

*Universidad de Matanzas sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas*



**APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA
ACORDE A LA NORMA ISO 50001 EN EL HOTEL IBEROSTAR
BELLA VISTA**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Pedro Echevarría Álvarez

Tutor: Dr. C. Osvaldo Fidel García Morales

Matanzas, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que 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

Agradecimientos

Primero que todo quiero agradecer eternamente a mi familia y en especial a mis padres por confiar en mí y apoyarme en cada decisión tomada.

A mi Rosme un millón de gracias por haber estado siempre a mi lado durante toda la carrera, por sus regaños, su exigencia y paciencia.

A mi tutor Osvaldo por su paciencia y sus consejos.

A todos los profesores de la facultad por haber influido en mi formación como profesional.

A mis compañeros de aula y en especial a Carlos Alberto, Ariel; Iván.

A todos muchas gracias....

RESUMEN

El sector hotelero es uno de los mayores consumidores de energía eléctrica en Cuba. Esto se debe a las altas temperaturas de la zona tropical y, por lo tanto, a la necesidad del elevado uso del sistema de climatización para satisfacer las demandas de enfriamiento. Por esta causa se realiza el siguiente estudio en el hotel Iberostar Bella Vista, que está orientado a crear herramientas para el análisis, control y verificación del consumo eléctrico según lo establecido en la NC-ISO 50001: 2011. Para cumplir este objetivo se realizó una caracterización energética de la instalación, se determinaron los usos significativos de la energía (USEs) y se analizó el indicador de desempeño energético utilizado. Se propone un indicador más adecuado para el monitoreo del consumo eléctrico. Además, se establece la línea base lo que permite calcular las oportunidades de ahorro eléctrico y económico.

Palabras claves: energía, gestión, eficiencia, temperatura base, indicador, DGE-HDO.

ABSTRACT

The hotel sector is one of the largest consumers of electricity in Cuba. This is due to the high temperatures of the tropical zone and, therefore, to the necessity of high use of air conditioning system to satisfy the cooling demands. For this reason, the following study is carried out at the Iberostar Laguna Azul hotel, which aim at creating tools for the analysis, control and verification of electricity consumption in accordance with the provisions of ISO 50001: 2011. An energy characterization of the installation, the significant uses of energy (USEs) were determined and the energy performance indicator used was analyzed. A more suitable indicator is proposed for the monitoring of electricity consumption. In addition, the baseline established, which allows calculating the opportunities for electric and economic savings.

Keywords: energy, management, efficiency, base temperature, indicator, DGE-HDO.

Indice

Introducción	7
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica	9
1.1 Eficiencia Energética y Medio Ambiente. Desarrollo Energético Sostenible	9
1.1.1 Eficiencia Energética en Hoteles.	11
1.2 Gestión Energética. Sistemas de Gestión Energética	12
1.3 Introducción a la NC-ISO 50001:2011	15
1.3.1 Beneficios de la NC-ISO-50001: 2011 (Bou Gonzalez, 2016).	15
1.4 Indicadores de Desempeño Energético (IDEn)	17
1.4.1 Días-Grado de Enfriamiento.	18
1.4.2 Línea de Base Energética.	19
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS	21
2.1 Descripción del hotel	21
2.2 Caracterización Energética	22
2.3 Análisis de los consumos de energía. Línea base	23
2.3.1 Análisis del índice de consumo anual.	24
2.3.2 Indicador de desempeño energético DGE-HDO.	25
2.3.3 Elaboración de la línea base.....	27
2.4 Herramientas para monitorear el consumo eléctrico	33
2.4.1 Diagrama de Pareto.	34
2.4.2 Diagrama de Dispersión y Correlación.	34
2.4.3 Gráficos de Control.....	35
2.4.4 Gráfico de Consumo y Producción en el Tiempo (E-P vs T).....	37
2.4.5 Grafico de Consumo - Producción (E vs P).	37
2.4.6 Indicador de Tendencia de Desempeño Energético (CUSUM).	39
2.4.7 Indicador de Desempeño Energético Base 100.....	40
2.5 Impacto económico del posible ahorro de energía eléctrica	41
Capitulo III: Análisis de los Resultados	42
3.1 Estudio energético de la instalación	42
3.2 Determinación de la temperatura base y del IDEn DGE-HDO	43
3.3 Determinación de la línea base energética y la línea de meta	44
3.4 Herramientas para el monitoreo del consumo eléctrico del hotel	46
3.4.1 Gráficos de Control.....	46
3.4.2 Gráficos de control y producción en el tiempo.....	48
3.4.3 Gráficos del Diagrama Índice de Consumo - Producción (Ic vs P).	48
3.4.4 Gráfico de Indicador de Desempeño Energético Base 100.....	49
3.4.5 Gráfico Indicador de Tendencia de Desempeño Energético.....	50
3.5 Calculo del ahorro económico	51
Conclusiones	52
Recomendaciones	53
Bibliografía	54

Introducción

El desarrollo del turismo en Cuba es una realidad, así como la consolidación del sector como factor estructural de la economía cubana. El crecimiento de la participación del sector en el PIB es sorprendente y poco usual en la historia económica internacional, mientras que en la arena internacional, el crecimiento de su participación en el contexto caribeño algunos analistas lo consideran de espectacular en el escaso margen temporal en que se ha desarrollado. Cabe destacar, no obstante, que este crecimiento sostenido se diferencia sustancialmente de la situación de los demás países caribeños e, incluso de otros polos turísticos dentro del Tercer Mundo. Los factores asociados al bloqueo económico de los Estados Unidos generan un contexto especial al respecto que Cuba ha sabido sortear de forma inteligente. Debido a esto se hace necesario reducir costos de producción por conceptos de generación de energía.

El sector hotelero en el país tiene gran demanda de consumo eléctrico, lo que hace que cada día se busque la forma de monitorear y poder controlar dicho consumo. Para poder realizar esto se hace necesario utilizar el indicador de desempeño energético (IDEn) correcto. Una mala selección del IDEn puede llevar a que la entidad correspondiente no pueda establecer como es el comportamiento de la electricidad en dicha empresa.

El siguiente estudio se realiza en el hotel Iberostar Bella Vista, que busca implementar la NC ISO 50001; pero para poder realizar su objetivo, primeramente la instalación tiene que cumplir los requisitos que se establecen en dicha norma.

De lo que se deriva el siguiente ***problema de la investigación***:

¿Cómo implementar adecuadamente un sistema de gestión energética acorde la norma ISO 50001 en el hotel Iberostar Bella Vista?

Para la solución este problema se plantea la siguiente ***hipótesis***:

La utilización y aplicación de herramientas permitirá una correcta implementación de un sistema de gestión energética acorde a la ISO 50001.

Objetivo general:

Desarrollar herramientas para la gestión energética en el Hotel Iberostar Bella Vista Varadero.

Objetivos específicos:

1. Estudio bibliográfico sobre la temática
2. Realizar una revisión energética en la instalación.
3. Recuperar los datos para la aplicación de las herramientas.
4. Implementar las herramientas.
5. Análisis de los resultados.

Capítulo 1 Revisión Bibliográfica

En el presente capítulo se hará referencia al análisis de las bibliografías existentes tras una amplia búsqueda y selección de la misma para el cumplimiento de las diversas temáticas a desarrollar, dicho análisis aportará el desarrollo teórico para lograr dar cumplimiento al objetivo trazado para la elaboración de la siguiente investigación.

1.1 Eficiencia Energética y Medio Ambiente. Desarrollo Energético Sostenible.

La eficiencia energética es una práctica que tiene como objetivo reducir el consumo de energía. Es el uso eficiente de la energía, de esta manera optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios.

En general, se puede entender como el cociente de la salida de energía deseada entre la entrada de energía requerida para lograr el resultado deseado. En otras palabras, eficiencia energética quiere decir qué porcentaje de la energía disponible es convertida en energía útil.

Una eficiencia energética de 100% significa que toda la energía de entrada al equipo o dispositivo (ya sea eléctrica, térmica u otro tipo) es convertida en energía de salida deseada del equipo (ya sea eléctrica, térmica u otro tipo). (Martinez, 2012)

Es importante conocer que a pesar de los múltiples beneficios de la eficiencia energética, existen ciertos obstáculos que deben ser considerados. Se mencionan a continuación:

- ✓ Falta de información objetiva de eficiencia de productos.
- ✓ Consumidores prefieren productos de menor costo.
- ✓ Decisiones basadas en la disponibilidad.
- ✓ Costos de energía no toman en cuenta los costos totales para la sociedad (salud, contaminación, cambio climático...).
- ✓ Competencia por capital.

Lograr un desarrollo energético sostenible es sin duda el camino correcto, pero esto depende del uso de fuentes de energía renovable, la eficiencia energética y de la dirección estratégica de cada institución. (Alvarez-Guerra Placencia, 2016)

El objetivo del desarrollo sostenible es definir proyectos viables y reconciliar los aspectos económico, social, y ambiental de las actividades humanas; se trata de progresar en estos ámbitos sin tener que destruir el medio ambiente. Los "tres pilares" que deben ser tenidos en cuenta tanto por las empresas, como por las comunidades y las personas: (Martinez L. A., 2012)

- ✓ **Sostenibilidad económica:** se da cuando la actividad que se mueve hacia la sostenibilidad ambiental y social y es financieramente posible y rentable.
- ✓ **Sostenibilidad social:** basada en el mantenimiento de la cohesión social y de su habilidad para trabajar en la persecución de objetivos comunes. Implica la mitigación de impactos sociales negativos causados por la actividad que se desarrolla, así como la potencialización de los impactos positivos. Se relaciona también con el hecho de que las comunidades locales reciban beneficios por el desarrollo de la actividad desarrollada en aras de mejorar sus condiciones de vida. Lo anterior se deben aplicar para todos los grupos humanos involucrados en la actividad. Por ejemplo, en el caso de una empresa, debe cubrir a los trabajadores (condiciones de trabajo, nivel salarial, etc.), los proveedores, los clientes, las comunidades locales y la sociedad en general.
- ✓ **Sostenibilidad ambiental:** compatibilidad entre la actividad considerada y la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas, evitando la degradación de las funciones fuente y sumidero. Incluye un análisis de los impactos derivados de la actividad considerada en términos de flujos, consumo de recursos difícil o lentamente renovables, así como en términos de generación de residuos y emisiones. Este último pilar es necesario para que los otros dos sean estables.

1.1.1 Eficiencia Energética en Hoteles.

Independientemente de la modalidad turística, se necesitan políticas energéticas muy ligadas al desempeño empresarial, es por eso que para lograr un desarrollo energético sostenible se señalan tres direcciones fundamentales: la elevación de la eficiencia energética, la sustitución de fuentes de energía y el empleo de tecnologías para atenuar los impactos ambientales. (Laurencio, 2013)

A pesar de la crisis energética y económica global se continúa apostando por el desarrollo del turismo como uno de los principales renglones de la economía cubana, declarándose un conjunto de estrategias para incrementar la actividad. Estos cambios incrementan el consumo energético, por lo que se necesita una sinergia entre los diseños, las tecnologías, la satisfacción del cliente, y la disminución de los costos de operación.

Otro elemento que aporta sustancialmente a la eficiencia energética es la automatización de los procesos. Generalmente se automatizan los hoteles de 4 y 5 estrellas que tienen mayor complejidad operacional. Dentro de los tres niveles en los que se puede clasificar la automatización, el estado medio de los hoteles cubanos es el primer nivel (básico).

A pesar que los indicadores económicos del turismo, utilidades y aportes a la economía nacional, reflejan crecimiento sostenido en los últimos años, se considera que aún existen posibilidades de incrementarlos. Para ello se señala la necesidad de trabajar en las dificultades detectadas, dentro de las que se destaca, la eficiencia en los sistemas de aire acondicionado. Los sistemas de climatización, que consumen la mayor parte de la energía eléctrica de los hoteles cubanos, también son objeto de perfeccionamiento tecnológico. La eficiencia energética durante su explotación está fuertemente relacionada con las características de las edificaciones, la climatología local y la estrategia de ocupación de las habitaciones del hotel. (Laurencio & Reuda, 2012)

Evidentemente, en la actualidad se están produciendo cambios en el entorno, por lo que el hombre como único responsable, debe plantearse como tarea fundamental lograr la reversibilidad de los cambios producidos por la tecnología

energética, o al menos la atenuación a su mínima expresión de los impactos ambientales que ellas ocasionan. Lograr un desarrollo energético sostenible es sin duda el camino correcto, pero esto depende del uso de fuentes de energía renovable, la eficiencia energética y de la dirección estratégica de cada institución (Eras, Gutierrez, & Alexis, 2016).

