa de la energía consumida realmente por las enfriadoras para aplicaciones de refrigeración con fines de confort considerando el perfil de variaciones estacionales en sus mediciones. (Carrier, 2020)

Para poder comparar la eficiencia energética de productos que utilicen diferentes fuentes de energía, los reglamentos de diseño ecológico introducen una nueva medida que se expresa en energía primaria: el η_s frío es el equivalente al SEER en aplicaciones de refrigeración y el η_s calor es el equivalente al SCOP en calefacción ambiental.

El SEER mide la eficiencia energética estacional de las enfriadoras calculando la relación entre la demanda anual de refrigeración y el consumo anual de energía. Tiene en cuenta la eficiencia energética alcanzada para cada temperatura exterior ponderando su impacto por el número de horas observado para cada una de estas temperaturas. Se emplean datos climáticos asociados a la norma. Para aplicaciones de baja temperatura, el indicador es el $SEER_{12/7^\circ}$, calculado a una temperatura de entrada/salida de agua de $12/7^\circ$, mientras que para aplicaciones de temperatura media el $SEER_{23/18^\circ}$ se calcula con condiciones de $23/18^\circ$. Es importante señalar que el $SEER_{23/18^\circ}$ puede ser hasta un 20 % mayor que el $SEER_{12/7^\circ}$ por lo que, al comparar la eficiencia energética estacional de las enfriadoras, es fundamental comprobar las condiciones del agua fría empleadas para determinar el SEER. Este indicador consigue una indicación más realista de la eficiencia energética real y el impacto medioambiental de los sistemas de refrigeración. El valor alcanzado por el SEER está directamente relacionado con su correspondiente valor E_{tas} frío.

El objetivo de un sistema de climatización es proporcionar un ambiente de confort, mediante el control simultáneo de la humedad, la temperatura, la limpieza y la distribución del aire en el ambiente, incluyendo además, el nivel acústico. En función del fluido encargado de compensar la carga térmica en el recinto climatizado se puede clasificar en sistema todo aire, todo agua, aire-agua, y en sistemas todo refrigerante; en función de las características constructivas y de

montaje en un sistema unitario o un sistema centralizado; y por la zona a que climatiza, distinguiendo así sistemas de una única zona y sistemas multizonas.

La obtención de estas condiciones se consigue gracias a un proceso de transferencia térmica.(McDowall, 2006). En la mayoría de las instalaciones hoteleras se emplean unidades centralizadas del tipo todo-agua para la climatización del aire, llamadas enfriadoras. Las enfriadoras de agua se basan en el ciclo frigorífico de compresión mecánica para la obtención del efecto frigorífico, fundamentado en el ciclo inverso de Carnot cuyos componentes básicos son un compresor, un evaporador, un condensador y un sistema de expansión. Los *chillers*, nombre por el que también se reconoce a las enfriadoras, son equipos de climatización muy usados en las instalaciones hoteleras, es un enfriador de líquido de expansión directa que enfría o calienta mediante el intercambio térmico. El agua que se quiere enfriar circula a través de un intercambiador donde transmitirá su calor al refrigerante que circula por el interior de los tubos, este al recibir el calor se evapora debido a sus propiedades, termo físicas. El refrigerante es extraído por el compresor y lo envía al condensador, en el compresor se eleva la temperatura del gas debido al proceso de compresión y del calor del motor del compresor y así el vapor saturado a la presión de evaporación pasa a vapor sobrecalentado a la presión de condensación. En el condensador el refrigerante regresa de nuevo al estado líquido mediante la cesión de calor a presión constante un medio externo (enfriamiento sensible + condensación), el refrigerante líquido a alta presión puede ser almacenado o enviado directamente a la válvula de expansión, en ella se disminuye la presión del refrigerante mediante una expansión adiabática e irreversible (isentálpica) desde líquido saturado o subenfriado y lo lleva a las condiciones de entrada del evaporador para un nuevo cambio de estado. Las capacidades de estos equipos oscilan entre 80TR (281,28 10^3 W) hasta 200TR (703,2 10^3 W), (Celsius, 2017).

El agua que sale del evaporador circula por el circuito hidráulico a cada uno de los *fan-coil* a una temperatura típicamente entre 4 y 7°C modificando así la temperatura ambiente a la cual afecta dicho *fan-coil*, y vuelve al evaporador para rectificar su temperatura de nuevo. Produciéndose un nuevo intercambio de temperatura entre el agua y el refrigerante para ser de nuevo distribuido por todas las unidades *fan-coil*. En conclusión un *Chiller* es como un climatizador convencional de expansión directa pero el condensador y evaporador están juntos en la misma máquina. El evaporador no enfría el agua a temperatura ambiente, sino que enfría el agua que proviene de circular por las unidades internas *fan-coil* para climatizar el ambiente (IsraelL, 2014.) El corazón del sistema de refrigeración por compresión mecánica es el compresor. (Carrier, 2020) (Quadri, 2001)

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: 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: 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. 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 o 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; 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. Cuando aumenta la temperatura de vaporización permaneciendo constante la temperatura de condensación, la relación de compresión disminuye y se mejora el rendimiento volumétrico. Al aumentar la temperatura de evaporación, disminuye el consumo de energía. 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.

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.

ISO 50004 y 50006 (ISO, 2012, ISO, 2014) proponen una guía para la implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión energética (SGE), y para el uso de líneas base de energía e indicadores de desempeño energético como una medida del desempeño energético. A partir de la disponibilidad de información estadística del sector turístico en Cuba se proponen los siguientes indicadores (Guerra Plasencia, 2016)

- Kilowatt hora/metros cuadrados totales (kWh/m²): Este es un indicador utilizado internacionalmente en todo tipo de edificación analiza el consumo eléctrico respecto a la superficie total del hotel.
- Kilowatt hora/metros cuadrados de zonas climatizadas (kWh/m²c): Este indicador refiere el consumo eléctrico total del hotel al área climatizada del mismo; considerando la importancia del consumo de climatización en este tipo de edificaciones.

