

*Universidad de Matanzas  
Facultad de Ciencias Técnicas*



# **EVALUACIÓN DE INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO APLICADO A UN GRUPO DE HOTELES.**

*Tesis Presentada como Requisito Parcial  
para la Obtención del Título de  
Máster en Tecnología Energética*

**Autor: Ing. Rolando Vázquez Posada**

*Matanzas, 2024*

*Universidad de Matanzas  
Facultad de Ciencias Técnicas*



## **EVALUACIÓN DE INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO APLICADO A UN GRUPO DE HOTELES.**

*Tesis Presentada como Requisito Parcial  
para la Obtención del Título de  
Máster en Tecnología Energética*

**Autor: Ing. Rolando Vázquez Posada**

**Tutor: Dr. C Osvaldo Fidel García Morales.**

*Matanzas, 2024*

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD Y NOTA LEGAL

Yo, Rolando Vázquez Posada, declaro que soy el único autor de la siguiente tesis, titulada Evaluación de indicadores de desempeño energético aplicado a un grupo de hoteles y, en virtud de tal, cedo el derecho de copia de la misma a la Universidad de Matanzas, bajo la licencia *Creative Commons* de tipo *Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada*, con lo cual se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de la obra y no realice ninguna modificación de ella.

Matanzas, febrero de 2024.

Rolando Vázquez Posada

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

\_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Vocal

## RESUMEN

Dentro del proceso de perfeccionamiento económico que se está llevando a cabo en el país, se encuentra la disminución de las importaciones, incluyendo los combustibles, siendo de suma importancia la aplicación de medidas de eficiencia energética. En esta investigación se hace una revisión bibliográfica sobre el uso de indicadores de desempeño energético (IDE) para contribuir a mejorar la eficiencia energética de grupos de hoteles, permitiendo la disminución del consumo de combustibles fósiles, los cuales son los principales causantes del cambio climático. Se determinan los IDE de un grupo de hoteles obtenidos mediante una metodología para el cálculo de los días grados de enfriamiento por los 4 métodos más utilizados en la bibliografía (ASHRAE, Erbs, Hitchin, Schoenau-Kehrig) y un método elaborado en nuestro país (Rodríguez-Santos), se selecciona la temperatura base de 23,5 °C utilizando el método de la línea de comportamiento y se establece la línea base para el año 2017. Dentro de los IDE analizados se encuentran: el consumo específico de energía (Cee) y la varianza energética (Ev) y también se determina la suma acumulativa de la varianza energética (CUSUM), arrojando como resultado que en el año 2018 el grupo de hoteles ahorró un total de 431,6 MWh si se tomaran como referencia los patrones de consumo del año base.

Palabras claves: Consumo en Hoteles; Días Grado de Enfriamiento; Eficiencia Energética; Indicadores.

## **ABSTRACT**

Within the process of economic improvement that is being carried out in the country, there is a decrease in imports, including fuels, with the application of energy efficiency measures being of utmost importance. In this research, a bibliographic review is carried out on the use of energy performance indicators (EnPIs) to contribute to improving the energy efficiency of hotel groups, allowing the reduction of the consumption of fossil fuels, which are the main causes of climate change. The EnPIs of a group of hotels are determined, obtained through a methodology for calculating cooling degree days using the 4 most used methods in the literature (ASHRAE, Erbs, Hitchin, Schoenau-Kehrig) and a method developed in our country (Rodríguez-Santos), the base temperature of 23,5 °C is selected using the performance line method and the baseline is established for the year 2017. Among the EnPIs analyzed are: the specific energy consumption and the variance energy and the cumulative sum of the energy variance is also determined, resulting in that in 2018 the hotel group saved a total of 431.6 MWh if the consumption patterns of the base year were taken as a reference.

**Keywords:** Consumption in Hotels; Cooling Degree Days; Energy Efficiency; Indicators.

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica .....	7
1.1 Consumo de energía en hoteles.....	7
1.1.1 Contaminación ambiental .....	9
1.1.2 Eficiencia Energética .....	11
1.2 Días Grados de Enfriamiento.....	12
1.2.1 Temperatura base.....	15
1.2.2 Métodos para la determinación de la temperatura base .....	21
1.3 Indicadores de desempeño energético. ....	22
1.4 Sistema de gestión de la energía NC ISO 50001. ....	25
1.5 Conclusiones parciales del capítulo. ....	28
Capítulo 2 Materiales y Métodos .....	29
2.1 Metodología para el cálculo de los IDE.....	29
2.2 Cálculo de los Indicadores de desempeño energético.....	35
2.2.1 Consumo específico de energía .....	35
2.2.2 Varianza energética.....	37
2.2.3 Suma acumulativa de la varianza energética. ....	39
2.3 Análisis estadístico del modelo de regresión lineal .....	42
2.4 Conclusiones parciales del capítulo. ....	42
Capítulo 3 Análisis de los Resultados .....	44
3.1 Área de estudio y datos de entrada. ....	44
3.2 Selección de los hoteles y periodos a analizar .....	46
3.3 Software “IDELIN_HOTEL” para la determinación de la línea base. ....	50
3.3.1 Establecimiento de la Temperatura base (Tb). ....	51
3.3.2 Determinación de los DGE y filtrado de datos. ....	52
3.3.2 Determinación de las HDG y la línea base del grupo de hoteles.....	57
3.4 Indicadores de Desempeño Energético. ....	58
3.4.1 Indicador de Consumo específico de energía (Cee). ....	59
3.3.2 Indicador de Varianza energética (Ev). ....	61
3.3.3 Suma acumulativa de la varianza energética (CUSUM). ....	62
3.5 Análisis estadístico del modelo de regresión lineal. ....	64
3.6 Conclusiones parciales del capítulo. ....	67
Conclusiones .....	68
Recomendaciones .....	69
Referencias Bibliográficas.....	70

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de energía es fundamental para el desarrollo y crecimiento económico de los países, en especial para los más pobres. El aumento de la población y el uso irracional de combustibles fósiles como principal fuente de energía, ha provocado una mayor liberación de dióxido de carbono a la atmósfera, trayendo consecuencias negativas para el medio ambiente. El 2017 fue un año récord de desastres naturales, incluidos huracanes, incendios forestales, olas de calor y sequías que provocaron pérdidas de 31 mil millones de dólares a nivel mundial (Adams y Nsiah, 2019).

La sostenibilidad se ha convertido en uno de los problemas más explosivos en los países desarrollados y en desarrollo en las últimas dos o tres décadas. La calidad ambiental sostenible siempre ha jugado un papel fundamental en la vida humana. Puede lograrse reduciendo las emisiones de carbono y los gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, tanto las emisiones de carbono y los GEI se consideran los principales actores en la aceleración de la contaminación ambiental a nivel mundial. Esto trae consigo la creciente necesidad de la protección del medio ambiente para lo cual es imprescindible la introducción de fuentes limpias y eficientes de utilización de energía. Según Usman *et al.*, (2021), las emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub> contribuyeron a que en el 2016 aumentara en 1,26 °C como promedio la temperatura mundial, siendo un tema que debe examinarse, en conjunto con la introducción de fuentes de energía limpia para la reducción de las emisiones globales. El aumento de la población mundial ha elevado la demanda mundial de energía. También el desarrollo económico de los países depende inevitablemente de la energía. Por estos motivos, numerosos estudios han reflejado la necesidad de disminuir el nivel de contaminantes, para contribuir a la existencia de la vida humana.

Con el fin de incrementar el nivel de producción, numerosas empresas han priorizado reducir el costo sin considerar ningún costo ambiental. Se espera que la demanda energética total mundial en el año 2020, aumente más de un tercio para el 2035. El control de las emisiones contaminantes y la mitigación de la reserva de contaminantes no es solo el principal esquema de los gobiernos locales, sino también el principal objetivo de las economías en desarrollo. La población mundial está aumentando rápidamente, con respecto al proceso de crecimiento en los países en desarrollo que es de aproximadamente



80 millones de personas por año, junto con la necesidad de más recursos energéticos (Yi *et al.*, 2019)

Hoy en día a nivel mundial se calcula que el 50% del consumo de la energía está relacionada con las actividades de climatización, tanto para el enfriamiento como para el calentamiento de locales. El 80% de los cuales está relacionado con garantizar unas condiciones térmicas confortables en los edificios (Borowski *et al.*, 2020). Estudios revelan que en Reino Unido, entre 2017 y 2018 el sector comercial representó la mayor proporción del consumo de energía final (energía total consumida por los usuarios finales) y en toda Europa contribuyó al 40% del consumo total de energía (Salem *et al.*, 2020). Por su parte Seok-Ho *et al.*, (2018) afirma que, los edificios consumen más del 40% del consumo energético mundial y que el CO<sub>2</sub> emitido por los edificios representa un tercio de las emisiones totales de este gas.

Por esto es necesario analizar los datos de consumo de electricidad de los edificios para lograr un uso razonable de energía y ahorrar energía. En sus estudios Shao *et al.*, (2020) resalta la importancia de la utilización de los medios tradicionales para analizar y diagnosticar el consumo de energía de estas edificaciones. Para los edificios existentes, se conocen los parámetros estructurales y los datos climáticos de la ubicación de estos. Más importante aún, los datos históricos de consumo de energía del edificio también se pueden obtener mediante métodos de medición científica. Por lo tanto, a partir de esta información se puede analizar el consumo energético futuro. Establecer un modelo de predicción de datos de uso de energía, es una forma eficaz de utilizar los datos históricos de consumo del edificio y sus parámetros de funcionamiento.

El consumo de energía en los edificios públicos representó aproximadamente el 26,4% en China y según las estadísticas sobre la intensidad del consumo de electricidad de los edificios públicos, el crecimiento del área de edificios públicos se desaceleró, mientras que la intensidad del consumo de electricidad aumentó exponencialmente. La construcción urbana creó en gran medida una carga ambiental, provocando la aceleración del cambio climático. Una gestión adecuada del consumo de energía también puede proporcionar un

gran apoyo al desarrollo sostenible de los edificios e incluso de todas las ciudades (Wu *et al.*, 2020).

Con la creciente preocupación por los posibles impactos del calentamiento global, el gobierno del Reino Unido, junto con otros países europeos, han anunciado su compromiso con el objetivo de reducir en un 80% las emisiones de GEI para 2050, en comparación con los niveles de las emisiones de GEI en 1990. Dado que uno de los principales medios para reducir las emisiones de GEI es el uso eficiente de la energía, es necesario lograr altos niveles de eficiencia energética en diferentes sectores (Amirkhani *et al.*, 2020).

Las emisiones de GEI crecieron a un ritmo más rápido durante la primera década del siglo XXI que en las tres décadas anteriores, alcanzando los niveles más altos en la historia de la humanidad, a pesar de los esfuerzos realizados a nivel mundial. En la Unión Europea en el 2017, los países líderes en emisiones de gases de efecto invernadero fueron: Alemania (23%), Reino Unido (11%) e Italia (10,7%). Las emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyen en gran medida al calentamiento global y representan alrededor del 80% de todas las emisiones de GEI de la Unión Europea. La aplicación de tecnologías de las Fuentes Renovables de Energía (FER) se considera la mejor apuesta para lograr los objetivos internacionales de protección climática. En consecuencia, los avances en los sistemas basados en FER se han experimentado en los últimos años, y los sectores empresariales emergentes han seguido la investigación y el desarrollo de más rápido crecimiento hacia la mitigación de las emisiones de GEI. Desde 2011 la innovación y la acción del Sistema de FER representaron más de la mitad de toda la capacidad construida en el sector eléctrico. En el 2017, la participación de las energías renovables en el consumo total de energía final fue del 18,3% (Irena, 2017). Sin embargo, la característica inherente de las FER de intermitencia y alta fluctuación establece una serie de limitaciones para una mayor penetración en el mercado energético global, ya que la creciente penetración de la generación renovable local y el surgimiento de soluciones que permitan una respuesta rápida a la demanda, están imponiendo nuevos requisitos a la transmisión y redes de distribución (Kourkoumpas *et al.*, 2018).

Esta tendencia negativa sobre el elevado consumo de energía en instalaciones hoteleras puede detenerse mediante el uso de FRE y nuevas soluciones que permitan aumentar la eficiencia energética. Los efectos así conseguidos no solo son beneficiosos para el medio ambiente, sino, sobre todo, para el sector, cuyos costes operativos se reducen significativamente (Borowski *et al.*, 2020).