1.2 Gestión Energética. Sistemas de Gestión Energética.

Un SGEN es una metodología para lograr la mejora sostenida y continua del desempeño energético en las organizaciones en una forma costo-efectiva. La implementación de un SGEN no debe entenderse como un objetivo por sí mismo, sino que el objetivo es la mejora del desempeño energético, a partir de los resultados de las acciones implementadas en todo el sistema. Entendida de este modo, la efectividad de un SGEN dependerá en gran medida del compromiso y disponibilidad de todos los actores involucrados en la organización para gestionar el uso y el costo de la energía, además de realizar los cambios que sean necesarios en el día a día para facilitar estas mejoras y la reducción en los costos. (Moya, 2018)

Un SGEN aporta los beneficios siguientes a las organizaciones:

- ✓ Ayuda a identificar, priorizar y seleccionar las acciones para la mejora del desempeño energético con base en su potencial de ahorro y el nivel de inversión requerido.
- ✓ Reduce costos al aprovechar al máximo los recursos energéticos.
- ✓ Impulsa la productividad y el crecimiento (mayor aprovechamiento, menor desperdicio).
- ✓ Promueve las mejores prácticas de gestión energética.
- ✓ Asegura la confianza y calidad de la información que se utiliza para la toma de decisiones.
- ✓ Facilita la integración de sistemas de gestión ya existentes.
- ✓ Desarrolla capacidades en la organización.
- ✓ Genera una cultura organizacional orientada a la gestión de la energía.

Un SGEEn dentro de la práctica del negocio de una organización, la posiciona para conseguir ahorros de energía y económicos, a través de una toma de decisiones informada y mediante la implementación de prácticas de eficiencia energética en las instalaciones, procesos y equipos.

La implementación de un SGEEn, es más sencilla cuando en la organización ya existen otros sistemas de gestión implementados, tanto por los elementos en común que estos comparten, como por la experiencia que la organización ya tiene en la implementación y operación de sistemas de gestión. En estos casos, la organización puede optar por manejar un sistema integrado de gestión. (ONUUDI, 2014)

BARRERAS QUE SE OPONEN AL EXITO DE LA GESTION ENERGETICA (Bou Gonzalez, 2016):

- ✓ Las personas idóneas para asumir determinada función dentro del programa, se excusan por estar sobrecargadas.
- ✓ Los gerentes departamentales no ofrecen tiempo a sus subordinados para esta tarea.
- ✓ El líder del programa no tiene tiempo, no logra apoyo o tiene otras prioridades.
- ✓ La dirección no reconoce el esfuerzo del equipo de trabajo y no ofrece refuerzos positivos.
- ✓ La dirección no es paciente y juzga el trabajo solo por los resultados inmediatos.
- ✓ No se logra conformar un equipo con buen balance interdisciplinario o interdepartamental.
- ✓ Falta de comunicación con los niveles de toma de decisiones.
- ✓ La dirección ignora las recomendaciones derivadas del programa.
- ✓ El equipo de trabajo se aparta de la metodología disciplina y enfoque sistemático.
- ✓ Los líderes del equipo de trabajo son gerentes e inhiben la actuación del resto de los miembros.

El Sistema de Gestión Energética (SGE) es la parte del sistema de gestión de una organización dedicada a desarrollar e implantar su política energética, así como a gestionar aquellos elementos de sus actividades, productos o servicios que interactúan con el uso de la energía (APIEM, 2010).

El SGE se basa en el ciclo de mejora continua PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) siendo compatible con otras medidas de ahorro y eficiencia energética, por lo que resulta una herramienta complementaria, compatible e integrable con estos otros sistemas de gestión (Jimenez Sosa, 2016).

Con la implantación de un SGE se pueden obtener diversas ventajas como:

- ✓ Aumento de compromiso social por parte de los empleados, lo que hace que se les recompense por ello.
- ✓ Reducción de las emisiones a la atmósfera.
- ✓ Mejora del benchmarking (herramienta que sirve para lograr comportamientos competitivos en el mercado, línea base) entre empresas (Trejo, 2015)
- ✓ Aumento de la competitividad por el ahorro en cuestión de energía.
- ✓ Mejora la imagen pública de la organización ya que se presenta ante la sociedad como una empresa comprometida responsablemente con la sostenibilidad medioambiental (Bou Gonzalez, 2016).
- ✓ Reduce el consumo energético por lo que hace que cumpla muchos de los compromisos en cuestión de energía y medio ambiente, sobre todo el del protocolo de Kioto (acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), (Jimenez Sosa, 2016).

En general, en todos los sistemas de gestión energética o de administración de energía se pueden identificar tres etapas fundamentales:

- ✓ Análisis preliminar de los consumos energéticos.

- ✓ Formulación de un programa de ahorro y uso racional de la energía (Planes de Acción).
- ✓ Establecimiento de un sistema de monitoreo y control energético.

Debe señalarse que erróneamente en muchos casos la administración de energía se limita a un plan de medidas de ahorro de energía, no garantizándose el mejoramiento continuo.

1.3 Introducción a la NC-ISO 50001:2011.

El propósito de esta Norma Internacional es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. La implementación de esta Norma Internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costes de la energía a través de una gestión sistemática de la energía. Esta Norma Internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales. Su implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización y, especialmente, de la alta dirección. (ONUDI, 2014)

La norma especifica los requisitos aplicables a usos y consumos de la energía, a partir de los que se establecen las actividades de medición, documentación e información, las prácticas para el diseño y adquisición de equipos, sistemas, procesos y personal que contribuyen al desempeño energético, y se aplica a todas las variables que afectan al desempeño energético que puedan ser controladas por la organización y sobre las que pueda tener influencia. (Sánchez, 2012)

1.3.1 Beneficios de la NC-ISO-50001: 2011 (Bou Gonzalez, 2016).

Incorporación de la variable energética en el ámbito de gestión general de la compañía (Giz, 2013).

- ✓ La utilización eficiente de la energía deja de ser un aspecto discreto de una unidad (ingeniería, mantenimiento, servicios generales...) para participar en la estrategia de la empresa e interrelacionarse coherentemente con toda la organización.
- ✓ Asimismo, se consolida como un elemento permanente en el tiempo en lugar de actuaciones temporales derivadas de necesidades “puntuales” de la empresa.

Completo control sobre el consumo y orientación a la optimización económica (APIEM, 2010)

- ✓ La aplicación de una sistemática permanente garantiza el conocimiento de la empresa de todos sus procesos y equipos que consumen energía y el análisis de optimización en función de los intereses estratégicos de la organización a corto, medio y largo plazo.

Concienciación del personal respecto al uso de la energía:

- ✓ Los miembros de la organización, en todos los niveles, incrementan progresivamente su concienciación sobre el uso eficiente de la energía y la importancia de la orientación que la dirección ha asumido como empresa energéticamente responsable.
- ✓ La experiencia demuestra que en organizaciones con un sistema de gestión implantado, se incrementa el número de sugerencias y aportaciones para la optimización del consumo.

Imagen externa de empresa energéticamente responsable (Campos, 2012):

- ✓ El uso de la energía por parte de las empresas se está consolidando como un elemento de gran interés por las partes interesadas externas de la organización.

- ✓ La certificación del sistema de gestión energética avala el mensaje que la empresa lanza al exterior de empresa comprometida con la sostenibilidad y responsabilidad social.

1.4 Indicadores de Desempeño Energético (IDEn).

Un indicador de desempeño energético (IDEn) es un valor cuantitativo, medible que refleja la eficiencia, el uso y el consumo de la energía del elemento donde se define, permite evaluar su cambio respecto a la línea de base y puede medirse y seguirse en el tiempo. Los IDEn son aquellos que se establecen con el fin de realizar un seguimiento, monitoreo y control del desempeño energético de determinado proceso, área o equipo (Riveron Puga, 2017) . La organización debe identificar los IDEn apropiados para realizar el seguimiento y la medición de su desempeño energético. La metodología para determinar y actualizar los IDEn debe documentarse y revisarse regularmente ((NC), 2011).

Los IDEn se utilizan con el propósito de (Borroto Nordelo, 2013):

- ✓ Evaluar el desempeño energético en un período actual con respecto a un período de referencia (línea base) y determinar ahorros o sobreconsumos de energía.
- ✓ Pronosticar el consumo de energía en un período futuro.

En Cuba, el 91% de los hoteles son propiedad del gobierno y el MINTUR es responsable de su gestión. Para administrar la eficiencia energética sobre una base mensual, el MINTUR estableció un IDEn basado en las habitaciones día ocupadas (HDO) como parámetro de referencia. Aunque varios estudios han demostrado que los parámetros como el nivel de ocupación y las condiciones climáticas influyen fuertemente el consumo energético, la mayoría de los indicadores de eficiencia energética discutidos en la literatura no consideran la temperatura exterior. Estos indicadores se enfocan en la correlación del consumo de energía con diferentes parámetros operacionales en forma mensual o anual, lo

que limita la posibilidad para gestionar y controlar el consumo de energía sobre una base diaria e impiden una detección más rápida de las ineficiencias y la aplicación de las medidas correctivas necesarias. (Alvarez-Guerra Plasencia, y otros, 2016)

1.4.1 Días-Grado de Enfriamiento.

El consumo de energía de edificios depende, en la mayor parte de las condiciones climáticas fuera de este (Lindelof, 2016). Uno de los factores de mayor relevancia en el consumo eléctrico es la temperatura (Hitchin, 2015) sobre todo en países cálidos donde el gasto de electricidad depende de las condiciones climáticas (Riveron Puga, 2017).

Los Grados-Día (también citado como Días-Grado) es un parámetro importante a considerar para la definición de las estrategias de diseño, los requerimientos de climatización (natural o artificial) y por lo tanto la demanda de energía de una edificación. Los Grados-Día 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) (Freixanet, 2010).

De esta forma se puede tener dos tipos de Grados-Día: de calentamiento o de enfriamiento (Hitchin, 2015). Los GDE (Grados Días de Enfriamiento) se definen como la diferencia positiva entre la temperatura dentro del local y la temperatura de referencia en un período determinado.

La principal dificultad en el uso de los GDE en los indicadores energéticos, yace en cómo definir la T_b , debido a la diversidad de criterios en cuanto a la determinación y comprensión del término (Riverón Puga, 2017); algunos autores como (Lindelöf, 2016) plantea que la temperatura base puede variar en el tiempo, (Krese & Butala, 2011) plantean que la temperatura base debe determinarse para cada edificio por separado debido a que se debe tener en cuenta las características internas y externas del edificio. En cambio, otros autores como

(Cabello Eras, y otros, 2016) no mencionan estos posibles cambios y ofrecen un único valor de la Tb en sus investigaciones.

Los GDE son muy utilizados actualmente en los indicadores de producción de hoteles. Sin embargo, el Ministerio de Turismo en Cuba (MINTUR) no tiene en cuenta los GDE (Riverón Puga, 2017). Varios estudios han demostrado la necesidad de utilizar también este IDEn junto a HDO para lograr una mayor correlación, como es el caso de (Riverón Puga, 2017),(A. Borroto Nordelo, 2013),(Guerra Plasencia, y otros, 2016).

1.4.2 Línea de Base Energética.

La línea base permite describir el consumo de energía de un equipo, área o proceso con un nivel de confianza y precisión adecuada. Según Carretero y García (2012) y Campos (2013):

- Una línea de base energética refleja un período especificado.
- Una línea de base energética puede normalizarse utilizando variables que afecten al uso o al consumo de la energía, por ejemplo, nivel de producción, grados-día (temperatura exterior), etc.
- La línea de base energética también se utiliza para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético.