- Kilowatt hora/número de habitaciones (kWh/H): Este indicador refiere el consumo eléctrico total del hotel al número de habitaciones disponibles (H), sin diferenciar entre las diferentes tipologías de estas (estándar, junior suite, suite o bungalós privados.)
- Kilowatt hora/Habitación Día Ocupada (kWh/HDO): Este indicador refiere el consumo eléctrico total del hotel a la variable de ocupación utilizada por el Mintur: Habitaciones Día Ocupadas (HDO).

Para la obtención de estos indicadores se debe establecer el intervalo de tiempo, estos pueden ser diarios, mensuales, anuales o establecer un periodo específico de interés como, por ejemplo, las temporadas alta y baja del turismo.

Los cálculos de la eficiencia energética de los edificios requieren de indicadores precisos sobre el rendimiento de los sistemas HVAC instalados. Estos indicadores deben ser representativos de su funcionamiento real a lo largo del año, así que deben medir el rendimiento de los equipos.

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 (Molina Gozález, Borroto Nordelo, & al, 2017). El índice de consumo, que se tiene en cuenta actualmente, depende solamente del consumo de energía por unidad de alojamiento rentada, o sea, kilo Watt hora por Habitación Día Ocupada.

Un indicador de gestión energética es la expresión cuantitativa del comportamiento y el desempeño de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, puede señalar una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según el caso. Los indicadores de desempeño energético son aquellos que se establecen con el fin de realizar un seguimiento, monitoreo y control del desempeño energético de determinado proceso, área o equipo (Riverón Puga, 2017). Sus características consisten en la simplicidad, la adecuación, la validez en el tiempo, la participación de los usuarios, la utilidad y la oportunidad. Se utilizan con el propósito de evaluar el desempeño energético en un período actual con respecto a un período de referencia (línea base) y determinar ahorros o sobreconsumos de energía y pronosticar el consumo de energía en un período futuro. (Borroto Nordelo, 2013)

Como ya se explicó anteriormente la temperatura ambiente es determinante en el consumo eléctrico de los sistemas HVAC. 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 (T_b) 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. 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 Gozález, Borroto Nordelo, & al, 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, se obtienen los DG de calentamiento; si, por el contrario, esa temperatura media diaria es superior a la base, se obtienen los DG 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.

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). Varios autores seleccionan 22°C como la T_b para el cálculo de los GDE y 18°C para los grados días de calentamiento. (Riverón Puga, 2017)

Indicador de desempeño energético HDO-DGE. Para su obtención 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 T_b se utiliza la metodología de (Gorazd Krese) variando en esta metodología la utilización de la temperatura, en vez de usar la temperatura media diaria se

utiliza la media máxima, debido a que presenta mayor índice de correlación que la temperatura media diaria.

$$DGE = \sum_1^n (T - T_b) \quad (1)$$

Donde:

n (número de días del mes analizado),

T (temperatura media máxima diaria),

T_b (temperatura base).

$$HDO - DGE = HDO * DGE \quad (2)$$

El gráfico de energía consumida contra producción (E vs. P) puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. El diagrama determina si el indicador es válido, debido a que muestra el nivel de correlación existente entre los componentes de un indicador de acuerdo con lo establecido, permite establecer nuevos indicadores, determina cuantitativamente el nivel de energía no asociada a la producción y por consiguiente el potencial de ahorro mediante la expresión (3)

$$E = mP + E_0 \quad (3)$$

Donde: E (consumo de energía en el período seleccionado), P (producción asociada en el período seleccionado), m (pendiente de la recta), E₀ (intercepto o energía no asociada a la producción), mP (energía utilizada en el proceso productivo).

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 queden 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 (E₀) 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:

$$E_{na} = (E_0/E_m) * 100\% \quad (4)$$

Donde:

E_m: 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 este caso 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. (5).

$$\text{COP} = Q_f/P_c \quad (5).$$

El Índice de Consumo - Producción (Ic vs P).se grafica una vez obtenido el gráfico de E vs. P y la ecuación número 3 con un nivel de correlación significativo ($R^2 > 0,75$). Se utiliza la metodología que aparece en (Borroto, 2006) para la confección del diagrama. El índice de consumo está definido por la siguiente expresión:

$$\text{IC} = E/P \quad (6)$$

Transformando la ecuación número 5 en función del índice de consumo se obtiene la expresión.

$$\text{Ica} = \text{Ic}/(\text{HDO} \cdot \text{GDE}) \quad (7)$$

Para construir este gráfico primeramente se debe hallar el coeficiente de índice de consumo (IC) que se calcula mediante la ecuación (6). Luego en un gráfico de dispersión se traza la curva utilizando los pares de datos.

Indicador de Eficiencia Base 100 (IDB 100) es una herramienta de gestión del área energética, el cual permite comparar el comportamiento de los resultados de consumo energético medidos en un proceso durante un periodo 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 (Del Pilar Castrillón & Ciro Quispe, 2013.)

$$\text{IDB 100} = (\text{Et}-100)/\text{Er} \quad (8)$$

Donde: ET (energía teórica consumida), Er (energía real consumida), IDB100 (indicador de base 100, expresado en %).

Para realizar este gráfico 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

Caso estudio.