Los hoteles se encuentran entre los mayores consumidores de energía para edificios comerciales, debido a varios factores como lo son el patrón de carga de 24 horas, diseño del edificio, edad, tamaño y tipo. La adopción de las tecnologías de energía renovable y eficiencia energética en el sector hotelero ayuda a reducir sus emisiones de GEI y proporcionar electricidad sostenible (Dhirasasna y Sahin, 2021).

Actualmente en el país se están llevando a cabo transformaciones económicas, las cuales, tienen dentro de sus principales objetivos, reducir todas las importaciones, incluyendo los combustibles. También se está abogando por el uso racional y eficiente de la energía. Para el sector hotelero, la eficiencia en el consumo de energía supone una disminución de los gastos, así como un menor impacto sobre el medio ambiente.

Dentro del proceso de perfeccionamiento en cuanto al sector energético, el país se ha ido acogiendo a las normas internacionales, ejemplo de esto es la implementación de la norma cubana ISO 50001, aprobada en 2018, la cual propicia una mejora en el sistema de gestión de la energía, trayendo consigo una mayor eficiencia en su uso, ayudando a reducir el consumo y la emisión de gases contaminantes (*NC ISO 50001:2019*).

Para una correcta aplicación de la norma cubana en todo este proceso es importante la utilización de indicadores que permitan evaluar el comportamiento de los consumos energéticos. Asimismo, un estudio sobre los impactos negativos del uso de la energía en el sector poblacional en los Estados Unidos con la utilización de los días grados de calentamiento (DGC) y los días grados de enfriamiento (DGE), en el que plantea que el consumo de energía está altamente asociado con los días grados (DG) y que para una temperatura promedio por encima de los 21°C se requiere el cálculo de los DGE, mientras que para temperaturas inferiores a los 18°C se calculan los DGC (Alola *et al.*, 2019). También refiere que al seleccionar una temperatura base ( $T_b$ ) debe tenerse en cuenta la

adición del calor generado por los ocupantes en sus actividades. El nivel de la demanda o el consumo de energía de una instalación, puede ser anticipado con la utilización de los días grados (DG).

Oregi y Jimenez-Bescos, (2020) también concuerdan en la utilización de los DG y su estrecha relación con el comportamiento del consumo de energía y afirma que la precisión en la estimación está influenciada por la correcta selección de la  $T_b$ , siendo un aspecto fundamental en el cálculo de los DG. Asimismo, la  $T_b$  seleccionada puede ser determinada en un punto donde la instalación no requiere del consumo de energía para su enfriamiento, ni calentamiento. Dicho autor, plantea que, si es calculada correctamente, entonces la correlación entre la energía consumida y los DG será una línea recta. Independientemente de si es seleccionada o calculada, también se pueden tomar valores normalizados, pues en la realidad esta oscila dentro de un intervalo de temperaturas normalizado. Como consecuencia una incorrecta selección puede generar un error en el cálculo de los DG.

En el polo turístico de Varadero, aunque se viene aplicando el proceso de perfeccionamiento en el sector energético, no existe información sobre el uso de indicadores de desempeño energético (IDE) adecuados para grupos de hoteles. Esto trae consigo que no se tiene una herramienta que permita evaluar los indicadores en grupos de hoteles, trayendo consigo el siguiente problema científico:

Problema científico:

¿Cómo analizar de manera adecuada los indicadores de desempeño energético con la utilización de los días grados de enfriamiento aplicado a un grupo de hoteles?

Hipótesis:

Es posible analizar el desempeño energético de un grupo de hoteles a partir de la utilización de la línea base que se construya, teniendo en cuenta la ocupación y los días grados de enfriamiento.

Objetivo general:

Desarrollar un procedimiento que permita analizar los indicadores de desempeño energético a un grupo de hoteles a partir de su línea base con la utilización de los días grados de enfriamiento y las habitaciones días ocupadas.

Objetivos específicos:

1. Realizar un análisis del estado del arte sobre la determinación de los días grados de enfriamiento, así como de indicadores de desempeño energéticos dentro del sector hotelero.
2. Seleccionar los días grados de enfriamiento de mejores resultados.
3. Calcular los indicadores de desempeño energético del grupo de hoteles a partir de la línea base.
4. Valorar el comportamiento de cada indicador aplicado al grupo de hoteles.

En lo referente al empleo de los **métodos de investigación** se utilizó en primer término, como **método teórico**: el método **dialéctico-materialista** por la necesidad de garantizar una labor objetiva; **histórico-lógico** (permitió valorar la historicidad y la lógica implícita en la investigación); **analítico-sintético** (con su aplicación se complementaron tareas relacionadas con la elaboración del fundamento teórico de las fuentes bibliográficas). Como **métodos de nivel empíricos** que permitieron acopiar los datos necesarios para la obtención suficiente de información en el conocimiento del problema entre ellos: **Estudio de documentos** para la obtención e interpretación de la información referente a los objetivos planteados. **Método estadístico**: para el análisis de los datos registrados durante el proceso de la investigación, así como la comparación entre los resultados como apoyo al análisis cualitativo realizado.

## **CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En este capítulo se realiza una búsqueda bibliográfica sobre los principales temas a abordar en esta investigación. Se establecen conceptos fundamentales para el entendimiento del análisis que se realizará en los próximos capítulos y se definen los principales métodos utilizados en la bibliografía consultada para el cálculo de los DG. También se hace una revisión sobre los IDE y su importancia dentro de los sistemas de gestión de la energía.

### **1.1 Consumo de energía en hoteles.**

Toda actividad humana supone, de una forma u otra, consumo de energía. Cuando se habla de consumo de energía, se piensa casi inmediatamente en los grandes complejos industriales, pero a todas las escalas el hombre utiliza energía para fines muy diferentes: confort térmico, transportación o alumbrado. De manera general se puede definir a la energía como la capacidad para realizar un trabajo. A partir de la energía, el hombre modifica la naturaleza, fabrica productos elaborados, los distribuye y ofrece diferentes tipos de servicios a la sociedad (Soriano, 2011).

Las edificaciones destinadas a los hoteles poseen características propias que las diferencian de otro tipo de edificios. Son instalaciones con un uso permanente a lo largo de cada año y donde su principal objetivo reside en garantizar confort y calidad para los huéspedes en todos sus servicios (Castilla et al., 2010). En las instalaciones hoteleras predomina el movimiento de los ocupantes desde la habitación hacia las áreas exteriores, la presencia de cristales, la diversidad entre habitaciones, así como el amplio uso del sistema de aire acondicionado durante todo el día. Estos factores inciden decisivamente en los altos niveles de carga térmica. Inmersos en la situación energética global, el sector hotelero en todos los países se imponen objetivos relacionados con el control de la demanda y el ahorro de energía. En las instalaciones de este sector existe un gran potencial para el ahorro energético. Un sistema de climatización con gran flexibilidad para satisfacer las condiciones de confort de los ocupantes durante las 24 horas se hace un requisito imprescindible. La apertura frecuente de las ventanas y puertas requiere de un método flexible que proporcione un control individual de la temperatura de confort para cada huésped independientemente de la temperatura en el resto de las habitaciones. Este control

le permite ventilar refrescar y calentar la habitación como lo desee el inquilino. La demanda de energía y de consumo de combustible de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado tiene un impacto directo en el costo de la operación de un edificio y un impacto indirecto en el medio ambiente (Acosta et al., 2011).

El impacto directo del funcionamiento de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en el consumo energético de una edificación alcanzan hasta el 60%; de ahí la importancia de prestar especial atención a esta temática. La gestión adecuada de la demanda de energía eléctrica de un edificio, ha sido un gran anhelo de los gerentes de operación de los mismos, desde que comenzó la crisis energética y el aumento del precio del petróleo. El uso correcto de la energía en la edificación posibilita bajar los costos de operación en dos sentidos. El primer aspecto está relacionado con el uso final de la energía a través del alumbrado, la climatización y los equipos eléctricos, e implementar las acciones necesarias para reducir la cantidad de energía a consumir. El segundo aspecto está relacionado con las tarifas impuestas por las compañías suministradoras de electricidad, cuando la demanda excede los límites convenidos para la edificación en cuestión (Acosta et al., 2011).

Se espera que el cambio climático conduzca a un aumento del 74% al 118% para el año 2100 en cuanto a la refrigeración y una disminución del 0,7% anual para la calefacción (Field y Barros, 2014). Sin embargo, el efecto del cambio climático en la demanda de calefacción y refrigeración de los edificios depende en gran medida de la ubicación del edificio que determina las condiciones climáticas y de las características del edificio (Ramon y Allacker, 2019). En los edificios, es importante conocer la influencia del cambio climático en la demanda de calefacción y refrigeración desde la fase de diseño, hasta su posterior etapa de explotación (Attia *et al.*, 2012 ; Bragança *et al.*, 2014). Los edificios resistentes al clima son aquellos edificios de consumo casi nulo de acuerdo con los requisitos de la UE para 2020 de buen confort térmico, de los cuales el rendimiento energético del edificio es menos sensible a la influencia del cambio climático.

En cuanto a la iluminación, dentro de los hoteles es uno de los servicios básicos, sin importar el tamaño, categoría o ubicación. Una buena iluminación es esencial para el

bienestar y la salud. Se estima que podrían lograrse reducciones de entre el 30% y el 50% en el consumo eléctrico debido a la iluminación, gracias al uso de componentes más eficaces, empleo de sistemas de control y a la integración de la luz natural. Sin embargo, el ahorro energético en iluminación no debe estar reñido con la calidad del servicio, por lo que los sistemas de iluminación del hotel tienen que mantener los niveles de iluminación adecuados para cada actividad, creando un ambiente agradable y una buena sensación de confort (Soriano, 2011).

La industria hotelera trae consigo múltiples impactos sobre el ambiente. Esto involucra a muchas actividades que pueden traer efectos negativos en materia ambiental. Algunos de estos impactos están relacionados con la construcción y operación de infraestructura en general (carreteras, aeropuertos) e instalaciones turísticas (restaurantes, hoteles, centros comerciales). No obstante, los mayores impactos ambientales vienen dado por su elevado nivel de consumos de energía eléctrica que proviene en gran parte de la utilización de combustibles fósiles.

### **1.1.1 Contaminación ambiental**

La contaminación de la atmósfera y el consiguiente aumento en la temperatura global del planeta es materia que hoy en día concierne al mundo. Es reconocido por gobiernos y autoridades científicas, que es urgente y necesario actuar para contener esta amenaza. En este contexto el gas contaminante más relevante es el dióxido de carbono CO<sub>2</sub> producido por el consumo de combustibles fósiles, que al aumentar sus niveles de concentración en la atmósfera provoca el calentamiento global y el cambio climático. El CO<sub>2</sub> es el principal producto final del consumo de combustible para generar energía, por lo que todos los sectores que demanden altas cantidades en consumo de energía estarán contribuyendo al calentamiento global y cambio climático. Por su parte Kourkoumpas *et al.*, (2018) afirma que las emisiones de GEI crecieron a un ritmo más rápido durante la década de 2000 a 2010 que, durante las tres décadas anteriores, alcanzando los niveles más altos en la historia de la humanidad, a pesar de los esfuerzos coordinados de las políticas mundiales para limitarlas. Las emisiones de CO<sub>2</sub> son uno de los principales contribuyentes al calentamiento global y representan alrededor del 80% de todas las emisiones de GEI.



Los combustibles fósiles son sustancias que se formaron a lo largo de cientos de millones de años a partir de la descomposición y transformación de la materia orgánica de antiguos organismos vivos. En ese periodo dichos organismos, que en su crecimiento habían captado energía solar y al ser materia orgánica tenían un alto contenido de carbono, quedaron sepultados bajo capas de sedimentos. El calor y la creciente presión ejercida por las capas de sedimentos acumulados, transformaron gradualmente los restos de estos antiguos organismos en hidrocarburos: petróleo, carbón mineral y gas natural (Arrastía, 2015). Al quemar los combustibles fósiles se rompen las cadenas de hidrocarburos que los componen y la energía almacenada en sus enlaces químicos se libera en forma de energía térmica. Esa energía térmica o calor, como comúnmente se le llama, se puede transformar en energía mecánica y emplearla en procesos industriales, para generar electricidad o en los motores de los medios de transporte. Los combustibles fósiles no solo liberan la energía solar antigua que estaba almacenada en los enlaces químicos de las cadenas de hidrocarburos. También se libera el carbono viejo que al combinarse con el oxígeno de la atmósfera da lugar a un dióxido de carbono nuevo.