El período especificado o período base es el que cubre la influencia de las variables significativas sobre el consumo de energía. Debido a que en este estudio hay influencia de las estaciones del año el período tomado es anual.

La organización debe establecer la línea de base energética a partir de los resultados de la revisión energética. Esta constituye la referencia a partir de la cual se medirá la evolución del desempeño energético de la organización. (Monteagudo, 2016)

El indicador y las líneas de base definidas se implementan en una metodología de cuatro pasos:

1. Evaluar la eficacia del sistema actual para controlar y planificar el consumo total de energía. Esto tiene como objetivo evaluar la correlación entre el consumo de energía y el valor de referencia utilizado para calcular el IDEn de años anteriores o en forma mensual y diaria.
2. Proponer un IDEn que asegure una buena correlación del consumo de energía y el valor de referencia. El IDEn debe ser bastante simple de implementar y basarse en los datos comunes manejados por el personal técnico de hotel. Como referencia para controlar el consumo, una línea energética meta se establece también, junto con los gráficos de control del consumo de electricidad (diarios y mensuales) que permiten controlar las variaciones diarias y mensuales del IDEn.
3. Validar las herramientas propuestas mediante la previsión del consumo de energía y simular el comportamiento del IDEn propuesto con los datos de años anteriores para comparar el consumo previsto con el real y evaluar la eficacia del IDEn.
4. Aplicar las herramientas para evaluar los resultados en base mensual y anual.

Según (Campos J. , 2013), deben realizarse ajustes en la línea de base cuando los IDEn ya no reflejan el uso y el consumo de energía de la organización; si se han realizado cambios importantes en los procesos, patrones de operación, o sistemas de energía; o si así lo establece un método predeterminado. La línea de base debe mantenerse y registrarse.

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

2.1 Descripción del hotel

El Hotel LAS CONCHAS I, identificado comercialmente como IBEROSTAR SELECTION Bella Vista Varadero, es propiedad de la Empresa Inmobiliaria ALMEST como Inversionista, explotado por la sociedad mercantil cubana GRUPO DE TURISMO GAVIOTA S.A. y gestionado por la cadena española IBEROSTAR HOTELS INTERNATIONAL Cuba, en Contrato de Administración y Comercialización Hotelera bajo la marca IBEROSTAR HOTELS & RESORTS, con fecha de apertura el 15 de abril de 2017. Resort de playa Todo Incluido con categoría Cinco Estrellas Premium Gold, ubicado en primera línea de playa, que abarca un área total de 7.50 ha, de forma rectangular paralela a la costa. Tiene acceso directo a la playa.

El hotel es un edificio compacto en forma de C, girado hacia el mar. Una parte del edificio está destinado para familias y otra para los adultos. El hotel tiene dos tipos de habitaciones: las habitaciones de Familia (en la parte Oeste) y las habitaciones de Adultos (en la parte Este). Las habitaciones Estándar VIP son las habitaciones ubicadas en los niveles de las Suites. Las habitaciones Suite se encuentran en los dos últimos niveles del hotel, y están intercomunicadas con una habitación estándar aledaña para poder crear habitaciones de dos dormitorios. El 90 por ciento de sus 827 habitaciones se encuentran ubicadas de cara al mar destinadas para familias y solo para adultos, las cuales se distribuyen en cinco edificios de diferentes niveles que se conectan por escaleras y extensos pasillos, se dispone de elevadores para garantizar la satisfacción de nuestros clientes, así como vistas a ambos lados de la Península de Hicacos. Las tipologías de habitaciones a lo largo de los edificios se extienden desde habitaciones Standard con Vista al Mar o Piscina a Suite igualmente con Vista al Mar o Piscina; todas las habitaciones cuentan con suministro de agua fría y caliente, sistema de aire acondicionado, TV vía satélite, caja de seguridad, teléfono y mini bar. La instalación posee un centro de convenciones con servicios y facilidades para que los viajeros de negocios

obtengan el máximo rendimiento en sus citas profesionales; una selecta oferta culinaria; teatro, un mini club infantil, cuentan con planta exclusiva Elite y con un centro de masaje, peluquería y gimnasio.

2.2 Caracterización Energética

La caracterización energética es el procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo que permite evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa la energía en su proceso productivo, y que permite evaluar la situación energética actual; determinando las anomalías presentadas en cuanto al consumo energético real y los focos de desperdicio energético (Campos J. , 2013).

Esta etapa tiene como objetivo esencial conocer si la empresa efectivamente se viese significativamente beneficiada si implantara un sistema de gestión energética que le permitiera abatir costos por sus consumos de energía, alcanzar una mayor protección ante los problemas de suministro de la energía, reducir el impacto ambiental, mejorar la calidad de sus productos o servicios, y de esta forma elevar sus beneficios (Monteagudo, 2016).

Para iniciar la implementación de un sistema de gestión de la energía, la organización debe realizar una evaluación preliminar sobre su estado actual en gestión energética e identificar el estado en que se encuentra frente al cumplimiento de la Norma ISO 50001: 2011. Para conocer esto se realiza un análisis de brechas. En la realización de este análisis debe colaborar el personal vinculado con el cumplimiento de los requisitos. Para cada requisito se deben evaluar tres estados: cumplimiento, incumplimiento o en proceso de implementación según establece (Prias, 2013).

Una vez conocido el estado actual de la organización y las actividades que se deben realizar para el cumplimiento de los requisitos, se deben establecer los procedimientos, procesos o herramientas técnicas y de gestión requeridas para lograr su introducción en la gestión organizacional.

Para cumplir con esto se verificó en el hotel si existían y se cumplían los planes de consumo de energía eléctrica, medidas de ahorro y propuestas de inversión de la instalación. Además, se comprobó la autolectura diaria y si se captan las demandas máximas. Se verificó el análisis periódico realizado por la administración del centro respecto a los consumos y sus desviaciones significativas en relación con los planes establecidos.

Además, se revisó el equipamiento instalado en el centro, haciendo énfasis en las áreas de mayor consumo. Luego, con los datos históricos de los consumos eléctricos diarios y de las habitaciones ocupadas por días (HDO) proporcionadas por el centro y las temperaturas promedio diarias obtenidas de la Estación Meteorológica de Varadero se realizaron los análisis energéticos.

2.3 Análisis de los consumos de energía. Línea base

El análisis de los consumos de energía se refiere a conocer el comportamiento de la demanda de energía necesaria para el cumplimiento del servicio prestado o producción. Para los hoteles cubanos se tiene establecido que el análisis del consumo de energía se realice en función de la ocupación habitacional (HDO).

El valor de las HDO es ampliamente utilizado internacionalmente y es efectivo en países fríos, donde la calefacción de los locales se realiza a partir de otros portadores energéticos y el consumo de electricidad no depende de las condiciones climáticas. Pero en nuestro país, debido a las altas temperaturas, es necesario el uso de sistemas de clima, los cuales son altos consumidores de electricidad. Además, no existe uniformidad en la marca establecida y en la práctica esta marca está funcionando como parámetro fijo sin que previamente se hayan realizados estudios minuciosos.

2.3.1 Análisis del índice de consumo anual.

Con el objetivo de evaluar la calidad del índice de consumo empleado actualmente en el hotel y la incidencia de las variables con frecuencia mensual (HDO), fue realizado un resumen del nivel ocupacional y el consumo energético en el hotel. En la Tabla 1, se muestra el comportamiento mensual de estas variables, durante el año 2018.

Tabla 1 Valores de las variables consumo eléctrico y habitación día ocupada (HDO).

Fuentes: Elaboración propia.

2018	Consumo Eléctrico (kWh)	Habitaciones Día Ocupadas (HDO)	Ic Actual
Enero	544524	20181	26,98
Febrero	599089	14361	41,72
Marzo	656176	21135	31,05
Abril	736276	21206	34,72
Mayo	629403	11948	52,68
Junio	625835	9781	63,98
Julio	801864	14767	54,30
Agosto	747339	13123	56,95
Septiembre	622278	8451	73,63
Octubre	611212	8033	76,09
Noviembre	703674	15586	45,15
Diciembre	654863	16617	39,41
Promedio	661044	14599	49,72

Teniendo en cuenta que, para los hoteles de ciudad en la región tropical, se establece un rango para el índice de consumo (Ic) que está entre 30 y 60 (Velarde, 2017) y que para la cadena hotelera Gaviota S.A. el índice de consumo establecido debe estar entre 35 y 40 (Rosa & J.Pineda, 2017) podemos observar en la Tabla 1 como entre los meses de junio y octubre el Ic se encuentra por encima del valor máximo permitido.

En los gráficos siguientes (Fig. 1, Fig. 2) se muestra el comportamiento del consumo eléctrico y la ocupación habitacional durante los años 2018 y 2019.

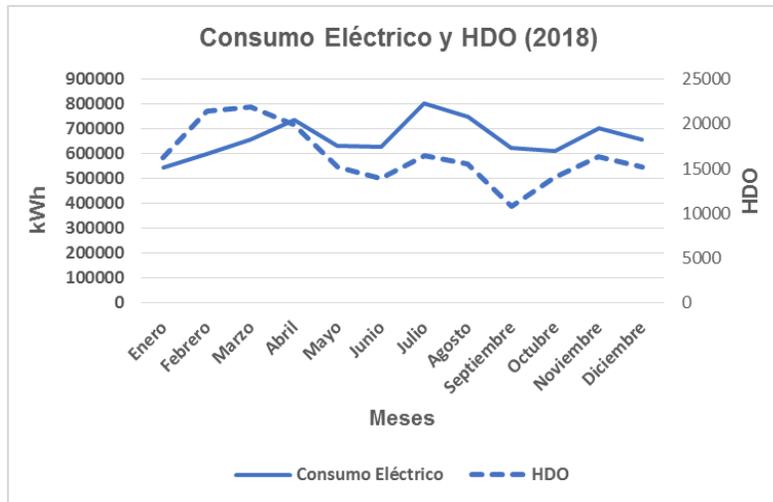


Fig. 1 Consumo de energía eléctrica total y habitación días ocupados (HDO) en el año 2018 en el hotel Iberostar Bella Vista Varadero. Fuente: Elaboración propia.

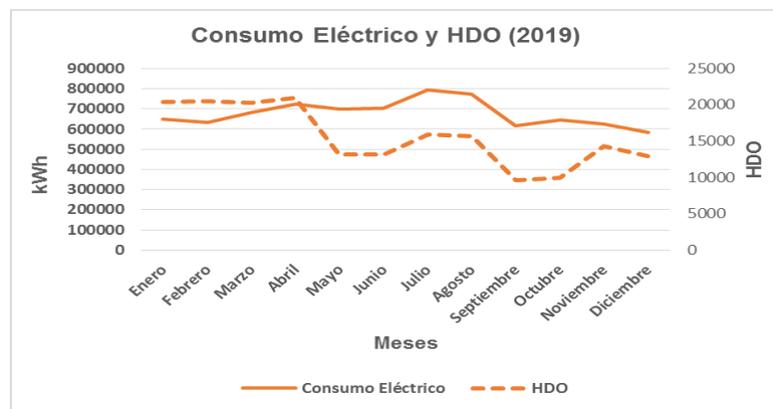


Fig. 2 Consumo de energía eléctrica total y habitación días ocupados (HDO) en el año 2019 en el hotel Iberostar Bella Vista Varadero. Fuente: Elaboración propia.

Los meses de mayor consumo eléctrico son generalmente en los meses de julio y agosto, lo cual se corresponde con el incremento de temperatura durante el verano y la necesidad del aumento del uso del sistema de climatización. Los de menor consumo son enero y diciembre, en los cuales hay una disminución de la temperatura.

2.3.2 Indicador de desempeño energético DGE-HDO.

Para solucionar este problema se propone el ajuste del indicador HDO con los DG, específicamente los DGE (Días-Grado de Enfriamiento) debido a que en

nuestro país los DGC (Días-Grado de Calentamiento), utilizados para obtener la demanda de calor no se utilizan.