Esta investigación se destina al hotel MGM Muthu Playa Varadero perteneciente a la cadena hotelera Gran Caribe con una dirección Mixta y operada por la Compañía Muthu bajo contrato de administración. Fue inaugurado el 13 de agosto de 1999 con categoría de cuatro estrellas. Se encuentra situado en Carretera "Las Morlas", Km. 12 ½, a 40 Km. del Aeropuerto Internacional de Varadero, cuenta de 385 habitaciones distribuidas en 2 bloques de 5 niveles, 192

habitaciones en el Bloque I “Sirena” y 193 habitaciones en el Bloque II “Carey”. Los bloques habitacionales y administrativos están climatizados por unidades *Fan Coils* y el resto de las áreas de cada objeto de obra climatizados con unidades manejadoras de aire. La instalación se encuentra trabajando con dos enfriadores de agua compacto con enfriamiento por aire, con recuperación de calor en un porcentaje del 20 %, concebida en circuito primario y secundario. Para el estudio se cuenta con las mediciones realizadas en la enfriadora en un intervalo de tiempo: las temperaturas del agua a la salida y entrada (la de retorno de los bloques de habitaciones) al evaporador, los valores de corriente y voltaje consumidos por la enfriadora, se toma de la base de datos del hotel los datos de las habitaciones ocupadas por días (HDO, y las temperaturas promedio diarias se obtienen de la Estación Meteorológica de Varadero. El caudal de agua en el evaporador es constante 100 m³/h (27,778 kg/s) y se considera calor específico del agua de 4,18 kJ/kg * °C, además el factor de potencia de los compresores es 0,92. Con estos valores se determina el calor cedido por el agua en el evaporador realizando un balance de energía en el mismo, la potencia eléctrica consumida por la enfriadora y la Razón de Eficiencia Energética. (Casamayor Sosa, 2018) (Pineda Averhoff, 2019) (Alvarez Fernández, 2020) (Molina Colomé, 2018)

Tabla 1. Razón de eficiencia energética de la enfriadora.

Fechas 2019	T _{ent} (°C)	T _{sal} (°C)	Q _o (kW)	U (V)	I (A)	N _c kW	EER
05/03/2019	12,2	8,8	394.781	387,667	274,333	169.467	2,32
12/03/2019	12,0	8,8	371.559	381,667	271,667	165.223	2,24
19/03/2019	12,2	8,9	383.169	388,667	272,667	168.872	2,27
26/03/2019	12,4	9,0	394.781	387,667	272,667	168.438	2,34
02/04/2019	12,4	9,0	394.781	380	276,667	167.529	2,35
09/04/2019	11,8	8,7	359.947	380	274,333	166.115	2,16
16/04/2019	12,4	8,6	441.225	382,333	282,667	172.212	2,56
18/04/2019	12,4	8,9	406.392	382,333	275,333	167.744	2,42
22/04/2019	12,5	9,1	394.781	396	272	171.638	2,30
26/04/2019	12,2	8,9	383.169	391	268	166.978	2,29
29/04/2019	12,5	8,8	429.614	387	285	175.754	2,44
02/05/2019	12,4	9,0	394.781	377	285	171.212	2,31

Fuente: elaboración propia.

Al construir el gráfico de dispersión se observa la correlación existente entre estos parámetros. Hay una pequeña dispersión con respecto a la línea de tendencia central. La variable de extracción de calor influye en un 62,27%, lo cual demuestra que éste método no debería usarse para evaluar el desempeño energético de la máquina, aunque posee una relación de consumo de energía contra producción en el rango fuerte, no supera el 75% que se exige.

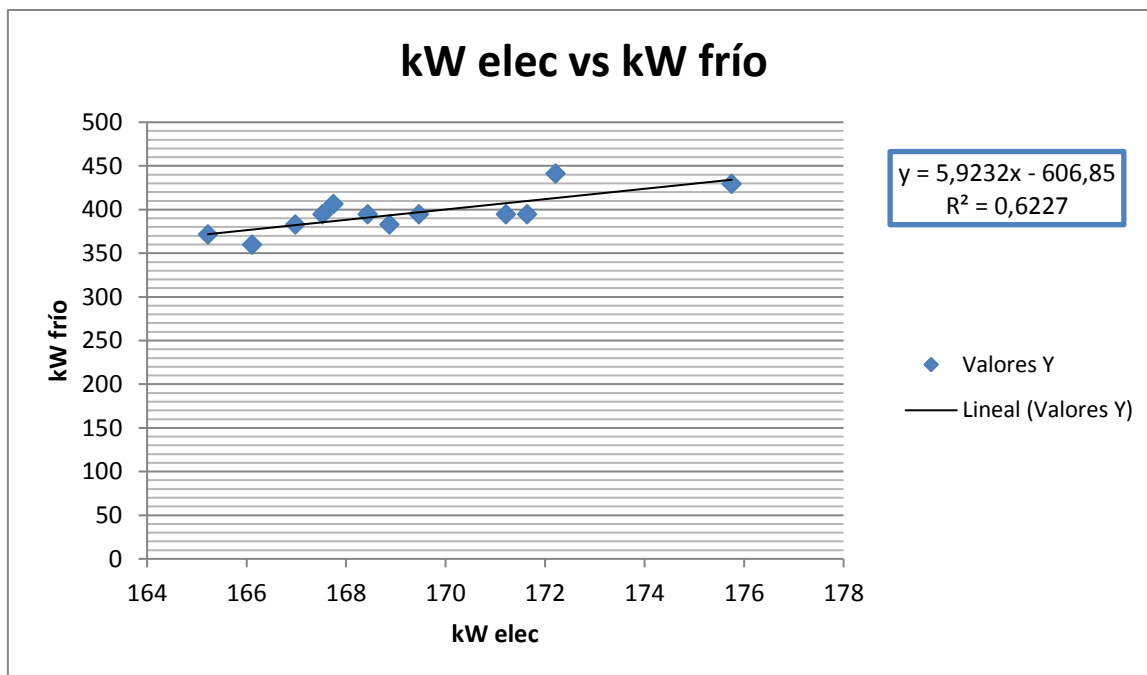


Figura.1. Diagrama de Potencia eléctrica vs Calor absorbido. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Determinación de la Temperatura Base.