Debido a que los combustibles son básicamente carbono almacenado a través de la fotosíntesis durante miles de años, su utilización está liberando este carbono en forma de CO<sub>2</sub> a una velocidad superior a la que el ciclo natural del carbono es capaz de absorberlo, generando así una acumulación de gases en la atmósfera. Además del carbono, los combustibles fósiles tienen otros componentes que causan daños sobre el medio ambiente, como son el azufre y el nitrógeno (Nematchoua *et al.*, 2021). Existen tres aproximaciones para el manejo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la primera, es la captura del CO<sub>2</sub> para disponerlo en depósitos que lo puedan mantener el tiempo suficiente sin afectar los ecosistemas; la segunda es sustituir las actuales fuentes energéticas por otras con bajo contenido de carbono e incluso libre de éste como son las energías renovables y, por último, se propone incrementar la eficiencia en la conversión de energía primaria y en el uso que se hace de ésta.

### **1.1.2 Eficiencia Energética**

Según Al-Hadhrami, (2013), los seres humanos no tienen más remedio que reducir el consumo de energía para combatir los cambios ambientales adversos. Esto se puede lograr aumentando la eficiencia de la conservación de energía y la explotación de fuentes de energía nuevas y limpias. Por su parte Shim y Lee, (2018) plantean que las acciones destinadas a mejorar la eficiencia energética en el sector industrial siguen siendo una de las opciones más rentables para lograr la reducción de las emisiones de GEI en toda la economía y mejorar la seguridad energética y productividad.

Los hoteles constituyen una pieza clave de la industria turística y como tal, demandan un enorme compromiso en implementar métodos que les permitan optimizar sus recursos y mantener sus instalaciones eficientes y de calidad. Entre otros recursos, los establecimientos hoteleros utilizan una notable cantidad de energía para mantener los servicios que brindan a sus clientes, es por ello que el control de la demanda y el ahorro de energía se convierten en compromisos que deben asumir (Soriano, 2011).

La eficiencia energética como concepto, agrupa acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar la calidad, el bienestar o la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro (Creutzig *et al.*, 2022). Simultáneamente se logran reducciones de las emisiones de GEI y de la contaminación en general.

Es preciso tener presente que la eficiencia energética en su concepción más amplia pretende mantener el servicio que presta, reduciendo al mismo tiempo el consumo de energía. Es decir, se trata de reducir las pérdidas que se producen en toda transformación o proceso, incorporando mejores hábitos de uso y mejores tecnologías (Mondejar *et al.*, 2021).

El objetivo de mejorar la eficiencia energética es reducir el consumo total de energía de los edificios y la demanda eléctrica máxima, reducir la contaminación del aire, las contribuciones al calentamiento global y el agotamiento del ozono causado por la producción de energía, frenar el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles y reducir los costos de energía lo que supone a su vez ahorros (Burdová y Vilčeková, 2012).

El comportamiento de la demanda de energía es de gran importancia para la gestión de los sistemas energéticos en hoteles. La demanda total de recursos energéticos primarios depende tanto de la eficiencia de los procesos utilizados para convertir la energía primaria en energía útil, como de la intensidad con la que se utiliza la energía útil para prestar servicios. Por ejemplo, la demanda total de un recurso primario como el carbón depende no sólo de la eficiencia con la que el carbón se convierte en electricidad, sino también de la intensidad con la que se utiliza la electricidad para prestar servicios como iluminación o refrigeración (Burdová y Vilčeková, 2012). Por lo tanto, el rendimiento energético es el principal campo de evaluación utilizado en hoteles de todo el mundo.

Belmonte *et al.*, (2013) plantea que la energía renovable y la eficiencia energética se perfilan como opciones realistas para desarrollar la oferta de energía. En este sentido, la política nacional de desarrollo de las energías renovables debe ser firme, particularmente si pretende cumplir los compromisos asumidos en acuerdos internacionales y regionales en cuanto a la incorporación de energías renovables en las matrices energéticas. Por otra parte, para alcanzar la sustentabilidad en estas fuentes de energía, especifica entre otras cosas: “Energizar” en lugar de “Electrificar”, las poblaciones necesitan energía para subsistir y también para producir; ver complementariedad en lugar de competencia entre energías convencionales y renovables; tener en cuenta las condiciones ambientales, ya que un sistema no puede ser trasplantado de manera discrecional sin atender a las barreras culturales hasta llegar al consenso.

## **1.2 Días Grados de Enfriamiento.**

No se puede medir la eficiencia energética de un edificio sin ajustar todos los factores que afectan el consumo de energía. Las variaciones en la temperatura exterior explican la mayor parte de la variación en las demandas de calefacción de espacios, pero la relación no es lineal. Cada edificio tiene una temperatura exterior característica, la  $T_b$ , por encima de la cual las demandas de calefacción del edificio están cubiertas por ganancias internas y libres. Por debajo de esta temperatura, la demanda de calefacción del edificio aumenta linealmente (Lindelöf, 2017).

Las variaciones de temperatura ambiente afectan directamente al transporte, los recursos hídricos, la generación de energía, la agricultura, la construcción y, en particular, el consumo de energía para la refrigeración y calefacción de edificios. Varios estudios de casos han indicado impactos considerables de los cambios de temperatura en el consumo de energía en los edificios (Lam *et al.*, 2004 ; Matzarakis y Balafoutis, 2004 ; Christenson *et al.*, 2006). Los DG, que es el truncamiento de la serie de temperaturas diarias a una  $T_b$ , generalmente se acepta como un índice de consumo de energía para la calefacción y refrigeración de los edificios. Este método es el más simple utilizado en las industrias de calefacción, ventilación y aire acondicionado para estimar los requisitos de energía de calefacción o refrigeración (Al-Hadhrami, 2013). Por su parte Büyükalaca *et al.*, (2001) coincide con Al-Hadhrami, (2013) en que son los más simple y también plantea que aunque existen diferentes métodos de análisis de energía, que varían en complejidad, son herramientas bien establecidas para el análisis de la energía que consumen los edificios, la eficiencia de los equipos de climatización y la temperatura interior. Coincidiendo con los autores anteriores D'amico *et al.*, (2019) plantea que los DG representan un método antiguo pero simple utilizado en las industrias de calefacción, ventilación y aire acondicionado para estimar las necesidades de energía de calefacción y refrigeración. Harvey, (2020) en su estudio plantea que, el índice de DGC y el índice de DGE son índices simples que se han utilizado en la literatura energética como indicadores de las diferencias relativas esperadas en los requisitos de energía de calefacción y refrigeración, respectivamente, para un edificio determinado en diferentes climas o como indicadores de cómo cambiarán los requisitos de calefacción y refrigeración a medida que el clima se caliente en el futuro. El índice de DGC suele estar dado por la suma anual de las desviaciones de la temperatura media diaria del aire exterior ( $T_{ext}$ ) de alguna temperatura de referencia o base ( $T_b$ ), sumada solo cuando  $T_{ext} < T_b$ . De manera similar, el índice de DGE generalmente está dado por la suma anual de las desviaciones de la temperatura media diaria del aire exterior de alguna temperatura base ( $T_b$ ), sumada solo cuando  $T_{ext} > T_b$ .

D'amico *et al.*, (2019) define los DG como la suma de solo las diferencias positivas entre la  $T_b$  y la temperatura exterior promedio diaria, extendidas a todos los días de un período convencional de doce meses. En el caso de DGC, las diferencias entre la temperatura exterior y la  $T_b$  se calculan solo cuando la temperatura exterior cae por debajo de la  $T_b$

durante el período de calefacción. Por el contrario, en el caso de DGE, las diferencias se calculan solo cuando la temperatura exterior excede la  $T_b$  durante el período de enfriamiento.

Bhatnagar *et al.*, (2018) por su parte plantea que la integral de la diferencia de temperatura resume el efecto de las temperaturas exteriores en un edificio. Los promedios de la suma en períodos cortos de tiempo, como diarios u horarios, y pueden denominarse DG o HG (horas grados). Para calentar, es DGC y para enfriar es DGE.

Los DG se calculan como la desviación de una  $T_b$  expresada en grados Celsius ( $^{\circ}$  C) y generalmente se acumulan durante un año. En consecuencia, la extrema y la duración de las temperaturas exteriores se capturan en esta métrica.(Delphine *et al.*, 2020)

El valor de los DG es una medida que se utiliza para indicar la demanda de energía para calentar o enfriar edificios. Los requisitos mensuales o anuales de refrigeración y calefacción de edificios específicos en diferentes ubicaciones se pueden estimar mediante el concepto de DG. El método asume que las necesidades energéticas de un edificio son proporcionales a la diferencia entre la temperatura media diaria y la  $T_b$ . La  $T_b$  es la temperatura exterior por debajo o por encima de la cual se necesita calefacción o refrigeración (Büyükalaca *et al.*, 2001).

Definido por Lindelöf, (2017) como la integral a lo largo del tiempo de la diferencia positiva entre la  $T_b$  y la temperatura exterior, los DGC mide qué tan “más frío” que la  $T_b$  ha sido un período dado. En estado estable, la demanda de calefacción de un edificio durante un período será proporcional a los DGC de ese período, siempre que los DGC se hayan calculado a partir de la  $T_b$  correcto. También resalta que, no se pueden sacar conclusiones significativas sobre la eficiencia energética de calefacción de un edificio sin un conocimiento preciso de esta  $T_b$ ; sin embargo, no hay consenso sobre cómo estimar este parámetro clave. Los DGC están estrechamente relacionados con el concepto de  $T_b$ .

### 1.2.1 Temperatura base

La temperatura de referencia para los edificios (temperatura base) corresponde a la temperatura exterior a la que los sistemas de calefacción o refrigeración no necesitan funcionar para mantener las condiciones de confort térmico interior. (D'amico *et al.*, 2019)

Las necesidades de confort térmico y calidad del aire interno, son exigencias en los sistemas de calefacción y aire acondicionado (Soriano, 2011). Las condiciones de espacio que afectan el confort de los ocupantes, debido a que dañan el índice de pérdida de calor del cuerpo son:

- La temperatura del aire en el cuarto: Afecta la capacidad de convección y evaporación de pérdida de calor del cuerpo. Por lo general el cuerpo se siente más confortable en un rango de temperatura entre 22 y 26 °C durante el invierno y de 22 - 24 °C durante el verano.
- El contenido de humedad: Afecta el índice de pérdida de calor por evaporación del cuerpo, una alta humedad provoca que el aire circundante absorba menos calor del cuerpo, haciendo que se sienta más calor. En cambio, una baja humedad conduce a que el aire absorba mayor cantidad de calor del cuerpo, provocando que se sienta más frío.
- La temperatura en las superficies que rodean la superficie del cuarto: Afecta las pérdidas de calor por radiación del cuerpo.
- El índice de movimiento del aire: Afecta al calor transferido por el cuerpo por convección y evaporación, un incremento en el movimiento del aire aumenta el índice de evaporación del calor del cuerpo para ayudar a mantenerlo fresco.

La  $T_b$  es una notación fundamental que permite comprender la relación entre el clima, la ocupación, el diseño de la construcción del edificio y las trayectorias del flujo de energía en un edificio. Es la temperatura del aire exterior a la que la temperatura interior se encuentra en un rango cómodo sin el uso de calefacción o refrigeración mecánicas. En clima frío, el edificio pierde calor hacia el ambiente, parte de este calor es reemplazado por

ganancias de calor internas y externas, como ocupantes, iluminación, equipos y ganancias solares al espacio y el sistema de calefacción suministra el resto. Dado que estas ganancias de calor contribuyen a la calefacción dentro de un edificio, hay una temperatura exterior por debajo de la temperatura de punto de ajuste ocupada, a la cual el sistema de calefacción no debería funcionar. La temperatura a la que las ganancias de calor y las pérdidas de calor son iguales se toma como  $T_b$  para el calentamiento. De manera similar, para un edificio enfriado activamente, la  $T_b$  es la temperatura exterior a la que el sistema de enfriamiento no necesita funcionar y nuevamente está relacionada con las ganancias de calor internas y externas al espacio (Bhatnagar *et al.*, 2018).