Este valor se determina a partir de la temperatura ambiente. Para la obtención del indicador de desempeño energético HDO-DGE, es necesario tanto el cálculo de los DGE, como de la temperatura base (Tb). Para el cálculo de los DGE se utilizó la metodología de (Krese & M.Prek, 2012) como muestra la ecuación 1.

$$DGE = \sum_{i=1}^n (T - Tb)^+ \quad (1)$$

Dónde: n (número de días del mes analizado), T (temperatura media diaria), Tb (temperatura base). El signo positivo indica que solo deben tomarse los valores positivos.

Luego se multiplica el valor de DGE por HDO para obtener el indicador HDO-DGE (2).

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

Para el desarrollo del método de los DGE es necesario determinar la Tb, tal como se aprecia en la expresión 1. Para el cálculo de la Tb, se tuvo en cuenta el método de la línea de operación, por considerarse más práctico en cuanto a la disponibilidad de datos.

Para la estimación de la Tb se desarrolló en una hoja electrónica de cálculo Excel 2015. Primeramente, se construyó una tabla para determinar los DGE diario de cada mes durante los años 2018 y 2019. Posteriormente, se ubicaron se ajustaron a un polinomio de segundo grado los datos del consumo mensual de electricidad y los valores de los GDE correspondientes al rango de Tb por mes. Finalmente, se seleccionó la Tb del polinomio que presentó el valor del término cuadrático más cercano a cero para cada año, tal como plantea (Krese & M.Prek, 2012).

2.3.3 Elaboración de la línea base.

Para establecer un adecuado SGE_n es necesario establecer una línea base. Para su elaboración se siguió la metodología planteada por (Campos J. , 2012).

1. Definición del período base.

El período base es aquel que cubre la influencia de las variables significativas sobre el consumo de energía.

2. Definición de la muestra de datos mínima.

Es necesario calcular la estimación inicial del número de datos de la muestra (3).

$$n_0 = \frac{z^2 * cv^2}{e^2} \quad (3)$$

Dónde: *cv* es el coeficiente de varianza, que se define como la desviación estándar de las lecturas divididas por la media (hasta que pueda estimarse la media real y la desviación estándar de la población a partir de las muestras reales, se utilizará 0,5 como estimación inicial para *cv*); *e* es el nivel deseado de precisión; y *z* es el valor de distribución normal estándar respecto a la Tabla 2, con un número infinito de lecturas y para el nivel de confianza deseado.

Tabla 2 Determinación del valor de distribución normal estándar. Fuente: Campos (2013).

Nº de Lecturas (Tamaño muestra)	Nivel de confianza				Nº de lecturas (Tamaño muestra)	Nivel de confianza			
	95%	90%	80%	50%		95%	90%	80%	50%
2	12.71	6.31	3.08	1.00	17	2.12	1.75	1.34	0.69
3	4.30	2.92	1.89	0.82	18	2.11	1.74	1.33	0.69
4	3.18	2.35	1.64	0.76	19	2.10	1.73	1.33	0.69
5	2.78	2.13	1.53	0.74	20	2.09	1.73	1.33	0.69
6	2.57	2.02	1.48	0.73	21	2.09	1.72	1.33	0.69
7	2.45	1.94	1.44	0.72	22	2.08	1.72	1.32	0.69
8	2.36	1.89	1.41	0.71	23	2.07	1.72	1.32	0.69
9	2.31	1.86	1.40	0.71	24	2.07	1.71	1.32	0.69
10	2.26	1.83	1.38	0.70	25	2.06	1.71	1.32	0.68
11	2.23	1.81	1.37	0.70	26	2.06	1.71	1.32	0.68
12	2.20	1.80	1.36	0.70	27	2.06	1.71	1.31	0.68
13	2.18	1.78	1.36	0.70	28	2.05	1.70	1.31	0.68
14	2.16	1.77	1.35	0.69	29	2.05	1.70	1.31	0.68
15	2.14	1.76	1.35	0.69	30	2.05	1.70	1.31	0.68
16	2.13	1.75	1.34	0.69	?	1.96	1.64	1.28	0.67

3. Definir las variables que van a línea base.

Las variables que van a línea base deben cumplir las siguientes condiciones:

- Son variables significativas (determinadas en la revisión energética).
- Son variables que no dependen de la operación y del mantenimiento.
- Son variables sobre las cuales no podemos actuar, por tanto, son referenciales para el cálculo del cambio del consumo de energía.

4. Toma de datos.

Los criterios para la selección de datos son:

- Los datos para elaborar el modelo de línea base son una muestra de datos de una población representativa del comportamiento del proceso a modelar.
- La población debe corresponder a un período de al menos un año, si hay que considerar influencias de mercado, ambientales, ciclos de mantenimiento u otras.

- El número de datos de la población total depende de la frecuencia de la medición de los datos.
- Los datos que se van a correlacionar deben ser tomados en iguales intervalos de tiempo. Ej. 7 a.m. a 7 a.m. tanto producción como consumo. Debe revisarse que no han existido eventos conocidos de descalibración de equipos de medición, registros manuales inadecuados y datos en condiciones irregulares de producción.

5. Verificación del coeficiente de varianza de los datos tomados.

Recordamos que para determinar el número mínimo de datos de la muestra asumimos un coeficiente de varianza de 0,5. Para que ese número mínimo se mantenga debemos verificar que los datos reales tomados tienen el valor de cv asumido o menor que ese.

En caso que no sea así se debe ampliar la muestra de datos hasta llegar al cv asumido o recalculamos el número mínimo de datos con el cv real calculado de la muestra tomada.

Cálculo del coeficiente de varianza (4):

$$cv = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (4)$$

Cálculo de la desviación estándar (5):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (5)$$

Cálculo de la varianza (6):

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (6)$$

$$N = n - 1 \quad (7)$$

Donde: σ es la desviación estándar; σ^2 es la varianza; \bar{x} es la media aritmética del consumo en el año 2018; x_i consumo para cada mes; y n es el número de datos.

6. Verificación de R^2 y filtrado de datos.

El coeficiente de determinación (R^2) es la proporción de la variabilidad de la variable dependiente explicada por las variables que componen el modelo. R es el grado de asociación entre la variable dependiente y las variables que componen el modelo.

No podemos esperar en el modelo un $R^2 = 1$, ya que estamos correlacionando el consumo de energía solo con las variaciones de la producción y sabemos que en la práctica no solo la variabilidad de la producción influye en este consumo, también hay otros factores operativos y de mantenimiento que varían y lo afectan.

Mientras más alto es el R^2 menos energía se gastará para suplir la variación de estos otros factores que al final generan pérdidas.

El valor de R^2 también depende del número de datos falsos. Para eliminar la posibilidad de datos falsos en la muestra, debe realizarse un primer filtrado de datos al eliminar aquellos que no representan el comportamiento normal. Ej. Problemas de calibración de instrumentos de medición, mala toma de datos, errores humanos, alteraciones consistentes de datos de producción o consumos.

Luego se realiza la regresión lineal, la cual según Prias y Campos (2013) nos permite obtener importantes datos:

- ✓ Modelo de la variación del consumo de energía con la producción realizada que es la ecuación que representa la línea de los mínimos cuadrados de la muestra de datos (7).
- ✓ Grado de dependencia del consumo de energía con la producción realizada. Esto lo da el valor del coeficiente de determinación del ajuste de la línea de los mínimos cuadrados expresado en por ciento. Refleja la intensidad de la variable significativa de producción en la variación del consumo de energía.
- ✓ Carga base de consumo o energía no asociada a la producción E_0 . Es el intercepto de la línea con el eje y del gráfico. Representa el consumo de energía para una producción igual a 0. Esto indica el consumo de energía para abastecer sistemas auxiliares que no intervienen en la producción como: iluminación, ventilación, consumo en vacío de equipos y líneas de producción, arranques, consumo de energía en tiempos de cambios de productos, pérdidas de energía, etc.

Conociendo esto es posible calcular el porcentaje de energía no asociado directamente a la producción E_{NA} (8):

$$E_{NA} = \frac{E_0}{E_m} * 100\% \quad (8)$$

Dónde: 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 y E_o es el intercepto con eje vertical. 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 (Borroto y Monteagudo, 2006).

- ✓ Mínimo índice de consumo alcanzado en el proceso, representado por el valor de la pendiente de la línea. El valor de la pendiente de la línea se expresa en unidades de producción y significa el mínimo valor del índice de consumo de ese proceso ya que es el valor del índice de consumo cuando $E_o = 0$. Esto tiene importancia para conocer el máximo nivel de eficiencia alcanzable por ese proceso o equipo en las condiciones operacionales y técnicas actuales.
- ✓ Predicción del consumo de energía para nuevos valores de producción. Con la ecuación modelo de consumo en función de la producción es posible predecir el consumo que se alcanzará para nuevos niveles de producción. Esto permite hacer presupuestos de consumo más acertados y conocer si en el futuro el consumo de energía para el mismo nivel de producción fue menor o mayor que el histórico.
- ✓ Nivel de incertidumbre del consumo de energía para una producción dada. Este nivel de incertidumbre es igual al valor de la desviación estándar de los datos reales de la muestra respecto a la línea de ajuste. El valor obtenido indica el error medio del valor del consumo dado por el modelo, respecto al real y también la variabilidad media del consumo de energía para un nivel de producción dado provocado por la variación de los parámetros de control del proceso o equipo estudiado.

Potencial de ahorro por reducción de la variabilidad operacional del consumo de energía. Para determinar este potencial es necesario trazar otra línea de ajuste del

consumo vs producción (variable significativa) y obtener la ecuación modelo que representa esa línea (línea meta). Para trazar esta línea se usarán solo los puntos reales del gráfico que se encuentran por debajo de la línea de ajuste original (puntos que representan las operaciones de menor consumo de energía respecto a la media). Esta nueva línea tiene una nueva ecuación o modelo representado por la ecuación de una línea recta. El intercepto o término independiente de esta nueva ecuación representa la carga base de las mejores operaciones en cuanto a consumo de energía se refiere. La diferencia entre el intercepto E_0 de la línea de ajuste original (para toda la muestra de datos) y el intercepto E_{01} de las mejores operaciones ($E_0 - E_{01}$) será el potencial de ahorro alcanzable por disminución del consumo de energía no asociado a la producción de este proceso. Para lograr este potencial de ahorro es necesario implementar un control operacional que logre reducir la variabilidad del consumo debido al cambio de los parámetros de control operacional.

2.4 Herramientas para monitorear el consumo eléctrico.

Para establecer un SGE_n, es necesario llevar a cabo un análisis de los consumos energéticos, caracterizar energéticamente la empresa y finalmente evaluar los beneficios económicos que puede proporcionar dicho sistema. Para todo ello, se hace necesaria la utilización de herramientas que permitan analizar la tendencia del consumo energético de la empresa respecto a períodos anteriores y monitorear el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. A continuación, se presentan las herramientas más utilizadas para establecer un SGE_n.

- 1. Diagrama de Pareto.**
- 2. Diagrama de Dispersión y Correlación.**
- 3. Gráficos de Control.**
- 4. Gráfico de Consumo y Producción en el Tiempo.**
- 5. Diagrama Índice de Consumo – Producción.**
- 6. Indicador de Tendencia de Desempeño Energético (CUSUM).**

7. Indicador de Desempeño Energético Base 100.

2.4.1 Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite mostrar gráficamente el principio de Pareto o regla 80-20 que identifica el 20% de las causas que provocan el 80% de los efectos. El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas y saber si se pueden resolver o si se pueden evitar.

Presentan la información en orden descendente en unidades y en por ciento. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total (Serna, 2010).

2.4.2 Diagrama de Dispersión y Correlación.

Otra herramienta para establecer un SGE_n es el diagrama de dispersión y correlación. Un diagrama de dispersión o gráfico de dispersión es un tipo de diagrama matemático que utiliza las coordenadas cartesianas para mostrar los valores de dos variables para un conjunto de datos. Los datos se muestran como un conjunto de puntos, cada uno con el valor de una variable que determina la posición en el eje horizontal y el valor de la otra variable determinado por la posición en el eje vertical.

Su objetivo es mostrar si existe correlación entre dos variables y qué carácter tiene esta. Si existe un parámetro que se incrementa o disminuye de forma sistemática se le denomina parámetro de control o variable independiente y habitualmente se representa a lo largo del eje horizontal (eje de las abscisas). La variable medida o dependiente usualmente se representa a lo largo del eje vertical (eje de las ordenadas). Si no existe una variable dependiente, cualquier variable

se puede representar en cada eje y el diagrama de dispersión mostrará el grado de correlación entre las dos variables.