Fechas	KWh	Tamb media	Días	DG tb=15	DG tb=16	DG tb=17	DG tb=18	DG tb=19	DG tb=20	DG tb=21	DG tb=22	DG tb=23	DG tb=24
05/03/2019	26133,2	25,6	7	93,2	85,2	77,2	69,2	61,2	53,2	45,2	37,2	29,2	21,2
12/03/2019	26933,4	24,0	7	104,7	97,7	90,7	83,7	76,7	69,7	62,7	55,7	48,7	41,7
19/03/2019	27223,4	28,2	7	86	79	72	65	58	51	44	37	30	23
26/03/2019	27494	28,9	7	111,1	104,1	97,1	90,1	83,1	76,1	69,1	62,1	55,1	48,1
02/04/2019	27443	30,4	7	96,4	89,4	82,4	75,4	68,4	61,4	54,4	47,4	40,4	33,4
09/04/2019	23492,2	31,4	7	95,8	88,8	81,8	74,8	67,8	60,8	53,8	46,8	39,8	32,8
16/04/2019	6802,9	31,9	2	24,6	22,6	20,6	18,6	16,6	14,6	12,6	10,6	8,6	6,6
18/04/2019	7820,2	32,1	4	51,6	47,6	43,6	39,6	35,6	31,6	27,6	23,6	19,6	15,6
22/04/2019	10730,3	31,5	4	55,3	51,3	47,3	43,3	39,3	35,3	31,3	27,3	23,3	19,3
26/04/2019	14486,7	29,5	3	44,3	41,3	38,3	35,3	32,3	29,3	26,3	23,3	20,3	17,3
29/04/2019	13659,1	26,9	3	44,8	41,8	38,8	35,8	32,8	29,8	26,8	23,8	20,8	17,8
02/05/2019	14569,9	31,4	4	60,9	56,9	52,9	48,9	44,9	40,9	36,9	32,9	28,9	24,9
06/05/2019	11483	28,8	3	40,1	37,1	34,1	31,1	28,1	25,1	22,1	19,1	16,1	13,1
09/05/2019	14511,8	28,0	5	73	68	63	58	53	48	43	38	33	28

Fuente: elaboración propia.

Se selecciona a 22 °C como la temperatura base por ser la recomendada por los varios autores (Riverón Puga, 2017). Luego multiplicando el valor de DGE por HDO se obtiene el indicador HDO-DGE.

Tabla 3. Obtención del indicador HDO*GDE.

Fechas	KWh	Tamb media	Días	DG tb=22	HDO	HDO*DG
05/03/2019	26133,2	25,6	7	37,2	1838	68373,6
12/03/2019	26933,4	24,0	7	55,7	1876	104493,2

19/03/2019	27223,4	28,2	7	37	2207	81659
26/03/2019	27494	28,9	7	62,1	2160	134136
02/04/2019	27443	30,4	7	47,4	1990	94326
09/04/2019	23492,2	31,4	7	46,8	2134	99871,2
16/04/2019	6802,9	31,9	2	10,6	629	6667,4
18/04/2019	7820,2	32,1	4	23,6	1038	24496,8
22/04/2019	10730,3	31,5	4	27,3	784	21403,2
26/04/2019	14486,7	29,5	3	23,3	505	11766,5
29/04/2019	13659,1	26,9	3	23,8	449	10686,2
02/05/2019	14569,9	31,4	4	32,9	511	16811,9
06/05/2019	11483	28,8	3	19,1	273	5214,3
09/05/2019	14511,8	28,0	5	38	384	14592

Fuente: elaboración propia.

Con los valores de consumo energético y HDO*GDE se traza un gráfico de dispersión (figura 2), para conocer la correlación existente entre ellos.

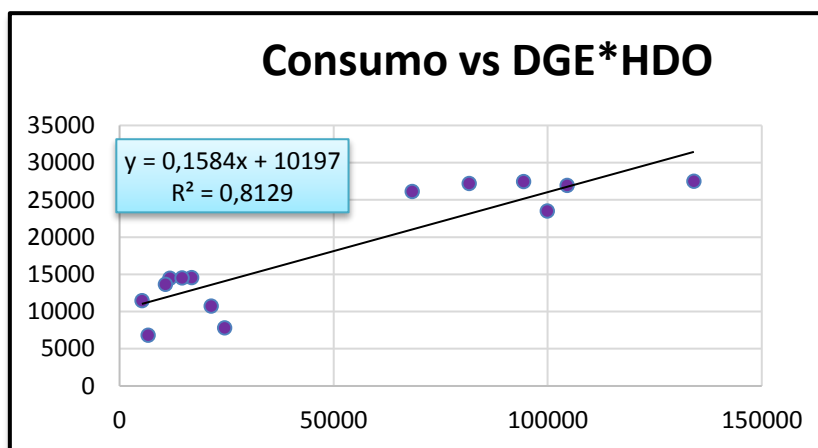


Figura 2. Diagrama de Consumo vs HDO-GDE. Fuente: elaboración propia

Como resultado se obtuvo un 81,29% de correlación entre ellos, correlación que supera el valor exigido de $R^2 > 0,75$. Este nuevo indicador se puede aplicar a la máquina enfriadora debido a que se encuentra dentro del rango muy fuerte. La utilización de este gráfico se puede determinar comportamientos anómalos en la variación del consumo energético con respecto a la producción, así como también determinar las causas o factores que produzcan cambios significativos entre la producción y el consumo.