La  $T_b$  para DGC y DGE debe ser la temperatura exterior tal que, dada una temperatura del aire interior específica, el flujo de calor hacia el exterior de la conducción a través de la envolvente del edificio (ventanas, paredes, techo y planta baja) y del intercambio de aire interior y exterior (a través de fugas y ventilación controlada) compensa exactamente las ganancias de calor interno (de personas, iluminación, equipos) y la ganancia de calor solar (en gran parte, la radiación que ingresa al edificio a través de las ventanas). En tales condiciones, la temperatura del aire interior especificada se mantendrá sin la operación del sistema de calefacción o refrigeración (es decir, sin uso de energía de calefacción o refrigeración). Solo cuando la temperatura exterior desciende por debajo (o por encima) de la temperatura base, el sistema de calefacción (o el sistema de refrigeración) debería funcionar (Harvey, 2020).

La  $T_b$  junto con los DG siguen siendo esenciales para analizar la carga y el consumo de energía del edificio (Bhatnagar *et al.*, 2018).

En estudios como (De Rosa *et al.*, 2015 ; Conradie *et al.*, 2018 ; Miranda *et al.*, 2023), la  $T_b$  es la temperatura interior de referencia. Aun así, esto conduce a diferencias en los DGC ya que el punto de ajuste de temperatura difiere. La investigación de Conradie *et al.*, (2018) utiliza una  $T_b$  de 18 ° C para Sudáfrica. La investigación de J. Spinoni, (2015) utiliza una  $T_b$  de 15,5 ° C para Europa. En la investigación de M. De Rosa, (2014), situado en Italia, la  $T_b$  se establece en 18,3 ° C, el punto de referencia de temperatura interna para calefacción. La investigación de G. Chiesa, (2015) utiliza una  $T_b$  de 20 ° C para Italia. La

investigación de Q. Meng, (2017) presenta una  $T_b$  media de  $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  para siete tipos de edificios no residenciales que van desde  $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  para edificios de almacenamiento hasta  $17,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  para clubes y centros comunitarios situados en Cardiff (Reino Unido). La investigación de K. Papakostas y N. Kyriakis, (2015) se refiere a  $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  como temperatura estándar, pero los autores enfatizan que esto conduce a una sobreestimación del DGE ya que las ganancias solares e internas equilibrarán parte de las pérdidas de calor. En consecuencia, en su estudio para Atenas y Tesalónica (Grecia), los DGE se calculan con una  $T_b$  que varían de  $10$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  por  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Por lo que se puede afirmar que la  $T_b$  a la que se encuentra una buena correlación depende en gran medida de la región, el tipo de edificio y el uso y las características térmicas (Mourshed, 2012 ; Q. Meng, 2017). Esto explica la diversidad de  $T_b$  utilizadas.

(Bhatnagar *et al.*, 2018) hace un estudio en la India donde determina la temperatura base para los valores medios de la  $T_b$ , donde varían de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  para edificios de oficinas y hoteles. (Büyükalaca *et al.*, 2001) hace un análisis de los DGE y DGC de Turquía, donde utiliza 6  $T_b$  diferentes ( $18, 20, 22, 24, 26$  y  $28^{\circ}\text{C}$ ) en 72 provincias donde se revelan significativas diferencias entre los valores de las provincias para una misma  $T_b$ . Kurekci, (2016) por su parte hace un análisis de Turquía donde utiliza  $18^{\circ}\text{C}$  y  $22^{\circ}\text{C}$  para calcular los DGC y los DGE respectivamente para hallar el aislamiento óptimo de las paredes de edificios residenciales. El autor D'amico *et al.*, (2019) utiliza numerosas simulaciones dinámicas (13 modelos simulados en cinco zonas climáticas, representadas por 3 ciudades diferentes) en edificios no residenciales caracterizados por un alto rendimiento energético. Mediante un análisis de los resultados, identifica una correlación específica para cada caso, en el que la demanda de energía térmica fue función de los DG, y se valida mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Además, plantea que una comparación de las relaciones obtenidas de los conjuntos de los diferentes datos meteorológicos marca el hecho de que la evaluación de la demanda de energía del edificio depende de los DG, solo si el índice climático es una función de los mismos datos meteorológicos utilizados durante las simulaciones, demostrándose por los coeficientes  $R^2$  más altos.

Al no poder calcular por sí mismos la  $T_b$  de un edificio, los profesionales de la energía deben confiar en las normas y estándares publicados por los organismos oficiales. Pero no



existe una  $T_b$  aceptado a nivel mundial. En el Reino Unido, Meng *et al.*, (2021) recomienda una  $T_b$  de  $15,5^{\circ}\text{C}$  para los DGE. La norma europea EU ISO 15927-6 ha cambiado el nombre de DGC a Diferencia de temperatura acumulada (ATD), utilizando una  $T_b$  de  $12^{\circ}\text{C}$ . Esa norma ha sido adoptada en Suiza bajo el nombre de SIA 381.206, recomendando la utilización para el cálculo de las ATD de una  $T_b$  de 8, 10 y  $12^{\circ}\text{C}$ . Antes de esa norma, cada región de Suiza publicó una variante de DGC definida en SIA 381/3: 1982 usando dos  $T_b$  (frecuentemente diferentes de una región a otra) (Lindelöf, 2017).

Tradicionalmente, los DGC se calculan a una  $T_b$  de  $18^{\circ}\text{C}$  y los DGE se determinan a una  $T_b$  de  $22^{\circ}\text{C}$  para un edificio típico sin aislamiento. Sin embargo, el valor promedio de la  $T_b$  varía ampliamente de un edificio a otro, debido a las preferencias personales y a las diferentes características del edificio, como el aislamiento térmico, las fugas de aire y las ganancias solares (Büyükalaca *et al.*, 2001) . Por lo tanto, los DG con una  $T_b$  de  $18^{\circ}\text{C}$  en calefacción o  $22^{\circ}\text{C}$  en refrigeración deben emplearse con precaución (Kreider *et al.*, 2009). Las  $T_b$  tradicionalmente utilizadas han sido cuestionadas por varios autores. Said *et al.*, (2003) encontró que una  $T_b$  de calefacción en el rango de 18 a  $21^{\circ}\text{C}$  es apropiada en Arabia Saudita dependiendo del nivel de aislamiento. La  $T_b$  de enfriamiento recomendada es entre  $23$  y  $25,5^{\circ}\text{C}$  para edificios sin aislamiento y entre  $25,5$  y  $27,8^{\circ}\text{C}$  para edificios bien aislados. El-Shaarawi y Al-Masri, (1996) plantean que los DG se calculan convencionalmente para una  $T_b$  de referencia de  $18,3^{\circ}\text{C}$ , aunque para una residencia típica de Jordania,  $18,3^{\circ}\text{C}$  no es una  $T_b$  adecuada para evaluar DGC, siendo la temperatura recomendada de  $15,5^{\circ}\text{C}$  y para una residencia típica de Arabia Saudita entre  $17,8$  y  $21,1^{\circ}\text{C}$ , dependiendo del nivel de aislamiento. Por su parte Badescu y Zamfir, (1999) informaron que una  $T_b$  de  $18^{\circ}\text{C}$  para los cálculos de DGC es apropiada para habitaciones de dormitorios y recepciones en Rumania.

Además de la  $T_b$ , el valor de la temperatura externa es muy importante; no tener en cuenta la variación de este valor en el cálculo de DG hace que no sea fiable para su uso en la evaluación de la demanda energética del edificio. Por ejemplo, en Londres en el 2008, el valor de los DGE a una  $T_b$  de  $22^{\circ}\text{C}$  muestran un aumento de 20 con respecto a 1976-1995, y se espera un aumento del 200% para el 2080 (Roberts, 2008). Mientras es concebible que los DGC caigan entre un 30% y un 40% en el Reino Unido para la década de 2080, debido

a un aumento constante de la temperatura exterior. En este contexto, será importante evaluar el impacto del cambio climático en la estimación de los DG y las demandas de energía de los edificios. Se han realizado trabajos para diferentes países: Rumania (Badescu y Zamfir, 1999), Turquía (Büyükalaca *et al.*, 2001 ; Dombaycı, 2009), Australia (Wang *et al.*, 2010), Grecia (Papakostas y Kyriakis, 2005), China (Lam *et al.*, 2005 ; Jiang *et al.*, 2009) , España (donde se analizan las mediciones de temperatura de 31 estaciones meteorológicas entre el 1958-2005 y se hace el análisis centrado en las estaciones de temperaturas más críticas para DGE en verano en el cual el modelo de comportamiento aumenta en un 5%/década y DGC en invierno en el cual el modelo decrece -1,8%/década) (Ortizbeviá *et al.*, 2012), Suiza (Christenson *et al.*, 2006), Arabia Saudita (Al-Hadhrami, 2013) (Şen y Kadioglu, 1998), Marruecos (Idchabani *et al.*, 2015) y Francia (Kohler *et al.*, 2016). Aunque en general el efecto de la temperatura sobre el consumo de energía es similar en la mayoría de los estudios, el cambio relativo en la demanda de energía difiere significativamente según la ubicación, el período de tiempo y la metodología utilizada. Se reconoce que la estimación y predicción correctas de la demanda energética de los edificios representa un punto crucial para realizar los análisis que pueden determinar la mejor política energética para el cumplimiento de las normas para edificios (D'amico *et al.*, 2019).

Cabe destacar que, si los DG no se calculan correctamente, la determinación del rendimiento energético del edificio en función de los DG puede conducir a evaluaciones imprecisas. Para vincular el rendimiento energético del edificio con el valor correcto de DG, es necesario calcular los DG basándose en el mismo Año Meteorológico Típico utilizado para la evaluación energética del edificio. Debido a que los requisitos de energía del edificio dependen estrictamente del clima externo, es más conveniente proporcionar una correlación que permita la evaluación de la demanda de energía con un alto nivel de precisión y sin costos computacionales excesivos o experiencia del usuario, sabiendo solo la dependencia de los valores de DG. Sin embargo, la estrecha correlación entre DG y el consumo de energía del edificio es válida solo si la evaluación de energía del edificio se ha realizado utilizando la misma base de datos actualizada que llevó a la determinación de los DG. Cada ciudad se caracteriza por un determinado valor de DG, que se calcula en función de leyes y estándares individuales y de un conjunto de datos climáticos específico. La correlación entre la demanda de energía de calefacción de un edificio y un valor de DG

calculado utilizando diferentes estándares o un archivo climático específico producirá diferentes relaciones y retroalimentación.

La aplicación de los días grados según Bhatnagar *et al.*, (2018) son:

- estimar el consumo de energía del edificio y las emisiones de dióxido de carbono debido a la calefacción y refrigeración de espacios para nuevas construcciones y renovaciones importantes
- para el monitoreo y análisis energético continuo de edificios existentes basados en datos históricos
- clasificar zonas climáticas.
- al impacto del cambio climático en el consumo de energía de los edificios.
- para analizar tendencias históricas y pronosticar el uso de energía en el futuro.
- para estimar el consumo de energía de los sistemas de calefacción durante la temporada de invierno (El-Shaarawi y Al-Masri, 1996).

Ejemplo de su utilización es durante la etapa inicial de diseño, donde se calculan para estimar la demanda de calefacción y refrigeración, ya que el uso de herramientas de simulación de energía suele ser demasiado complejo en esta etapa (De Rosa *et al.*, 2014). La herramienta de diseño que presenta Trigaux en su investigación utiliza los DG para evaluar la demanda de calefacción de los edificios en la fase de planificación (Trigaux *et al.*, 2017). De esta misma forma, De Rosa en su investigación presenta un modelo dinámico simple que le permite simular el consumo de energía de calefacción y refrigeración, con la aplicación de los DG.