Un diagrama de dispersión puede sugerir varios tipos de correlaciones entre las variables con un intervalo de confianza determinado. La correlación puede ser positiva (aumento), negativa (descenso), o nula (las variables no están correlacionadas). Se puede dibujar una línea de ajuste o de tendencia con el fin de estudiar la correlación entre las variables. Una ecuación para la correlación entre las variables puede ser determinada por procedimientos de ajuste. Para una correlación lineal, el procedimiento de ajuste es conocido como regresión lineal y garantiza una solución correcta en un tiempo finito.

2.4.3 Gráficos de Control.

Una herramienta útil en estos análisis son los gráficos de control, que no son más que diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable (en este caso el consumo de electricidad) en función de ciertos límites establecidos.

Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles como complemento a los diagramas causa y efecto “Ichikawa o de espina de pescado”, para detectar en cuales fases del proceso analizado se producen las alteraciones. Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio del parámetro de salida muy probable de obtener, y a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar (3σ) del valor medio (Monteagudo, 2016)

El gráfico (Fig. 4) consta de la línea central y las líneas límites. Los datos de las variables cuya estabilidad se quiere evaluar se sitúan sobre el gráfico. Si los puntos situados se encuentran dentro de los límites de control superior (11) e inferior (12), entonces las variaciones proceden de causas aleatorias y el

comportamiento de la variable en cuestión es estable. Los puntos fuera de los límites tienen una pauta de distribución anormal y significa que la variable tuvo un comportamiento inestable. Investigando la causa que provocó la anomalía y eliminándola se puede estabilizar el proceso (Boroto & Monteagudo, 2006)

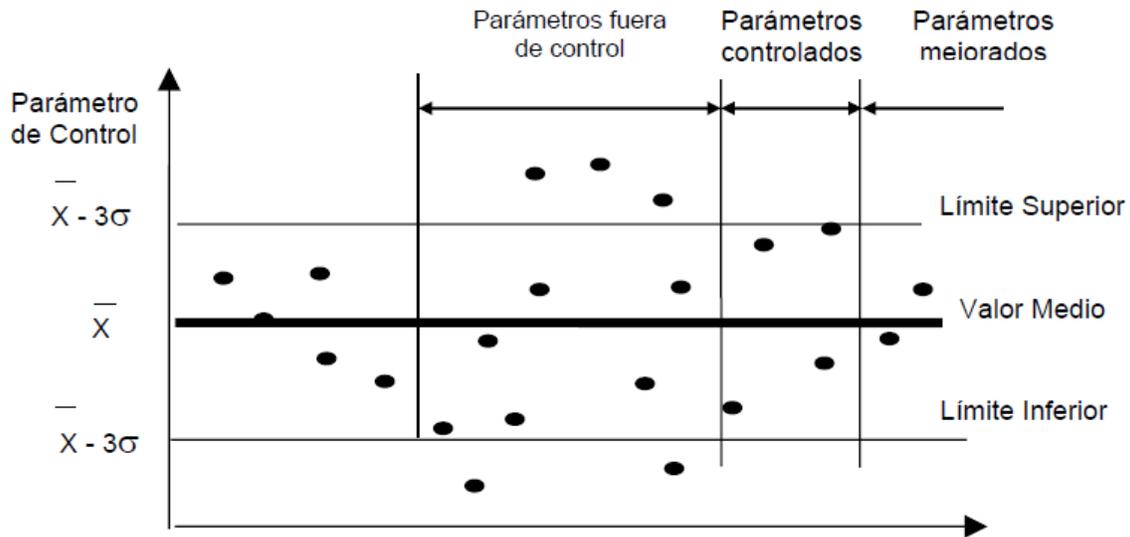


Fig. 3 Gráfico de control. Fuente: Boroto y Monteagudo (2006).

Fórmulas para calcular el límite de control superior (LCS) y el límite de control inferior (LCI).

$$LCS = \bar{x} + 3\sigma \quad (9)$$

$$LCI = \bar{x} - 3\sigma \quad (10)$$

La utilidad de los gráficos de control es conocer si las variables evaluadas están bajo control o no, conocer los límites en que se puede considerar la variable bajo control, identificar los comportamientos que requieren explicación e identificar las causas no aleatorias que influyen en el comportamiento de los consumos, y

conocer la influencia de las acciones correctivas sobre los consumos o costos energéticos (Geovany, 2005).

2.4.4 Gráfico de Consumo y Producción en el Tiempo (E-P vs T).

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

El objetivo de la utilización de este gráfico es para determinar comportamientos anómalos en la variación del consumo energético con respecto a la producción. También se busca poder determinar las causas o factores que produzcan cambios significativos entre la producción y el consumo.

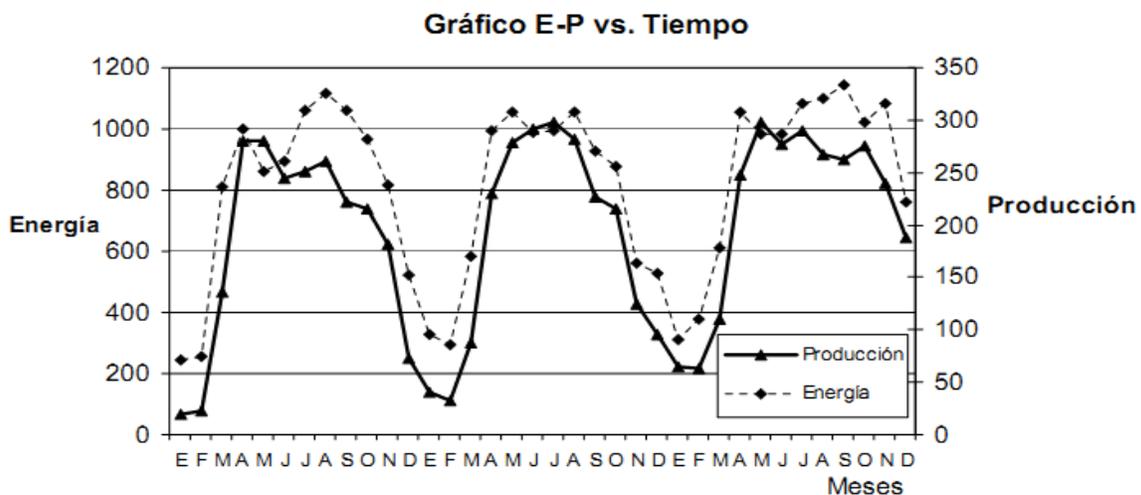


Fig.3. Ejemplo de Diagrama E vs P. Fuente: (Borroto Nordelo & Monteagudo Yanes, 2006), pág. 60

Para realizarlo se registran los valores de consumo energético y producción asociada a los mismos durante períodos de tiempo homogéneos y se grafican en un diagrama la variación en el tiempo de estos parámetros. Luego se comparan las tendencias de variación del consumo con las de la producción en el mismo período.

2.4.5 Grafico de Consumo - Producción (E vs P).

Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. Por ejemplo: una fábrica de helados graficará el consumo de combustible o electricidad versus las toneladas de helados producidas, mientras que en un hotel turístico se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los cuartos-noches ocupados (Borroto Nordelo, 2013).

Este diagrama determina si el indicador es válido, debido a que muestra el nivel de correlación existente entre los componentes de un indicador. 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 (11).

$$E = mP + E_0 \quad (11)$$

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).

Tabla.3. Criterio de confiabilidad para determinar el nivel de correlación. Fuente: (Prías Caicedo & Campos Avella, 2013), pág. 60, tabla 6

Un criterio de confiabilidad de los datos de la muestra es el siguiente:

Valor R2	Relación E y P
0 – 0,04	Despreciable
0,04 – 0,16	Débil
0,16 – 0,49	Moderada
0,49 – 0,8	Fuerte
0,8 - 1	Muy Fuerte.

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 interceptos (E_0) de las dos líneas se obtiene el potencial de ahorro. Esta metodología es la propuesta por (Campos J. , 2012).

2.4.6 Indicador de Tendencia de Desempeño Energético (CUSUM).

Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período 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 (Borroto Nordelo & Monteagudo Yanes, 2006).

Para realizar la suma acumulada se debe seleccionar un período base, tener la ecuación (14) para este período con un coeficiente de correlación significativo, recopilar los datos de E y P para el intervalo de tiempo a analizar y ubicarlos como en la (Tabla 4)

Tabla.4. Tabla de valores de tendencia. Fuente: (Borroto Nordelo & Monteagudo Yanes, 2006), pág. 69

Tabla de valores de tendencia

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

Donde:

E_a – energía consumida en el período actual

P_a – producción realizada asociada a E_a , en el período actual.

ET – energía consumida en el período base si la producción hubiera sido igual a la del período actual, Pa.

m, Eo – pendiente y energía no asociada directamente al nivel de producción de la ecuación de ajuste de la línea recta obtenida para el período seleccionado como base.

(Ea – ET) – diferencia entre la energía consumidos en el período actual y la que se hubiera consumido en el período 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 período no tiene suma acumulativa; este coincide con el valor de la diferencia Ea – ET.

2.4.7 Indicador de Desempeño Energético Base 100

El indicador base 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 (Castrillon & J.Gonzalez, 2013) :

$$IDB_{100} = \frac{E_T - 100}{E_r} \quad (12)$$

Donde: E_T (energía teórica consumida), E_r (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.

2.5 Impacto económico del posible ahorro de energía eléctrica.

Para determinar el posible ahorro económico para el hotel lo primero que se realizó fue calcular el costo promedio del costo del kW/h para el hotel en el año 2018, que fue el que se utilizó como base para el estudio, mediante la ecuación (13).

$$\frac{\text{Energía eléctrica facturada(CUC)}}{\text{Energía eléctrica facturada(kW/h)}} = \frac{\$}{\text{kW/h}} \quad (13)$$

En este caso no se tiene en cuenta la tarifa eléctrica aplicada por la Empresa Eléctrica debido a que no se sabe en qué horario del día exacto se produciría dicho ahorro. Multiplicando el potencial de ahorro obtenido por el costo del kW/h calculado en (13), se obtiene el ahorro en CUC mensual para el hotel.

Capítulo III: Análisis de los Resultados

3.1 Estudio energético de la instalación.

Para el estudio energético de la instalación se procedió a realizar el levantamiento de cargas (figura 5) a partir de los datos tomados por el hotel después de haber realizado el acomodo de carga para una mejor eficiencia.

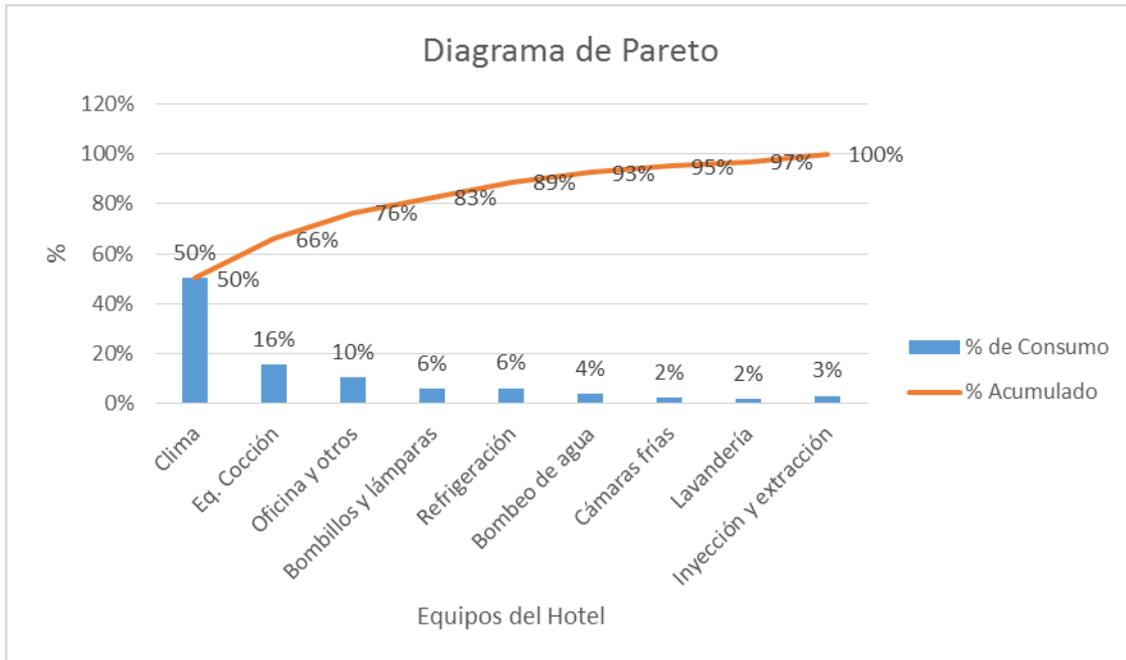


Fig.5. Diagrama de Pareto del hotel. Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la (figura 5) el sistema de climatización representa el 50% del consumo de electricidad del hotel, que, junto a los equipamientos de las oficinas, los equipos de cocción y lámparas y bombillos representan el 82% del consumo. Como el área del clima representa el mayor USE se le realizó un diagrama de Pareto para determinar dónde se encuentra el mayor consumo (figura 6), determinando que las enfriadoras y las bombas de recirculación de agua fría representan el 85% del consumo de dicha área.