Los datos de consumo energético y de los HDO*GDE se tabulan contra los días de estudio para poder observar su desempeño durante este tiempo.

Tabla 4. Datos para el Consumo y Producción vs Tiempo.

Fechas	Consumo	Producción HDO*GDE
05/03/2019	26133,2	68373,6
12/03/2019	26933,4	104493,2
19/03/2019	27223,4	81659

26/03/2019	27494	134136
02/04/2019	27443	94326
09/04/2019	23492,2	99871,2
16/04/2019	6802,9	6667,4
18/04/2019	7820,2	24496,8
22/04/2019	10730,3	21403,2
26/04/2019	14486,7	11766,5
29/04/2019	13659,1	10686,2
02/05/2019	14569,9	16811,9
06/05/2019	11483	5214,3
09/05/2019	14511,8	14592

Fuente: elaboración propia.

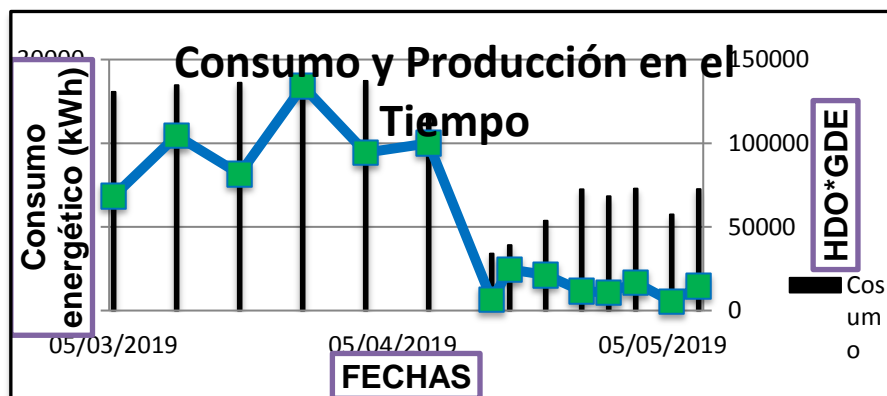


Figura 3. Diagrama de Consumo y Producción en el Tiempo. Fuente: elaboración propia

Se puede observar que la ocupación es pequeña con respecto al gran consumo existente en la instalación. Parte de esta gran demanda se debe a las oficinas, locales como el buffet, sala de fiesta y discoteca que no se incluyeron en el estudio debido a que no existe un registro del tiempo de uso de estos locales.

Tabla 5. Línea meta.

Fechas	Consumo	HDO*DGE
05/03/2019	26133,2	68373,6
12/03/2019	26933,4	104493,2
19/03/2019	27223,4	81659
26/03/2019	27494	134136
02/04/2019	27443	94326
09/04/2019	23492,2	99871,2
16/04/2019	6802,9	6667,4
18/04/2019	7820,2	24496,8
22/04/2019	10730,3	21403,2
26/04/2019	14486,7	11766,5
29/04/2019	13659,1	10686,2
02/05/2019	14569,9	16811,9

06/05/2019	11483	5214,3
09/05/2019	14511,8	14592

Fuente: Elaboración propia

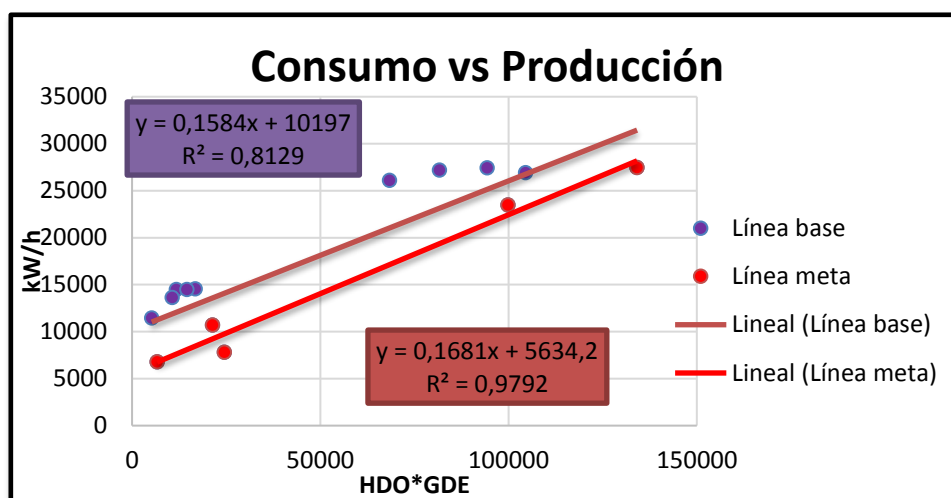


Figura 4. Diagrama de Consumo vs Producción. Fuente: elaboración propia

El potencial de ahorro calculado para el período analizado (figura 4) es de 3 709 kWh, representando un ahorro de un 20,5% del consumo promedio del período en cuestión.

Índice de consumo contra producción.

Índice de Consumo - Producción (Ic vs P). Para la realización del gráfico (figura 5) se introduce los valores del Índice de consumo y la Producción para todo el rango de producción definiendo la producción máxima y la mínima. Luego se introducen los cocientes de la energía contra la producción y se obtiene un gráfico hiperbólico que muestra cómo varía el consumo de energía por unidad de producción, si se trabaja en la zona de altos, medios o bajos índices de consumos y posibilita identificar la zona de productividad donde el índice de consumo es menor.