Otro ejemplo de aplicación de los DG es Alola, que hace un análisis sobre los Estados Unidos donde estima el consumo de esta región. Dicho estudio contribuye empíricamente a la literatura existente sobre DGE y DGC. Este estudio es el primero o uno de los pocos estudios que evalúan los factores macroeconómicos en la determinación de los DG en el caso de Estados Unidos (Alola *et al.*, 2019)

### 1.2.2 Métodos para la determinación de la temperatura base

Se utilizan comúnmente dos técnicas para estimar la temperatura base de un edificio, el primero es el método de huella energética que consiste en graficar el consumo energético diario contra la temperatura media diaria y el otro método es el de línea de comportamiento que consiste en graficar el consumo eléctrico contra DG para diferentes  $T_b$  hasta obtener una gráfica lo más lineal posible (Harvey, 2020).

El método de huella energética consiste en graficar las lecturas del consumo energético diario frente a la temperatura exterior media diaria. Esto produce un patrón típico de “palo de hockey”, y la  $T_b$  se encuentra en la rodilla del palo (Jovanović *et al.*, 2015 ; Lindelöf *et al.*, 2015). Pero debido a que se basa en lecturas de consumo de energía diario, este método es costoso y rara vez se usa fuera de los proyectos de investigación.

Por su parte Bhatnagar *et al.*, (2018) plantea que una huella de energía es un gráfico del consumo de energía eléctrica frente a la temperatura exterior media y la intersección de la demanda de electricidad debido a las ganancias internas y de la envolvente que representa la  $T_b$ . Para el establecimiento de una  $T_b$  para un edificio mediante el método de huella energética, se representa el gráfico entre el consumo de energía diario y la media de la temperatura exterior diaria, donde las dos curvas lineales se puedan ajustar a los datos y se muestra un ajuste de curva lineal, es decir,  $X-X'$  y  $Y-Y'$ . La línea  $X-X'$  representa el cambio en el consumo de energía del espacio con la temperatura del aire exterior, y la línea  $Y-Y'$  representa la carga base mínima donde no se requiere refrigeración. El consumo constante de energía se debe a otras cargas internas. El punto de intersección de  $X-X'$  e  $Y-Y'$  y la temperatura exterior correspondiente por debajo de la cual la energía de refrigeración es constante se denominan  $T_b$ .

El método de la línea de comportamiento (PLM) según Day *et al.*, (2003) utiliza lecturas periódicas de consumo de energía (como facturas de servicios públicos) y consiste en trazar, para cada período, el consumo de energía de ese período en comparación con las  $T_b$  de los DG. La  $T_b$  se ajusta iterativamente hasta que la relación entre la energía y los DG se vuelve aceptablemente lineal. A diferencia del método de huella energética, el método

de línea de comportamiento funcionará con datos mensuales (o más generales), pero carece de una base matemática sólida (Lindelöf, 2017).

Según Bhatnagar *et al.*, (2018) las líneas de comportamiento son esencialmente líneas rectas que se ajustan mejor a través de datos en diagramas de dispersión del consumo de energía eléctrica contra DGE o DGC mensual. La Tb se determina colocando un polinomio de segundo orden de mejor ajuste a través de la gráfica de dispersión de DGE o DGC mensual frente al consumo de electricidad, y variando la base hasta que el polinomio se acerque más a la linealidad. Significa que el coeficiente de segundo orden de la curva polinomial debe estar más cerca de cero.

### **1.3 Indicadores de desempeño energético.**

Los indicadores desempeñan muchas funciones. Pueden simplificar y esclarecer información agregada y facilitarla a los encargados de la formulación de políticas a fin de que pueda dar lugar a la adopción de mejores decisiones y medidas más eficaces (Lucia y Grisolia, 2019). Pueden ayudar a incorporar los conocimientos de las ciencias físicas y sociales en la adopción de decisiones y pueden ayudar a medir y calibrar los avances en los objetivos planteados. Son importantes instrumentos para comunicar ideas, pensamientos y valores.

Según el autor Vega, (2014) un indicador “es una variable que representa a otra variable o a un conjunto de variables en un modelo simplificado del sistema en estudio. Así, ofrecen información más allá del dato mismo y permiten: evaluar condiciones y tendencias; comparar lugares y situaciones, obtener información de forma prioritaria y rápida, así como anticipar las condiciones y tendencias futuras. Por estas razones se plantea que sirven como instrumento para valorar la efectividad de las medidas que se hayan tomado para mejorar o atenuar los problemas que reflejan”.

La calidad de un sistema puede evaluarse mediante los indicadores y los métodos correspondientes. Los indicadores son una simple manera para responder “Cómo se puede saber objetivamente si las cosas están mejorando o empeorando”. Cada uno de los indicadores, posee una línea base que se usa a menudo para expresar la “norma de calidad”

que necesita ser mantenida o el punto que se necesita que se alcance si no se encuentra allí todavía (Dong y Hauschild, 2017).

La creciente cantidad de datos urbanos proporciona una base prometedora para una gestión exitosa (Gil-Garcia *et al.*, 2016 ; Kourtit y Nijkamp, 2018). Sin embargo, los directivos se pierden fácilmente con la cantidad de datos complejos. Los datos son valiosos solo cuando pueden explotarse de forma útil. Los indicadores son útiles para este propósito ya que, por definición, simplifican fenómenos complejos en cifras sencillas (Hiremath *et al.*, 2013). En consecuencia, se utilizan indicadores para establecer objetivos medibles y monitorear el progreso hacia sus objetivos (Dameri, 2017). Además, los indicadores se utilizan para establecer un lenguaje común y transparente, para comunicar los beneficios, para administrar las operaciones, para evaluar qué tan bien se está desempeñando en diferentes áreas y como apoyo en la toma de decisiones (Huovila *et al.*, 2019).

Por su particular finalidad, un hotel es un edificio creado para descansar y sentirse confortable. La energía, en sus distintas formas, es utilizada en muchas de las aplicaciones para contribuir a crear un ambiente confortable. Por otra parte, no siempre un mayor consumo energético equivale a un mayor confort. Se conseguirá un grado de eficiencia óptima cuando el confort de los distintos ambientes y el consumo estén en la proporción adecuada. Para medir estos parámetros será necesario contar con IDE que se puedan utilizar para monitorear y evaluar las acciones de ahorro energético que se apliquen a un proceso o equipo. Además, sirven para establecer los límites de control del consumo de energía (Soriano, 2011).

Los IDE, también llamados “EnPI” en ISO 50001, son medidas cuantitativas del desempeño energético y se utilizan para determinar mejoras en el uso de energía, el consumo de energía y la eficiencia energética. Se pueden definir en una variedad de niveles dentro del sistema de gestión de energía (SGEn). Por ejemplo, los IDE se pueden establecer a nivel de toda su organización o a nivel de una instalación, equipo, sistema o proceso específico.

Por su parte Shim y Lee, (2018) definen los IDE como “un valor cuantitativo o medida del desempeño energético que define la organización” y plantean la existencia de cuatro tipos

de indicadores: modelos de consumo de energía, (kWh por tonelada); modelos estadísticos (regresión lineal y no lineal); modelos de simulación (mide la mejora de eficiencia energética) y modelos de rendimiento energético (se aplican a través de los consumos).

Como medidas cuantitativas, los IDE son valores, ratios o modelos medidos que la organización acepta como representaciones significativas del rendimiento energético. La mejora en el rendimiento energético se determina comparando los IDE actuales con los valores iniciales de las líneas de base energéticas pertinentes. Las líneas de base energéticas sirven como referencia contra la cual se evalúan los cambios futuros en el desempeño energético.

Los IDE normalmente se establecen de una de tres formas:

- Una sola métrica, como el consumo, suele ser adecuada para determinar y monitorear el desempeño energético si el equipo, sistema o proceso no se ve afectado por otras variables o las variables relevantes son constantes.
- Un índice o un IDE por unidad, son posibles comparaciones a lo largo del tiempo en diferentes niveles de producción o en diferentes ubicaciones de un proceso similar. Estos IDE generalmente relacionan el consumo de energía, el costo o el impacto ambiental con un resultado organizacional apropiado. Una forma que relaciona el rendimiento con la producción o con un solo resultado se denomina comúnmente intensidad energética simple. Un IDE de intensidad energética se define y calcula dividiendo el consumo de energía por la producción de una organización, instalación, departamento, producto, equipo, sistema, proceso u otra parte de la organización bajo consideración.
- Un modelo, que puede proporcionar una medida más significativa del desempeño energético que una sola métrica o un índice simple para representar con precisión la relación entre las actividades operativas y el consumo de energía. En este caso, pueden ser necesarios modelos más sofisticados que permitan el uso de múltiples factores para estimar el consumo de energía. Dependiendo de las necesidades de su organización, es posible que se requieran análisis de regresión o cálculos utilizando

la teoría de la ingeniería para proporcionar un modelo suficientemente preciso, aunque, puede ser un tema complejo y normalmente requiere el análisis por parte de alguien experto en los sistemas, procesos, operaciones o equipos que se están modelando.

Los programas de gestión energética ayudan a alcanzar objetivos políticos más amplios y políticas de establecimiento de objetivos en el área de mejora de la eficiencia energética y mitigación del cambio climático. Un sistema de gestión de energía (SGEn) es una de las opciones clave para mejorar la eficiencia energética. La Organización Internacional de Normalización (ISO) 50001 es un estándar voluntario desarrollado internacionalmente para SGEn que ofrece un marco flexible para que las organizaciones integren la eficiencia energética en sus prácticas de gestión. ISO 50004 e ISO 50006 recomiendan varios IDE para implementar los SGEn de manera sostenible. Sin embargo, muchos profesionales de la industria luchan por determinar los IDE correctos debido a ciertas barreras. Por ejemplo, la alta dirección se centra principalmente en la producción más que en el uso eficiente de la energía. La falta de datos sobre el consumo de energía y una comprensión deficiente del método técnico de medición del rendimiento energético también pueden ser obstáculos. Estudios de investigación han indicado que las empresas deben decidir los IDE correctos en función de sus barreras únicas (Shim y Lee, 2018).

#### **1.4 Sistema de gestión de la energía NC ISO 50001.**

La implementación de un (SGEn) en organizaciones es realizada a través de un conjunto de actividades y etapas que permiten establecer objetivos, metas y planes de acción para el uso eficiente de la energía, esta gestión consiste en el monitoreo, registro, evaluación y acción correctiva continua sobre los equipos, áreas y procesos, para reducir los consumos y gastos energético (A.I.E, 2014).

El término gestión se asocia con la administración de un recurso o de un proceso, teniendo en cuenta la anterior definición, la gestión de la energía y de las redes de comunicación, brinda estrategias para tener un control y monitoreo constante del comportamiento de la generación y la demanda (Mo y Sansavini, 2018). La gestión de esta demanda juega un papel muy importante para disminuir el consumo de energía eléctrica, ya que esta



contempla actividades para modificar el patrón de consumo y mejorar la eficiencia y la operación del sistema eléctrico (Palensky y Dietrich, 2011).

Actualmente, el estándar internacional ISO 50001 contribuye a un uso eficiente de las fuentes de energía existentes y disponibles, proporciona parámetros para mejorar el desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo de energía. El estándar internacional está destinado a conducir a la reducción de emisión de GEI, y a reducir los costos de energía a través de la gestión sistemática de la energía. Este estándar puede ser aplicado a todo tipo de organizaciones e instalaciones independiente de sus condiciones geográficas, culturales y sociales. La ISO 50001 brinda los requisitos y lineamientos necesarios para implementar un SGen, del cual se puede plantear una política energética donde se establecen metas, objetivos y planes que contemplen los requisitos legales y la información relacionada con el uso de la energía (*NC ISO 50001:2019*).

En el ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), se garantiza la mejora continua del SGen, donde se lleva a cabo la revisión energética, el diseño de planes de acción necesarios para mejorar el desempeño energético, la implementación de estos planes de acción el seguimiento constante para garantizar la mejora continua a través de acciones correctivas y preventivas.

Es en el Ciclo PHVA donde inicia el proceso con un diagnóstico a través de una revisión energética, de la cual se establecen una línea base, los IDE, los objetivos, metas y planes de acción a los que se quiere llegar con la planificación de la política energética de la organización. Luego se implementan los planes de acción para cumplir las metas y objetivos planteados en la planificación de la política energética. Posteriormente se realiza un seguimiento y monitoreo constante de los resultados obtenidos después de la planeación e implementación de la política energética. En esta etapa se realiza una medición en los procesos mediante los IDE, que representan potencialidades de ahorro energético y que determinan el desempeño energético. Por último, se identifican potencialidades, se evalúan los procesos y se toman acciones para tener una mejora continua. Es de resaltar que este ciclo se plantea con una retroalimentación constante que permite tener un mejoramiento continuo y un constante monitoreo del SGen.