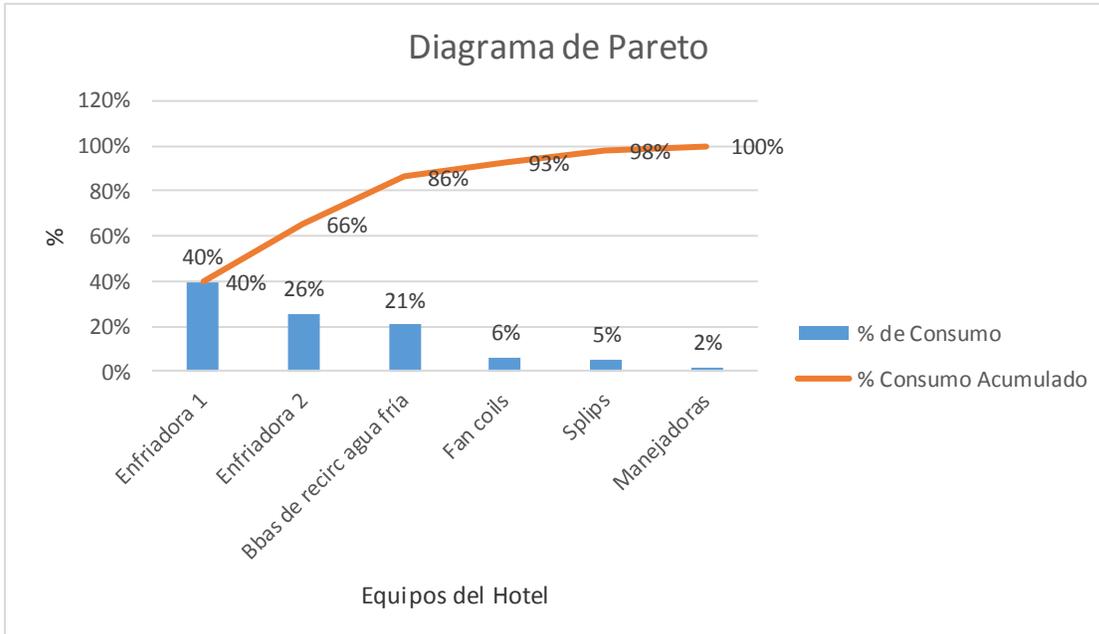


Fig. 6. Diagrama de Pareto del Sistema de Climatización. Fuente: elaboración propia

Hay algunas deficiencias que persisten de años anteriores, como es el caso de la no existencia de instrumentos de mediciones eléctricas para la realización de otras autolecturas por áreas o sistemas y los índices de consumo controlados son globales, desconociéndose los índices por sistemas o áreas.

3.2 Determinación de la temperatura base y del IDEn DGE-HDO.

Como se mencionó en el Capítulo 2 para hallar la temperatura base se utilizó la metodología propuesta por Hitchin (2015). Después de haber realizado los gráficos (Fig. 7) de consumo vs DGE para cada temperatura se determinó que el menor valor que acompaña a la variable cuadrada del polinomio se obtuvo cuando la temperatura fue de 22 °C en el 2018, por lo cual fue tomada como temperatura base.

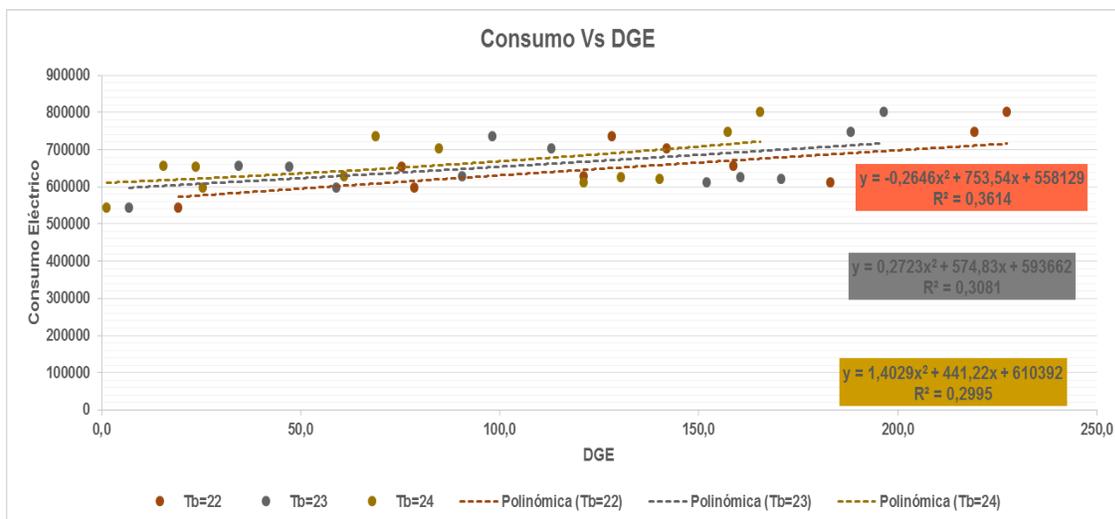


Fig. 7 Determinación de la temperatura base en el hotel Iberostar Bella Vista Varadero en el año 2018. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la temperatura base se determinó los DGE diarios, utilizados para obtener el IDEn: DGE-HDO. Este nuevo indicador además de tener en cuenta la ocupación habitacional tiene en cuenta también la variable temperatura, implícita en la obtención de los DGE.

Tabla 5 Indicador HDO-GDE durante el año 2018 para una temperatura base de 22°C

Obtención de Indicadores Tb=22 (2018)						
Meses	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	HDO	TBS Media (°C)	DGE	HDO°DGE
Enero	31	544524	20181	22,05	19,3	389493
Febrero	28	599089	14361	24,80	78,5	1127339
Marzo	31	656176	21135	23,77	158,6	3352011
Abril	30	736276	21206	26,27	128,1	2716489
Mayo	31	629403	11948	25,92	121,1	1446903
Junio	30	625835	9781	28,35	190,5	1863281
Julio	31	801864	14767	29,34	227,4	3358016
Agosto	31	747339	13123	29,07	219,2	2876562
Septiembre	30	622278	8451	28,69	200,7	1696116
Octubre	31	611212	8033	27,90	183,0	1470039
Noviembre	30	703674	15586	26,70	141,9	2211653
Diciembre	31	654863	16617	24,42	75,4	1252922

3.3 Determinación de la línea base energética y la línea de meta.

La norma ISO 50001: 2011 establece como principal objetivo la mejora del desempeño energético de la organización. Para lograr esto resulta de vital importancia establecer la línea de base energética con la información de la

revisión energética inicial considerando un período para la recolección de datos adecuado al uso y el consumo de energía en la organización.

En el estudio realizado como hay influencia de la temperatura, o sea, de las estaciones del año el período base escogido es anual.

A continuación, se realiza el gráfico (Fig. 8) de consumo vs producción para analizar si puede ser utilizado como línea base.

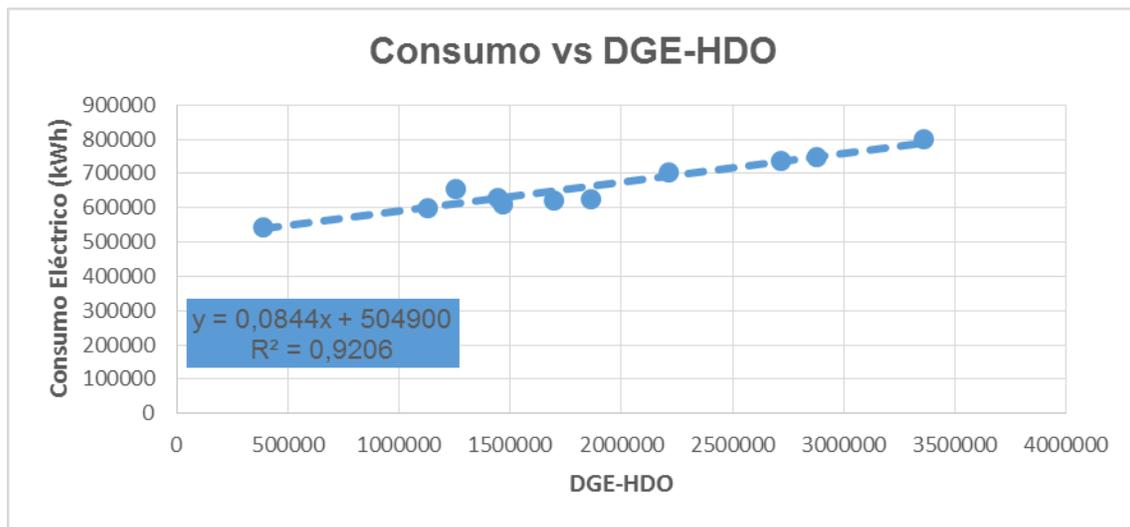


Fig. 8 Modelo inicial. Fuente: Elaboración propia.

Como muestra anteriormente el indicador HDO-GDE presenta una alta correlación con el consumo eléctrico, con valor de $R^2 = 0,9206$. Esto indica que influye en más del 92% en el consumo eléctrico del hotel, lo cual sugiere que es ideal para estimar el desempeño energético.

El modelo de la variación del consumo de energía con la producción realizada es $y = 0,0844x + 504900$

La carga base de consumo o energía no asociada a la producción $E_0 = 504900 \text{ kWh}$. Este será el consumo si la producción fuera 0. Este es el

consumo de energía para abastecer sistemas auxiliares que no intervienen en la producción.

Para establecer la línea energética meta se excluyó del dominio los valores por encima de la línea base y utilizando únicamente aquellos puntos que representan mejor desempeño energético.