Tabla 6. Índice de consumo vs Producción.

Fechas	Consumo	Producción HDO*GDE	IC=Consumo/Producción HDO*GDE
05/03/2019	26133,2	68373,6	0,382211848
12/03/2019	26933,4	104493,2	0,257752658
19/03/2019	27223,4	81659	0,333379052
26/03/2019	27494	134136	0,204971074
02/04/2019	27443	94326	0,290937811
09/04/2019	23492,2	99871,2	0,23522497
16/04/2019	6802,9	6667,4	1,020322764
18/04/2019	7820,2	24496,8	0,319233533
22/04/2019	10730,3	21403,2	0,501340921
26/04/2019	14486,7	11766,5	1,231181745
29/04/2019	13659,1	10686,2	1,278199921

02/05/2019	14569,9	16811,9	0,866642081
06/05/2019	11483	5214,3	2,202213145
09/05/2019	14511,8	14592	0,994503838

Fuente: Elaboración propia

Fechas	Consumo	Producción HDO*GDE	IC*
05/03/2019	26133,2	5220	2,111848276
12/03/2019	26933,4	15136	0,83209186
19/03/2019	27223,4	25052	0,565433371
26/03/2019	27494	34968	0,450009472
02/04/2019	27443	44884	0,385585634
09/04/2019	23492,2	54800	0,344476642
16/04/2019	6802,9	64716	0,315965363
18/04/2019	7820,2	74632	0,2950304
22/04/2019	10730,3	84548	0,279006046
26/04/2019	14486,7	94464	0,266345884
29/04/2019	13659,1	104380	0,256091129
02/05/2019	14569,9	114296	0,247615721
06/05/2019	11483	124212	0,240493518
09/05/2019	14511,8	134128	0,234424395

Fuente: Elaboración propia

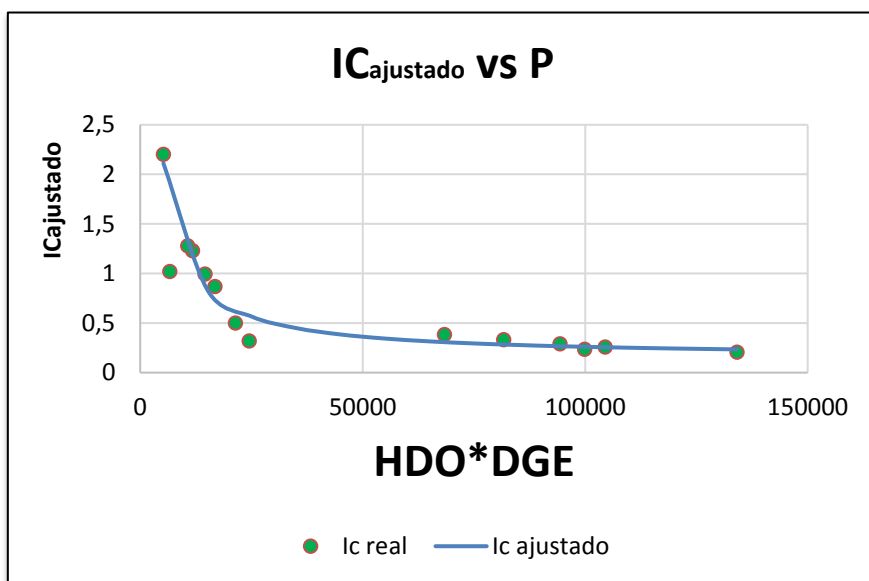


Figura 5. Índice de Consumo ajustado vs Producción. Fuente: elaboración propia

Se aprecia que hay una diferencia marcada entre el consumo ajustado y el real, estando por debajo de la línea en varias ocasiones el índice real, esto es una muestra de que existen ahorros en la instalación cuando los GDE disminuyen.

Gráfico de tendencia o suma acumulada. Se tabularon los valores resultantes de ecuaciones derivadas de la (3) como se muestra a continuación.

Tabla 7. Valores que muestran la tendencia del consumo.

Pa	$ET = mxPa + Eo$	$Ea - ET$	$[(Ea - ET)_i + (Ea - ET)_{i-1}]$
68373,6	20781,23328	5351,9667	5351,96672
104493,2	26372,54736	560,85264	560,85264
81659	22837,8132	4385,5868	4385,5868
134136	30961,2528	-3467,253	-3467,2528
94326	24798,6648	2644,3352	2644,3352
99871,2	25657,06176	-2164,862	-2164,86176
6667,4	11229,11352	-4426,214	-4426,21352
24496,8	13989,10464	-6168,905	-6168,90464
21403,2	13510,21536	-2779,915	-2779,91536
11766,5	12018,4542	2468,2458	2468,2458
10686,2	11851,22376	1807,8762	1807,87624
16811,9	12799,48212	1770,4179	1770,41788
5214,3	11004,17364	478,82636	478,82636
14592	12455,8416	2055,9584	2055,9584

Fuente: Elaboración propia

Con estos valores se realiza un gráfico donde en el eje de coordenadas y se ubica la suma acumulativa y en el eje de coordenadas x se colocan los meses correspondientes a cada valor de suma acumulativa.