La responsabilidad de determinar los IDE normalmente recae en el representante de la dirección y puede involucrar a otros miembros del equipo de energía. Es responsabilidad de la alta dirección garantizar que los IDE sean apropiados para su organización y proporcionar los recursos necesarios para establecer, rastrear y evaluar los IDE. La responsabilidad de desarrollar una lista de posibles indicadores de desempeño recae en el representante de la gerencia y en cualquier otra persona que sea asignada para ayudar.

Las necesidades de las partes interesadas pueden variar significativamente y sus requisitos deben considerarse en el desarrollo del IDE. Puede ser necesario desarrollar diferentes IDE para diferentes partes interesadas. La alta dirección normalmente estará interesada en los IDE que estén relacionado con los objetivos comerciales estratégicos de su organización y con la mejora de los resultados. El personal de operaciones o producción quiere una métrica que proporcione orientación para operar equipos y sistemas con la máxima eficiencia. Las agencias externas pueden requerir métricas de desempeño específicas para proporcionar información relacionada con requisitos regulatorios o de otro tipo.

Los SGEN en su planeación, desarrollo e implementación presentan una serie de beneficios que contribuyen a la operación y mantenimiento de un sistema. Los SGEN permiten tener una visión objetiva del uso y consumo de la energía, ya que, con la implementación de procesos de medida, se logra tener un control y una vigilancia sobre los patrones de consumo de determinadas áreas o sectores de producción y así identificar puntos críticos y potencialidades que puedan mejorar la operación del sistema.

Uno de los beneficios más importante que traen los SGEN es la proyección, ya que se puede tener un estimado en el consumo futuro y un listado de posibilidades de ahorro de energía. Jerarquizar los procesos para focalizar los esfuerzos, es un punto clave para darle un uso óptimo a la energía y poder mejorar la operación del sistema. Esta jerarquización permite establecer una línea base y mantener un monitoreo en las operaciones. Con el monitoreo se incorpora un aspecto importante que son las comunicaciones, ya que esta permite tener un control y monitoreo constante lo que permite afianzar la operación el mantenimiento y la interoperabilidad del sistema (Márquez-Ceballos. J, 2019).

## **1.5 Conclusiones parciales del capítulo.**

Una vez finalizado el presente capítulo, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones parciales:

- El sector hotelero es uno de los principales consumidores de energía a nivel mundial debido a sus patrones de cargas de 24 horas y sus estándares de calidad y confort, por lo que utilizar de manera eficiente la energía contribuye a disminuir la contaminación ambiental y el cambio climático.
- Para la determinación de los IDE en el sector hotelero se calculan los DG, que constituyen una herramienta simple para la determinación de la línea base y de los IDE.
- La Tb puede cambiar de un hotel a otro, dependiendo fundamentalmente de la arquitectura y la región y que solo una correcta selección de ésta permitirá un correcto análisis de los consumos de estas instalaciones.

## CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente capítulo se desarrolla la metodología para el cálculo de los DGE por diferentes métodos encontrados en la literatura. A partir de que se determinen los DGE se procede a determinar la línea base y se desarrolla la metodología para determinar los IDE a un grupo de hoteles.

### 2.1 Metodología para el cálculo de los IDE

La determinación de los IDE constituye un instrumento muy importante para el análisis del cumplimiento de la NC-ISO 50001, siendo un factor clave para el aumento de la eficiencia energética de instalaciones que presenten altos patrones de consumo. La siguiente investigación pretende realizar un análisis del comportamiento de grupos de hoteles en la zona de Varadero, ubicada en la península Hicacos.

Los factores principales para el análisis energético de los hoteles se dividen en dos grupos fundamentales, las cargas (consumos y ocupación) y las condiciones atmosféricas (Temperaturas). En este sentido, datos estadísticos de los hoteles utilizados se agrupan en la suma de los consumos eléctricos mensuales del grupo en kilowatt horas (kWh) y las habitaciones días ocupados (HDO) totales, siendo estos los parámetros fundamentales en el cálculo de los indicadores. Otro de los datos importante a tener en cuenta son las de Temperatura de bulbo seco exterior media diaria. Esta se analiza de forma diaria y mensual y es medida en grados Celsius.

Se calculan los DGE por 5 métodos, los 4 más utilizados en la bibliografía internacional consultada y un método desarrollado en el país con el objetivo de realizar una comparación y poder escoger cual es el que mejor describe el comportamiento de los datos seleccionados.

El primer método utilizado se describe en Krese *et al.*, (2012) donde se plantea que los DGE son la suma de las diferencias positivas entre la temperatura del aire exterior (temperatura de bulbo seco exterior)  $T_{bs}$  y la temperatura de referencia (Temperatura Base)  $T_b$  en cierto periodo de tiempo, y se expresa como:

$$DGE = \sum_{i=1}^n (T_{bs,i} - T_b)_{(T_{bs,i} > T_b)} \quad \text{Ec.2.1}$$

En el método de Erbs *et al.*, (1983) que es el segundo analizado, se determinan la desviación estándar de la temperatura media mensual alrededor del año ( $\sigma_y$ ), y la media diaria alrededor de la media mensual ( $\sigma_m$ ). Los DGE durante el mes según el autor se pueden calcular mediante:

$$DGE = \sigma_m \cdot (D_m)^{1,5} \cdot \left[ \frac{h}{2} + \frac{\text{Ln}(e^{-ah} + e^{ah})}{2a} \right] \quad \text{Ec.2.2}$$

Donde:

$D_m$  : Días del mes.

$h = \frac{(T_{bs} - T_b)}{\sigma_m \cdot (D_m)^{0,5}}$  : variable utilizada en los días grados de enfriamiento

$a = 1,968 \cdot (D_m)^{0,5}$

$\sigma_m = 3,54 - 0,029T_{bs} + 0,00644\sigma_y$  : Para condiciones del Caribe.

Otro de los métodos es el propuesto por Hitchin, (1983) con la utilización de la temperatura media mensual y la desviación estándar de las temperaturas del mes logra una buena correlación en sus estudios en Reino Unido, utilizando la siguiente ecuación:

$$DGE = \frac{D_m \cdot (T_b - T_m)}{1 - e^{-k \cdot (T_b - T_m)}} \quad \text{Ec.2.3}$$

Donde:

$k = \frac{2,5}{\sigma t}$  : Constante de la localidad

$\sigma t$  : Desviación estándar de las temperaturas del mes.

$T_m$  : Temperatura de bulbo seco media mensual.

Otro método utilizado fue desarrollado por Schoenau y Kehrig, (1990), ellos utilizaron la desviación estándar normalizada de las temperaturas medias diarias alrededor de la media mensual ( $S_d$ ), donde por cada mes las temperaturas medias diarias, se dispersan alrededor de la temperatura media mensual con una distribución normal como se muestra a continuación:

$$DGE = D_m \cdot S_d \cdot [Z_b \cdot F(Z_b) + f(Z_b)] \quad \text{Ec.2.4}$$

Donde:

$$Z_b = \frac{T_b - T_m}{S_d} \quad \text{: Para el caso de DGE}$$

$F(Z_b)$  : Función acumulativa normal probabilística.

$f(Z_b)$  : Función probabilística de densidad.

El ultimo método utilizado es el modelo RS desarrollado por Rodríguez *et al.*, (2021) donde presenta un modelo simplificado con una versión base y una extendida. En su versión extendida el autor determina los DGE a partir de la temperatura media mediante la siguiente ecuación.

$$DGE = N(\theta_{mee} - Tb) \quad \text{Ec.2.5}$$

Donde:

$N$  : Número de días

$\theta_{mee}$  : Temperatura media equivalente de enfriamiento.

La determinación de la  $T_b$  para cada método se plantea mediante el método de línea de comportamiento ( PLM “*Performance Line Method*”) con la obtención de un polinomio de segundo grado ( $ax^2+bx+c$ ) para diferentes  $T_b$  dentro de un rango donde se obtenga un ambiente confortable (entre 16 y 26 °C) (Bhatnagar *et al.*, 2018). Determinadas las ecuaciones de segundo grado se escoge la temperatura base cuyo coeficiente del término cuadrático se acerque más a cero.

En caso de que la correlación no sea de moderada a fuerte ( $R^2 < 0,65$ ) se deben filtrar los datos para obtener un modelo donde se excluyan los datos atípicos. Para la determinación de la estimación inicial del número de datos de la muestra es necesario calcular:

$$N_o = \frac{Z^2 \cdot cv^2}{e^2} \quad \text{Ec.2.6}$$

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;

$Z$ : es el valor de distribución normal estándar respecto a la Tabla 2.1, con un número infinito de lecturas y para el nivel de confianza deseado.

*Tabla 2.1 Determinación del valor de distribución normal estándar.*

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

Para la verificación del coeficiente de varianza de los datos tomados se comprueba que los datos reales tomados tienen el valor de  $cv$  asumido o menor (0,5).

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

Cálculo del coeficiente de varianza real:

$$cv = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad \text{Ec.2.7}$$

Cálculo de la desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{Ec.2.8}$$

$$N = n - 1 \quad \text{Ec.2.9}$$

Donde:  $\sigma$  es la desviación estándar;  $\bar{x}$  es la media aritmética;  $x_i$  consumo para cada mes; y  $N$  es el número de datos.

De donde se puede concluir que si  $cv_{real} \leq cv_{estimada}$  se puede realizar el filtrado de los datos, por lo que determinamos el número mínimo de datos a utilizar mediante:



$$n = \frac{n_0 \cdot N}{n_0 + N} \quad \text{Ec.2.10}$$

Con la  $T_b$  definida se determinan los DGE y se calculan las HDG mediante la ecuación 2.11.

$$HDG = HDO \cdot DGE \quad \text{Ec.2.11}$$

Calculados los 5 métodos mencionados se determina la Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSD) mediante la ecuación 2.12, permitiendo realizar una comparación y escoger entre ellos el método que menor incertidumbre posea. Así queda determinado con cuál de los DGE se van a calcular los IDE.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{N}} \quad \text{Ec.2.12}$$

Donde:

$x_i$  : Valor de las observaciones actuales.

$\hat{x}_i$  : Valor estimado o pronosticado de la serie.

$N$  : Cantidad de datos tomados para el análisis (12meses).

Con estos datos se crea una gráfica de Consumo contra HDG donde la ecuación de la recta Ec.2.13 que mejor se ajuste a los datos sirve como base para el cálculo de los IDE a analizar en esta investigación. Esta ecuación brinda la energía no asociada al servicio ( $E_0$ ), la energía asociada al servicio ( $mP$ ) y la pendiente del comportamiento ( $m$ ).

$$E_i = mP + E_0 \quad \text{Ec.2.13}$$

## **2.2 Cálculo de los Indicadores de desempeño energético.**

Los indicadores de desempeño energético (IDE) según Ibarguen-Valverde, (2017), son las expresiones y valores usados para monitorear, controlar y/o supervisar cambios en el rendimiento de la energía, y reducir pérdidas energéticas en cualquier proceso productivo lo que permite, a cualquier organización a través de gestión, establecer planes estratégicos.

La organización debe establecer IDE que cumplan con las siguientes condiciones:

- Puedan reflejar el desempeño en el uso, el consumo o la eficiencia.
- Sean cuantitativos.
- Deban ser formulados de tal manera de que se puedan comparar y revisar con la línea base.

Para realizar un análisis del comportamiento de los consumos en hoteles varios autores como (Ibarguen-Valverde, 2017 ; García *et al.*, 2022) utilizan los siguientes indicadores:

- Consumo específico de energía (Cee)
- Varianza energética (Ev)
- Tendencia de la Varianza energética (CUSUM)

### **2.2.1 Consumo específico de energía**

El consumo específico de energía Cee se obtiene del cociente entre el consumo energético y la producción (Muñoz y Rios, 2023), siendo la cantidad de energía (kWh) que se necesita consumir para cada servicio prestado en los hoteles (HDG) y se puede calcular matemáticamente este indicador mediante la ecuación 2.14. La comparación de este parámetro entre diferentes periodos suele ser la práctica más común que les permite evaluar y comparar a las empresas la eficiencia energética entre períodos, de tal manera que los meses en donde este cociente presenta valores inferiores son mejores respecto a los que tienen valores mayores.

$$Cee = \frac{E_r}{P} \quad \text{Ec.2.14}$$

En el gráfico de Cee vs producción se observa de manera muy rápida y precisa la influencia del nivel de producción sobre el índice de consumo, además, se determina el punto donde comienza a elevarse significativamente el índice de consumo para bajas producciones, llamado punto crítico.