Al determinar la línea de meta por la metodología empleada como se observa en la (Fig. 9) se puede llegar a la conclusión de que no se pueden obtener resultados lógicos

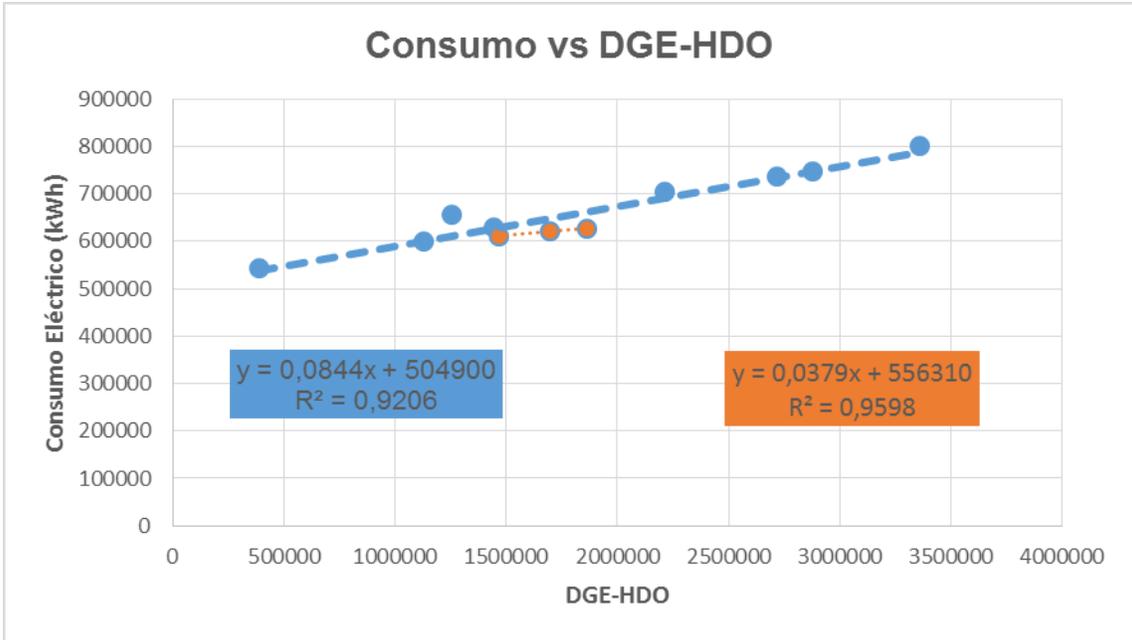


Fig. 9 Representación de la línea base y meta. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Herramientas para el monitoreo del consumo eléctrico del hotel.

3.4.1 Gráficos de Control.

En las figuras 10 y 11 se muestran los gráficos de control del consumo de energía eléctrica anual de los años 2018 y 2019 , considerando como límite superior más tres veces la desviación estándar y límite inferior menos tres veces la desviación estándar según lo establecido por Borroto y Monteagudo (2006).

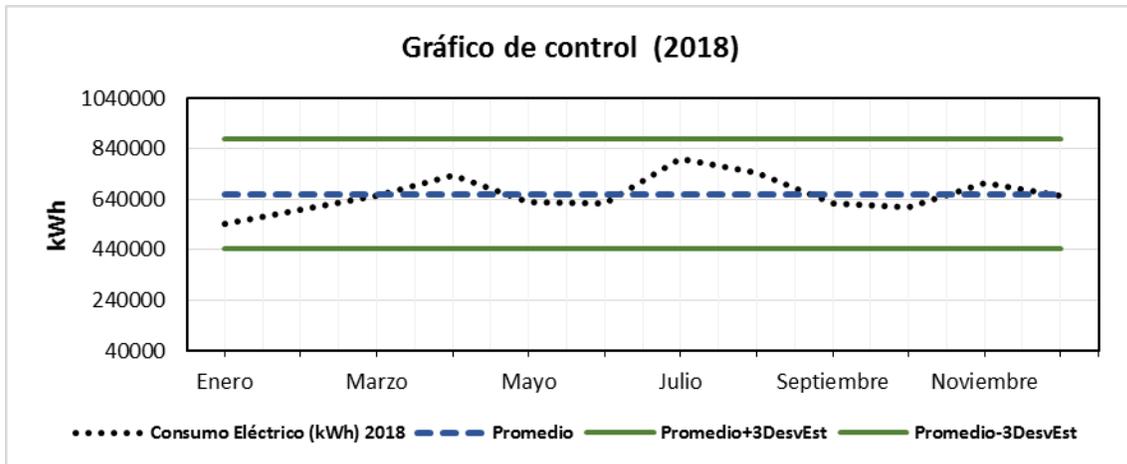


Fig. 10 Control del consumo de energía 2018 en el hotel Bella Vista Varadero. Fuente: Elaboración propia.

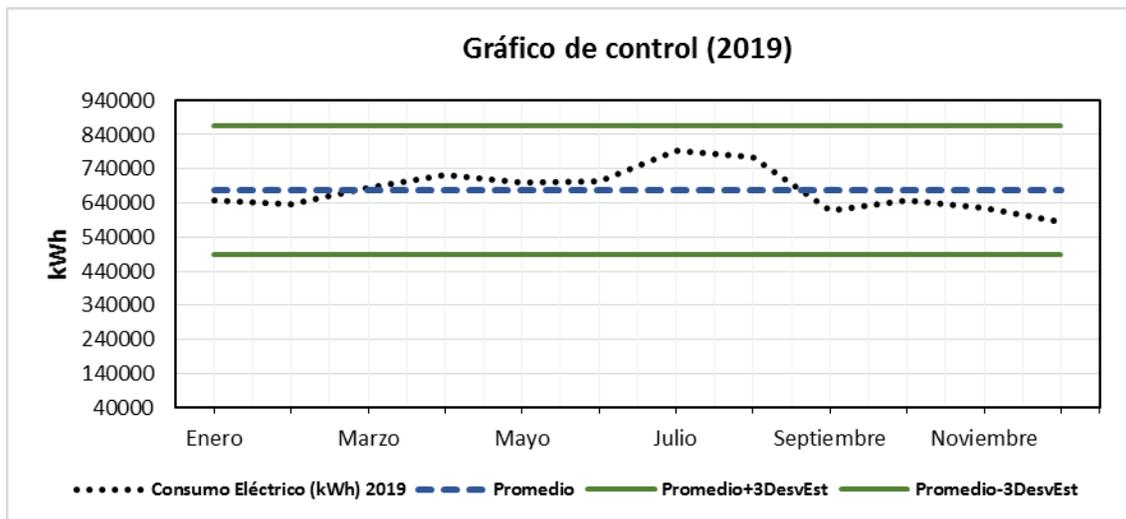


Fig. 11 Control del consumo de energía 2019 en el hotel Bella Vista Varadero. Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos de control se observa que la línea que representa el consumo de energía eléctrica en el hotel no corta los límites superior e inferior establecidos por lo que esta variable se mantiene estable durante el transcurso de los años analizados.

3.4.2 Gráficos de control y producción en el tiempo.

Como se puede apreciar en el gráfico (Fig. 12) entre los meses de mayo a julio se manifiesta un incremento del consumo eléctrico, lo cual coincide con el aumento de la producción debido a que hay mayor ocupación habitacional por lo tanto y mayor temperatura. En el mes de agosto se observa como a pesar de haber disminuido la producción con respecto a julio el consumo eléctrico disminuye, lo que significa que se tomaron las medidas necesarias para compensar esto.

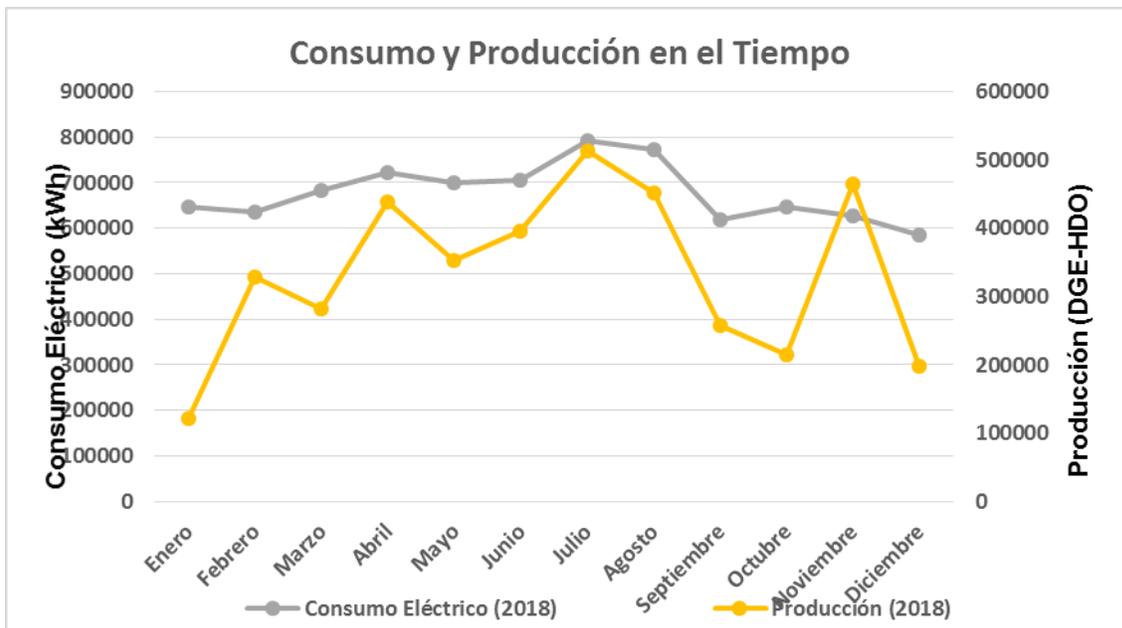


Fig. 12 Gráfico de consumo y producción en el tiempo en el hotel Iberostar Bella Vista Varadero. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Gráficos del Diagrama Índice de Consumo - Producción (Ic vs P).

En el siguiente gráfico (Fig. 13) se relaciona el índice de consumo contra la producción en los meses del año 2019.

En este gráfico la línea azul representa el índice de consumo de la línea base y los puntos anaranjados representan los valores puntuales de índice de consumo real obtenidos en 2019. Como se observa en casi todos los meses el desempeño

energético fue eficiente, ya que la mayoría de los puntos se encuentran por debajo de la curva. El valor que se encuentra por encima de la curva coincide con la menor producción y por tanto es un valor lógico, pues a bajos valores de producción el índice se incrementa. Después en la medida que se incrementa la producción los índices mejoran y se encuentran por debajo del correspondiente a la línea base.

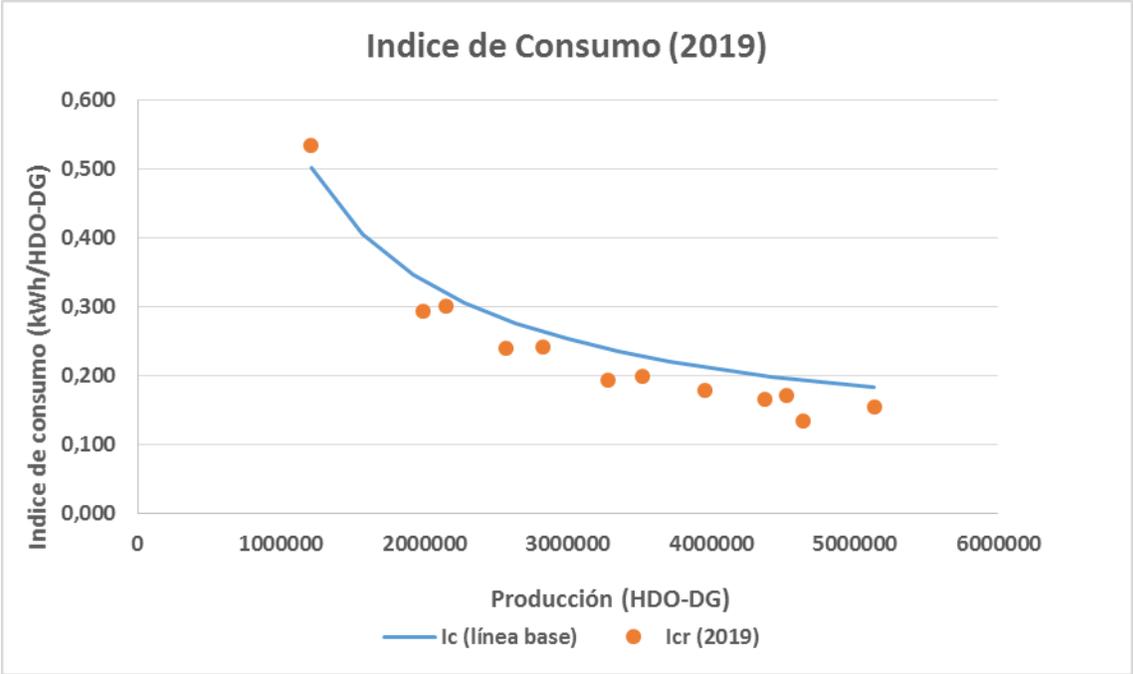


Fig. 13 Gráfico de índice de consumo vs producción en el año 2019 en el hotel Iberostar Bella Vista Varadero. Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Gráfico de Indicador de Desempeño Energético Base 100.