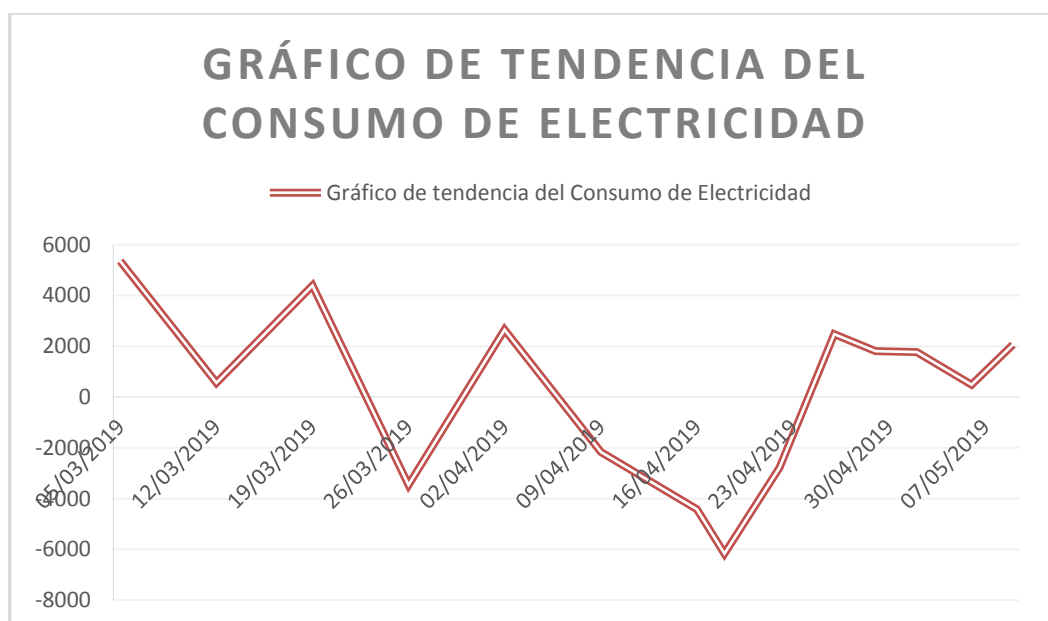


Figura 6. Gráfico de suma acumulada. Fuente: elaboración propia

El gráfico (figura 6) muestra gran irregularidad, el hotel generalmente se mantiene en valores de alto consumo durante la mayor parte del estudio, excepto en abril que disminuyó la ocupación y

se observa un incremento del ahorro, pero cuando se acerca el mes de mayo otra vez aumenta el consumo debido al aumento de los GDE.

Para determinar Indicador Base 100 se parte de la energía teórica consumida y la energía real consumida, en una relación mostrada en la ecuación 7, después 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.

Tabla 8. Indicador Base 100.

Fechas 2019	E_a	P_a	$ET = mxPa + E_o$	IDB 100	100%
05/03/2019	26133,2	68373,6	21027,37824	80,46231705	100
12/03/2019	26933,4	104493,2	26748,72288	99,31431932	100
19/03/2019	27223,4	81659	23131,7856	84,97023002	100
26/03/2019	27494	134136	31444,1424	114,3672889	100
02/04/2019	27443	94326	25138,2384	91,60164122	100
09/04/2019	23492,2	99871,2	26016,59808	110,7456861	100
16/04/2019	6802,9	6667,4	11253,11616	165,4164571	100
18/04/2019	7820,2	24496,8	14077,29312	180,0119322	100
22/04/2019	10730,3	21403,2	13587,26688	126,6252284	100
26/04/2019	14486,7	11766,5	12060,8136	83,2543892	100
29/04/2019	13659,1	10686,2	11889,69408	87,0459553	100
02/05/2019	14569,9	16811,9	12860,00496	88,26419509	100
06/05/2019	11483	5214,3	11022,94512	95,99360028	100
09/05/2019	14511,8	14592	12508,3728	86,19449551	100

Fuente: Elaboración propia

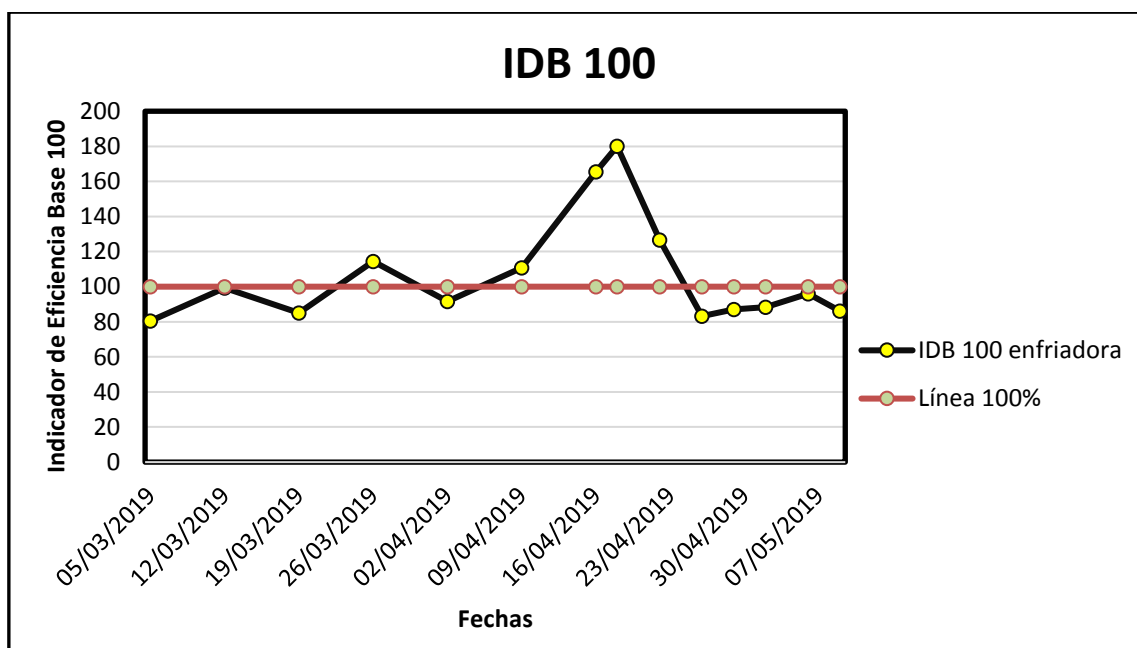


Figura.7. Indicador base 100. Fuente: elaboración propia

El hotel posee una mala eficiencia debido a que mantiene un consumo bastante inestable por debajo de la línea 100 (Figura 7).