Para lograr un patrón que permita comparar los Cee reales arrojados por los grupos de hoteles se debe calcular mediante la Ec.2.15 los Cee teóricos que van a ser organizados de manera lineal, trazando una línea dentro del gráfico para una rápida visualización de las variaciones del comportamiento del consumo real.

$$Cee = m + \frac{E_0}{P} \quad \text{Ec.2.15}$$

Según plantea el autor la curva obtenida muestra como el índice de consumo depende del nivel de la producción realizada. En la medida que la producción disminuye es posible que disminuya el consumo total de energía, pero el gasto energético por unidad de producto aumenta. Esto se debe a que aumenta el peso relativo de la energía no asociado a la producción respecto a la energía productiva (Serna, 2010).

Un ejemplo de gráfico de Cee vs Producción se observa en la figura 2.1 donde se tiene por el eje de las abscisas la producción (HDG) y por las ordenadas los Consumos específicos de energías. Los puntos se obtienen mediante la Ec.2.14 y muestran los Cee reales, estos valores se calculan tomando los consumos de energía y la producción real de los servicios prestados. La línea continua pertenece a los Cee línea base, obtenidos mediante la Ec.2.15 utilizando los patrones de consumo del año base y la producción real del año a analizar. Esta línea divide al gráfico en dos regiones, donde los puntos por debajo de esta representan que la producción fue obtenida de manera más eficiente, mientras que los puntos por encima representan que se produjeron sobreconsumos en la producción de los servicios.

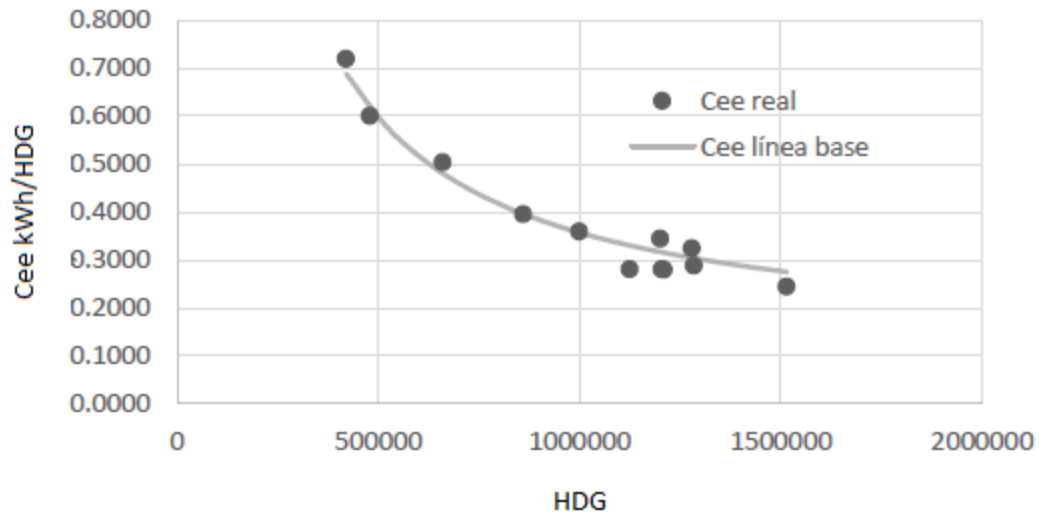


Fig 2.1 Gráfico de Cee vs Producción. Fuente: (García *et al.*, 2022)

La elaboración de este tipo de gráficos para el análisis de los Cee es muy provechosa, pues trae como beneficios la posibilidad de establecer metas de índices de consumos en función de la planificación de la producción, la evaluación del comportamiento de la eficiencia energética en un período dado y la planificación de la producción en las zonas de alta eficiencia energética de estos indicadores.

### 2.2.2 Varianza energética

La varianza energética es una herramienta de gestión del área energética, que permite comparar el comportamiento de los resultados de consumo energético medidos en un proceso durante un período operativo, respecto a los valores de consumo energético base o de tendencia del mismo, tomando como referencia de cumplimiento un valor adimensional de 100. Viene dada por la Ec.2.16 y no es más que la división de la energía teórica y la energía real consumida.

$$E_v = \frac{E_T}{E_r} \cdot 100 \quad \text{Ec.2.16}$$

Donde:

$E_t$  : Energía teórica consumida

$E_r$  : Energía real consumida

Para una correcta interpretación de los valores de la varianza energética se propone un gráfico de línea de este indicador a lo largo del tiempo. Para realizar este gráfico (Fig. 2.2) primeramente se calcula  $E_v$  con los valores de la energía teórica (energía que se consumiría para la producción actual, con los patrones de consumo del periodo base) y la energía real. Con estos valores se construye un gráfico de líneas donde se ubican los datos obtenidos para cada mes y se traza una línea recta paralela al eje de las abscisas que represente el 100% del indicador para el mismo período que se halló la Varianza Energética. Ya representadas las dos líneas en el gráfico se podrá comparar como se desempeña dicho indicador en la instalación.

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

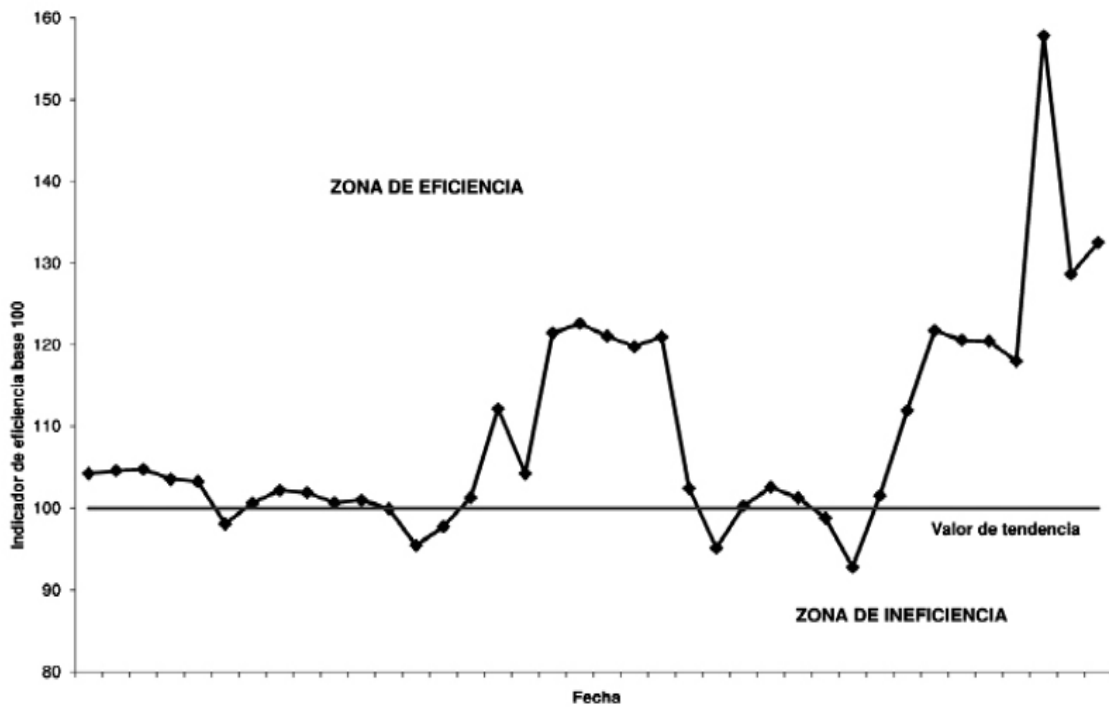


Fig. 2.2 Gráfico de Varianza Energética. Fuente: (Castrillón y J., 2013)

### 2.2.3 Suma acumulativa de la varianza energética.

La determinación de la tendencia de la varianza energética permite definir si al final del periodo analizado existió un ahorro o sobreconsumo de energía, arrojando un valor cuantitativo de la cantidad de energía ahorrada o perdida. Para el cálculo se usa el método de la suma acumulativa de las desviaciones (CUSUM), el cual se determina mediante la sumatoria de las diferencias entre el consumo real y el consumo previsto por la línea base, como se muestra en la Ec.2.17.

$$CUSUM = \sum_{i=1}^n (E_r - E_T)_i \quad \text{Ec.2.17}$$

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 y 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 período base hasta el momento de su actualización (García *et al.*, 2022).

Para realizar la suma acumulada se debe seleccionar un período base, tener la ecuación para este período con un coeficiente de correlación significativo, recopilar los datos de energía consumida y producción para el intervalo de tiempo y se recomienda hacerlo con la ayuda de una tabla como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla.2.2 Cálculo de la Suma acumulativa de la varianza energética. Fuente: Elaboración Propia.

Meses	Consumo Eléctrico (kWh)	$E_t = E_o + mP$	$E_a - E_t$	<b>CUSUM</b>
Enero	154,521.0	<b>149135.85</b>	<b>5,385.15</b>	<b>5,385.15</b>
Febrero	169,160.0	<b>167881.97</b>	<b>1,278.03</b>	<b>6,663.18</b>
Marzo	195,631.0	<b>193124.53</b>	<b>2,506.47</b>	<b>9,169.65</b>

Con estos valores se construye un gráfico de línea con los valores obtenidos para el CUSUM a lo largo del tiempo, figura 2.3. En este se puede apreciar que los valores por debajo de cero (valores negativos) representan que se trabajó de manera más eficiente que lo establecido por la línea base, mientras que los valores positivos, por encima de la línea cero, representan que la producción se obtuvo de una manera más ineficiente que lo establecido por la línea base.



*Fig. 2.3 Indicador gráfico de tendencia o sumas acumulativas. Fuente: (Castrillón y J., 2013)*

La determinación de los indicadores con su gráfico correspondiente para el grupo de hoteles muestra de manera simplificada su desempeño en el tiempo, permitiendo valorar el uso de la energía de varias instalaciones. También permite: hacer análisis que van más allá de una instalación aislada, comparar los consumos de varias instalaciones en un área determinada o una región y a escalas macroeconómicas, la planificación para la toma de decisiones de futuras inversiones que pudieran mejorar la eficiencia en el uso de la energía.

La metodología de cálculo propuesta en este capítulo permite cuantificar los IDE para una posterior valoración de sus consumos de energía. Tiene como beneficio la definición de una línea base lo que permite la comparación de los consumos en dos periodos de tiempo dejando demostrado si se ha trabajado con mayor o menor eficiencia. Otro beneficio es la utilización de los DGE, método muy utilizado en la actualidad para la toma de decisiones en cuanto a consumos eléctricos se refiere. Y, por último, lo más novedoso es que la metodología se aplica a un grupo de hoteles, permitiendo agrupar a varias instalaciones en un solo análisis y dando como resultado los niveles utilización de la energía de esas instalaciones, así como el comportamiento de la eficiencia de su uso.



### **2.3 Análisis estadístico del modelo de regresión lineal**

En esta etapa se analiza el cumplimiento de los supuestos de la regresión lineal planteados en Montgomery *et al.*, (2021), siendo este el primer requisito para la validación matemática de los modelos lineales de regresión.

Para ello se analiza el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuales a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la modificación de Lilliefors (Razali y Wah, 2011). En tal sentido, se consideran los residuales estudentizados de acuerdo a lo recomendado por (Montgomery *et al.*, 2021). Con igual propósito como análisis complementario se analiza el valor de los coeficientes de Kurtosis y de asimetría de los residuales (Ballard *et al.*, 2021).

El supuesto de homocedasticidad en los residuos (varianza constante) se realiza mediante la prueba de Breusch-Pagan (Fox y Sanford, 2019). Se tiene como herramienta gráfica en el análisis a la disposición de los residuales de acuerdo a los valores ajustados y a los meses del año, los que se deben distribuir de forma aleatoria en torno a cero, manteniendo aproximadamente la misma variabilidad a lo largo del eje de las coordenadas.