Como puede apreciarse en el gráfico (Fig. 14) el $IDB_{100} > 100$ para todos los meses, excepto enero, lo que significa que mejoró el desempeño energético en todos esos meses, con respecto a la línea de base. Es decir, disminuyó el consumo energético real por debajo del teórico calculado para los niveles de producción de esos meses.

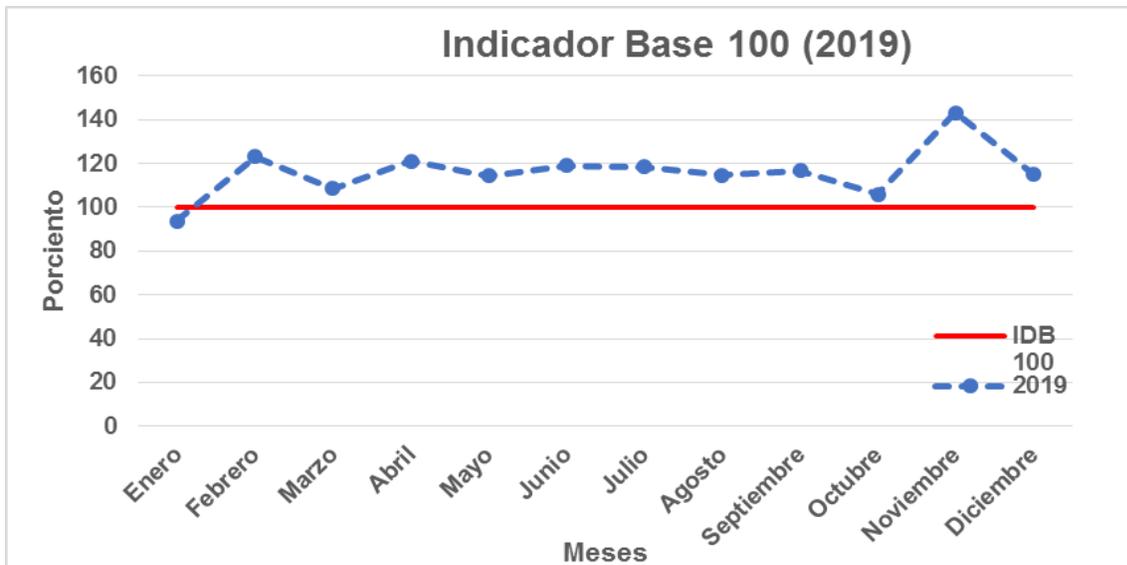


Fig. 14 Gráfico IDB 100 en el año 2019 para el hotel Iberostar Bella Vista Varadero.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Gráfico Indicador de Tendencia de Desempeño Energético.

Durante casi todo el año del 2019 se manifiesta un comportamiento eficiente del desempeño energético como se muestra en la (Fig. 15). Esto trae consigo una disminución gradual del consumo de energía, con respecto a la línea base. Al final del año se observa una suma significativa que alcanza el valor de 1400 MWh. Este valor es el ahorro que se alcanzó en el año, con respecto a la línea base, por mejora de la eficiencia.

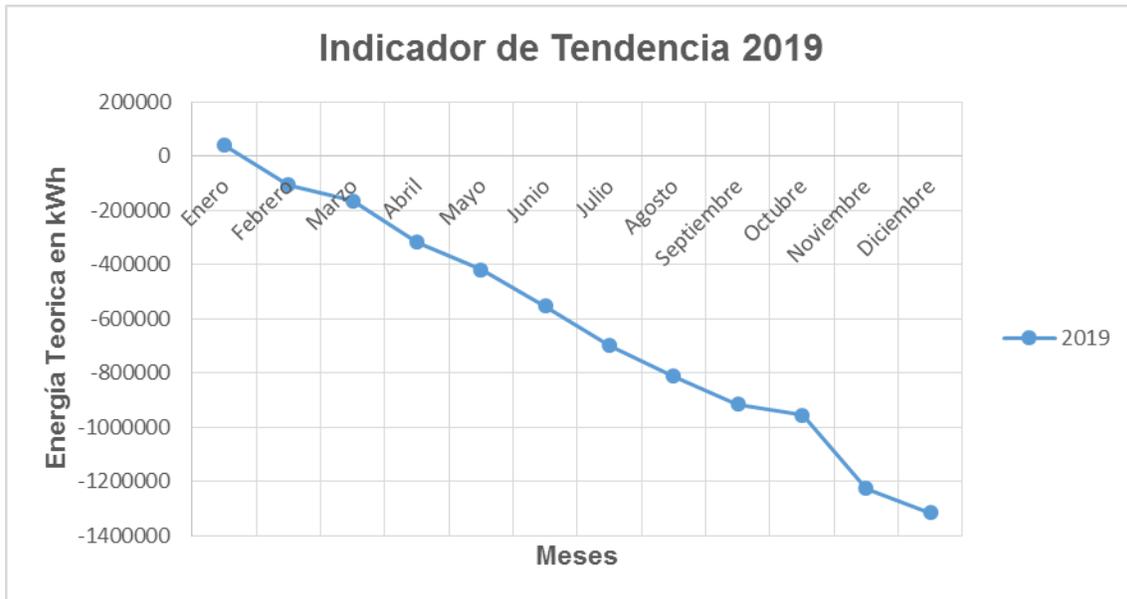


Fig. 15 Gráfico de tendencia o suma acumulada en el año 2019 en el hotel Iberostar Bella Vista Varadero. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Calculo del ahorro económico.

Para el cálculo del ahorro económico se toman como referencia el consumo eléctrico y los gastos asociados tomados del hotel después de la entidad haber realizado el acomodo de carga, lo cual trajo consigo un ahorro de 17.99 centavos de dólar por kWh lo que representa un total de 27786CUC. Con este dato y el ahorro anual calculado en el epígrafe anterior de 1400 kWh, se determina un ahorro económico de 251,86 USD en el año.

Conclusiones

- Se detectó que el índice de consumo kWh/HDO establecido para evaluar la eficiencia energética del centro es el correcto. Este no tenía en cuenta todos los factores que influyen en el consumo energético de la instalación, pero se puede apreciar una buena correlación entre el consumo de electricidad y la ocupación habitacional.
- En el año 2019 se aprecia mejoras en el índice de consumo de la línea base lo que representa un desempeño energético eficiente debido a que a finales del 2018 se realizó en el hotel un acomodo de cargas.
- El mayor consumo eléctrico del hotel lo produce el área clima, siendo las enfriadoras las mayores consumidoras con un 64% del consumo de esa área, seguido por las bombas de recirculación de agua fría con un 22% y los fan coil con un 7%.
- Se logró ahorrar al hotel 17,99 centavos de dólar por kWh lo cual representa 251,86 USD de ahorro de divisas para el país.

Recomendaciones

1. Realizar la metodología de estimación de la línea de meta por otra vía de cálculo ya que la curva que se muestra no es lógica.
2. Instalar un metro contador para el área del clima para tener un mayor control del consumo de dicho uso Significativo de la Energía.
3. Instalar para cada local que tenga clima centralizado válvula de tres vías y termostato para regular el flujo de aire frío que salen por las rejillas del clima.
4. Respetar el ciclo de mejora continua (Planificar-Actuar-Verificar-Hacer) y no conformarse con los resultados obtenidos, buscando siempre una mejora continua.
5. Planificar una mejor gestión del mantenimiento preventivo.
6. Tomar medidas en el período de baja turística que es el que presenta peor desempeño energético para lograr una disminución del consumo eléctrico.

Bibliografía

- Alvarez-Guerra Plasencia, M., Cabello Eras, J. J., Sousa Santos, V., Sagastume Gutiérrez1, A., Valdivia Nodal, Y., Madrigal, J. A., . . . Vega Lara, B. (2016). *Propuestas de Indicadores de Desempeño Energetico para el Pronostico y Control del Consumo de Electricidad en Hoteles*. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.
- APIEM. (2010). *Guia Basica de Eficiencia Energetica*. Madrid: Fundacion de la Energia de la Comunidad de Madrid.
- Borroto Nordelo, A. (2013). *Recomendaciones Metodologicas para la implementacion de Sistemas de Gestion de la Energia segun la Norma ISO-50001*. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.
- Borroto, & Monteagudo. (2006). *Gestion y Economia Energetica* . Cienfuegos de Cienfuegos.
- Bou Gonzalez, M. A. (2016). *Estudio para la implementacion de la norma NC-ISO 50001:2011 en el Hotel Iberostar Varadero*. Matanzas: Universidad de Matanzas .Facultad de Ciencias Tecnicas.Ingenieria Mecanica.
- Campos, J. (2012). *Guia para la Implementacion de un Sistema de Gestion de la Energia basado en la ISO 50001*.
- Campos, J. (2013). *Linea base, indicadores de desempeño energetico*.
- Castrillon, & J.Gonzalez. (2013). Mejoramiento de la eficiencia energetica de la industria del cemento por proceso humedo a travez de la implementacion de un sistema de gestion de la energia. *Redalyc*.
- Eras, C., Gutierrez, S., & Alexis. (2016). Tools to improve forecasting and control of the electricity. En *Journal of Cleaner Production* (págs. 803-813).
- Freixanet, F. (2010). *Grados-Dias en la Arquitectura*.
- Geovany, M. y. (2005). Herramientas para la gestion energetica empresarial. En S. e. Technica.
- Giz. (2013). *Sistemas de gestion energetica*. Colombia.
- Hitchin. (2015). Monthly air-conditioning energy demand calculations for building energ y performance rating. *Journal of Building Ser vices Engineer ing Researce* .
- Jimenez Sosa, A. A. (2016). *Implementacion de la etapa de planificacion energetica con base a la norma NC-ISO 50001 Hotel Jagua Gran Caribe*. Cienfuegos: Univercidad de Cienfuegos .Facultad de Ingenieria Mecanica.
- Krese, & M.Prek. (2012). Analisis of building electric energy consumption data using an improved cooling degree day method. En Krese, *Journal of Mechanical Engineering* (págs. 107-114).
- Krese, P., & Butala. (2011). *Analysis of Building Electry Energy Consumption Data Using and Improved Cooling Degree-Day Method*. Slovenia: University of Ljubljana.
- Laurencio, M., & Reuda, R. (2012). *``Caudal variable en la climatización centralizada de hoteles (parte 2)*. Moa: Retos Turísticos.
- Laurencio, R. M. (2013). *Procedimiento para la Optimización Energética de la Operación de los Sistemas de Climatización Centralizados Todo-Agua en oteles*. Moa,Cuba.
- Lindelof. (2016). Obtenido de www.researchgate.net
- Martinez, L. A. (2012). El desarrollo sustentable. *Manual de Eficiencia Energética*, 16-17.
- Martinez, L. A. (2012). *Manual de Eficiencia Energética*. El Salvador: AES.

- Monteagudo. (2016). *Linea base e indicadores de desempeño energetico para uso en NC ISO 5000:2011* .
- Moya, R. S. (2018). *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía*. México: Bárbara Guerrero Palacios.
- ONUUDI. (2014). *Guía Práctica para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. ONUUDI.
- Prias, C. (2013). *Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. Colombia: Bogota D.C.
- Riveron Puga, Z. (2017). *Herramientas para el analisis del consumo electrico en el Hote Royalton Hicacos teniendo en cuenta la noma NC ISO 5001:2011*. Matanzas: Departamento de Ingenieria Mecanica. Facultad de Ciencias Tecnicas .Universidad de Matanzas.
- Rosa, & J.Pineda. (2017). *Metodo de calculo del indice de eficiencia energetica de los hoteles ESPOL-RTE*.
- Sánchez, A. C. (2012). *Gestión de la Eficiencia Energética:cálculo de consumo,indicadores y mejora*. España: AENOR.
- Serna. (2010). *Gestion energetica empresarial una metodologia para la reducción de consumo de energia*.
- Trejo, L. M. (2015). *Importancia de las Normas en un Sisema*. San Salvador: Sociedad Mexicana de Normalizacion y Certificacion,S.C.
- Velarde, M. y. (2017). *Nuevos indices de consumo energetico para hoteles tropicales. Revista de Ingeniería Energética*.