Conclusiones.

En la presente investigación se determinó que el indicador $kW_{\text{consumido}}/kW_{\text{producido}}$ tiene una correlación del 62,27%, valor que no cumple con el requisito de ser superior al 75% aunque se encuentra en el rango de fuerte. Fueron propuestos nuevos indicadores de desempeño para la evaluación del consumo energético de las enfriadoras de agua helada del sistema centralizado de aire acondicionado de un hotel de playa de las zonas tropicales: el Índice de Consumo vs HDO-GDE, el cual tiene una correlación de 81,29 %, valorado como muy fuerte y el índice de consumo base (IDB 100), el cual actúa como medida para la evaluación de los niveles de consumo reales que puede alcanzar un hotel con estas características, evidenció que el hotel posee una mala eficiencia debido a que mantiene un consumo bastante inestable por debajo de la línea 100

Se comprobó que para niveles bajos de ocupación el consumo de las enfriadoras es grande. Las enfriadoras tienen un potencial de ahorro del 20,5% en el período analizado. Al ser analizado un corto periodo de tiempo la curva de tendencia muestra gran irregularidad y no brinda la información deseada.

Bibliografía

- Alvarez Fernández, L. (2020). *Índices de eficiencia en una enfriadora de agua basado en la norma ISO 50001*. Matanzas.
- Assawamartbunlue, K. .. (2013). An Investigation of Cooling and Heating Degree-Hours in Thailand. *Journal of Clean Energy Technologies*.
- Borroto Nordelo, A. (2013). Recomendaciones Metodológicas para la Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía según la Norma ISO 50001.
- Cabrera, O., & Borroto, A. (2004). Evaluación del indicador kW/HDO de eficiencia eléctrica en instalaciones hoteleras cubanas. *Retos turísticos*, 1-9.
- Carrier. (2009). *Manual de aire acondicionado*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- Carrier. (2020). Reglamento sobre diseño ecológico para bombas de calor y enfriadoras. *Eco diseño ready*.
- Casamayor Sosa, N. L. (2018). *Aplicación de herramientas necesarias para la implementación de un sistema de gestión energética acorde a la norma ISO 50001 en el hotel MUTHU Playa Varader*. Trabajo de Diploma, Universidad de Matanzas, Ingeniería Mecánica, Matanzas, Cuba.

- Castrillón Mendoza, R. d., Monteagudo Yanes, J. P., & Borroto Nordela, A. (2015). Línea de base energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudio de casos. *El hombre y la máquina*, 137-144.
- Celsius, C. (2017). *Cero Grados Celcius*.
- Del Pilar Castrillón, R. G., & Ciro Quispe, E. (2013.). Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía. *Dyna*, 80.
- experts, e. (2021). *creara*. Recuperado el 25 de noviembre de 2021, de www.creara.es
- Gorazd Krese, M. P. (s.f.). Analysis of building electric energy consumption data using an improved cooling degree day method. 58.
- Guerra Plasencia, M. Á. (2016). Propuesta de indicador de desempeño energético para el pronóstico y control del consumo de electricidad en hoteles. Cienfuegos, Cuba.
- Israel, A. L. (2014.). *“Diseño, construcción y pruebas de un chiller para el laboratorio de transferencia de calor.*
- Lapidio, M., Valdivia, Y., & al., e. (2016). Implementación de un sistema de gestión de energía son base a la NC ISO 50001 en el hotel Gran Caribe Jagua. Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
- Molina Colomé, N. I. (2018). *Evaluación energética del acondicionamiento de aire centralizado en el hotel Mercure Playa de Oro en Varadero*. Trabajo de Diploma, Universidad de Matanzas, Mecánica.
- Molina Gozález, A., Borroto Nordelo, A., & al, e. (septiembre-diciembre de 2017). Nuevos índices de consumo energético para hoteles tropicales. *Ingeniería energética*, 38(3).
- Montero Laurencio, R., Hechavarría Hernández, J. R., & Borroto Nordelo, A. (2012). Análisis y síntesis de la operación de circuitos secundarios de agua fría en climatización centralizada. *Ingeniería Mecánica*.
- Montero, Y. S. (2016.). *Análisis de factibilidad del uso de compresores de levitación magnética en sistemas de aire acondicionado*. Trabajo de diploma, Universidad de Matanzas, Mecánica, Matanzas.
- Pineda Averhoff, F. (2019). *Determinación del índice de consumo energético para las enfriadoras del hotel playa Varadero*. Trabajo de Diploma, Universidad de Matanzas, Mecánica, Matanzas.
- Quadri, N. (2001). *Sistema de aire acondicionado* (Primera ed., Vols. ISBN 950-553-088-9). Argentina: Alsina.
- Riverón Puga, Z. (2017). *Herramientas para el análisis del consumo eléctrico en el Hotel Royalton Hicacos teniendo en cuenta la norma NC ISO 50001:2011*. Trabajo de Diploma, Universidad de Matanzas.