Se analiza que los errores no se encuentren correlacionados entre sí con los residuales mediante la prueba de Durbin-Watson (Fakoya, 2020). El P-valor de esta prueba debe ser mayor que el nivel de significación para poder inferir que no existe auto-correlación entre los residuales. Este análisis se complementa a través de la correcta disposición sobre la diagonal de 45° de los valores observados y predicho de la variable dependiente.

Las inferencias respecto a la calidad de ajuste se efectúan a través de los valores del coeficiente de determinación y el valor de la raíz del error cuadrático medio.

### **2.4 Conclusiones parciales del capítulo.**

Una vez finalizado el presente capítulo, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones parciales:

- Se ha podido realizar una metodología para la determinación de los DGE mediante 5 métodos diferentes y se utilizará la RMSD para la determinación de cuál de los métodos es el que menor incertidumbre posee.
- Se escoge el método PLM para la determinación de la  $T_b$  y se muestra las principales ecuaciones del filtrado de datos en caso de que la correlación no sea de moderada a fuerte.
- Con la determinación de las HDG se puede definir la línea base para el análisis de los IDE aplicado a grupos de hoteles.
- Determinada la línea base se puede cuantificar los IDE ( $C_{ee}$  y  $E_v$ ) y el CUSUM de la varianza energética, con los cuales se pueden construir gráficos de control que permiten valorar el desempeño energético de grupos de hoteles.

## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se escoge de entre varios hoteles cuales cumplen los requisitos para conformar un grupo que posteriormente será analizado energéticamente. Se determinan los DGE y se calcula las HDG. A partir de este, se establece la línea base para el grupo de hoteles, donde se determinan diferentes IDE para analizar el comportamiento de los consumos de energía.

### 3.1 Área de estudio y datos de entrada.

La región de Varadero está ubicada en la Península de Hicacos la cual se encuentra ubicada al norte de la provincia de Matanzas, esta limita al norte con el estrecho de la Florida, al sur con el poblado de Santa Marta, al sureste con la Bahía de Cárdenas y al este con la cayería norte Sabana-Camagüey, es el punto más septentrional de tierra firme de Cuba y el más próximo al territorio de Estados Unidos de América. Esta posee una extensión en territorio de 14,4 Km<sup>2</sup>, con una longitud de 30 Km de largo, de los cuales 22 Km poseen playa y aproximadamente unos 700m de ancho. Su litoral norte goza de una bien merecida fama, de ser la mejor zona de playa de Cuba y unos de los destinos turísticos preferidos por los vacacionistas tanto nacionales como internacionales por sus atractivos de sol y playa, además de presentar durante todo el año un clima excelente para las actividades al aire libre.

Geográficamente es una zona predominantemente llana con muy poca altitud y con pequeñas colinas, estando asociada la forma de su relieve a los procesos de interacción tierra-mar. Su clima es tropical con una marcada influencia subtropical en una parte del año. Sus paisajes son jóvenes y se presentan en forma de franjas paralelas a las líneas de la costa, con una fuerte influencia de los vientos y una marcada exposición a tormentas tropicales y extratropicales (Moya *et al.*, 2004).

El desarrollo turístico en la playa azul comienza en la década del treinta con la apertura del Hotel Kawama. Posteriormente se fueron abriendo otros centros hasta llegar en 1959 a la cifra de 23 establecimientos hoteleros. Ya comenzando la década de los 90 se acelera el

proceso constructivo hasta el día de hoy llegando a 56 en el 2022, con más de 21400 habitaciones, de ellos más del 80% clasifican como categoría de 4 y 5 estrellas.

Desde hace años se ha estado llevando a cabo en estas instalaciones el procesamiento y recogida de datos pertenecientes al desempeño de estos con el objetivo de ir insertándose en la realización y cumplimiento de los Sistemas de Gestión. Los datos estadísticos de los hoteles utilizados en esta investigación son los relacionados con los niveles de consumo y de ocupación tabla 3.1, los cuales son utilizados por los energéticos de los hoteles, fundamentalmente en su Sistema de Gestión de la Energía. Entre los datos que se destacan, se encuentran el consumo eléctrico expresado en kWh, que es medido en cada hotel por la empresa eléctrica, recogido por el energético de cada instalación y se agrupan en la suma de los consumos eléctricos para cada mes. Las HDO son recogidos por la administración y proporcionados también al energético de cada instalación, agrupándose en la suma mensual de estos. Estos datos son esenciales para la determinación de la Tb y el cálculo de los indicadores.

Tabla 3.1 Datos de Consumo eléctrico y HDO para el grupo de hoteles 2017.

<i>Meses</i>	<i>Consumo Eléctrico (kWh).</i>	<i>HDO.</i>
<b>enero</b>	3,296,388.2	102,716
<b>febrero</b>	3,141,552.7	92,303
<b>marzo</b>	3,344,830.2	100,720

Otro de los datos importantes a tener en cuenta son las de Temperatura de bulbo seco exterior promedio diaria obtenidas en el Centro de Meteorología de Varadero. Esta se brinda de manera promedio diaria y es medida en grados Celsius como se muestra en la tabla 3.2. Las temperaturas también se promedian a escala de datos mensuales para el cálculo de los DGE que se utilizan en varios métodos, para su utilización en los cálculos de varios de los métodos como se muestra en la tabla 3.3.

*Tabla 3.2 Datos de la Temperatura de bulbo seco exterior diario.*

<i>Año</i>	<i>Meses</i>	<i>Día del mes</i>	<i>Tbs Media °C</i>
2016	enero	1	26.4
2016	enero	2	25.5
2016	enero	3	26.15
2016	enero	4	23
2016	enero	5	20.75
2016	enero	6	22.1

*Tabla 3.3 Datos de la Temperatura de bulbo seco exterior mensual 2016.*

<i>Meses</i>	<i>Días.</i>	<i>Tbs Media °C.</i>
enero	31	22.05
febrero	28	24.80
marzo	31	23.77

### **3.2 Selección de los hoteles y periodos a analizar**

Para el cálculo de los IDE se agruparon los datos de varios hoteles perteneciente a la región de Varadero. Estos hoteles que fueron seleccionados responden a criterios fijados en el proyecto territorial IDENTUR. Los criterios a tener en cuenta para la selección de las instalaciones que conformarían el grupo de hoteles son:

- Que los hoteles estuvieran incluidos en el grupo de la red de conocimiento que dirige la ONURE, para la implementación de sistemas de gestión de energía acorde a ISO 50001.
- Que los hoteles tuvieran indicadores de desempeño del consumo eléctrico (tradicionales kWh/HDO) similares.
- Que los hoteles tuvieran un comportamiento del consumo eléctrico en función de la variable compuesta HDO-DGE con un nivel de correlación de moderada a fuerte.

Teniendo en cuenta el primer criterio se aceptaron para el grupo un total de 21 hoteles de los cuales se conocían sus datos de consumo y ocupación: Hotel Arenas Blancas, Hotel Be Live Villa Cuba las Morlas, Hotel Fiesta Americana, Hotel Cuatro Palmas, Hotel Blau Varadero, Hotel Gran Memories, Hotel Iberostar Taínos, Iberostar Varadero, Hotel Labranda, Hotel Meliá las Antillas, Hotel Meliá las Américas, Hotel Meliá Varadero, Hotel Ocean Vista Azul, Hotel Paradisus, Hotel Patriarca, Hotel Playa Alameda, Hotel Playa Varadero, Hotel Princesa del Mar, Hotel Royalton Hicacos, Hotel Sol Palmeras y Hotel Solymar Arenas Blancas.

Teniendo en cuenta el segundo criterio, según los datos en el 2017 y 2018 el indicador tradicional osciló entre 30 y 72 kWh/HDO, quedando fuera los siguientes hoteles: Hotel Playa Varadero, Hotel Fiesta Americana, Hotel Gran Memories, Hotel Labranda, Hotel Playa Alameda y Hotel Patriarca. Por lo que según el segundo criterio quedaron los siguientes hoteles: Hotel Arenas Blancas, Hotel Be Live Villa Cuba las Morlas, Hotel Cuatro Palmas, Hotel Blau Varadero, Hotel Iberostar Taínos, Iberostar Varadero, Hotel Meliá las Antillas, Hotel Meliá las Américas, Hotel Meliá Varadero, Hotel Ocean Vista Azul, Hotel Paradisus, Hotel Princesa del Mar, Hotel Royalton Hicacos, Hotel Sol Palmeras y Hotel Solymar Arenas Blancas.

Teniendo en cuenta el tercer criterio, con una correlación de moderada a fuerte ( $R^2 > 0,65$ ) solo se obtiene en los hoteles: Hotel Cuatro Palmas, Hotel Blau Varadero, Hotel Meliá Varadero, Hotel Ocean Vista Azul, Hotel Paradisus, Hotel Princesa del Mar y el Hotel Royalton Hicacos, quedando en estos 7 hoteles constituidos el grupo de hoteles.

En cuanto al periodo a analizar se escoge el año 2017 como año base y el año a calcular los IDE se escoge el 2018, esto teniendo en cuenta que a partir del 2020 comienzan años atípicos debido a la baja ocupación producto de la pandemia de la Covid.

Para el año base 2017 los datos de temperaturas se muestran en la tabla 3.4 donde se recogen las temperaturas medias mensuales para los 12 meses del año y se observan valores que van desde 23,5 a 28,9 °C y en la tabla 3.5 se muestran los consumos y las HDO para el año base, donde se observan que los consumos van desde 2,4 GWh hasta los 4,4 GWh

con un consumo total en el año de 41,8 GWh, mientras que respecto a la ocupación el grupo de hoteles brindó servicios con una ocupación de 939 324 HDO.

*Tabla 3.4 Temperaturas año base 2017*

<i>Meses</i>	<i>Días</i>	<i>Tbs Media °C</i>
<i>enero</i>	<i>31</i>	<i>23.5</i>
<i>febrero</i>	<i>28</i>	<i>24.7</i>
<i>marzo</i>	<i>31</i>	<i>24.2</i>
<i>abril</i>	<i>30</i>	<i>25.8</i>
<i>mayo</i>	<i>31</i>	<i>27.6</i>
<i>junio</i>	<i>30</i>	<i>28.4</i>
<i>julio</i>	<i>31</i>	<i>28.9</i>
<i>agosto</i>	<i>31</i>	<i>28.9</i>
<i>septiembre</i>	<i>30</i>	<i>28.3</i>
<i>octubre</i>	<i>31</i>	<i>26.6</i>
<i>noviembre</i>	<i>30</i>	<i>25.3</i>
<i>diciembre</i>	<i>31</i>	<i>24.1</i>

*Tabla 3.5 Valores de Consumo eléctrico y HDO para el grupo de hoteles en el 2017*

<i>Meses</i>	<i>Consumo Eléctrico (kWh).</i>	<i>HDO.</i>
<i>enero</i>	<i>3,296,388.2</i>	<i>102,716</i>
<i>febrero</i>	<i>3,141,552.7</i>	<i>92,303</i>
<i>marzo</i>	<i>3,344,830.2</i>	<i>100,720</i>
<i>abril</i>	<i>3,566,384.0</i>	<i>101,744</i>
<i>mayo</i>	<i>3,882,932.1</i>	<i>80,130</i>
<i>junio</i>	<i>3,803,798.4</i>	<i>72,009</i>
<i>julio</i>	<i>4,373,477.7</i>	<i>82,200</i>
<i>agosto</i>	<i>4,429,928.3</i>	<i>84,076</i>
<i>septiembre</i>	<i>2,410,585.6</i>	<i>34,754</i>
<i>octubre</i>	<i>3,175,925.5</i>	<i>52,607</i>

<i>noviembre</i>	<i>3,181,346.0</i>	<i>64,314</i>
<i>diciembre</i>	<i>3,196,869.1</i>	<i>71,751</i>
<b><i>Total</i></b>	<b><i>41,804,017.9</i></b>	<b><i>939,324</i></b>

Para el año en estudio los datos de temperaturas se muestran en la tabla 3.6 donde se recogen las temperaturas medias mensuales para los 12 meses del año y se observan valores que van desde 22 a 29,3 °C y en la tabla 3.7 se muestran los consumos y las HDO para el año analizado, donde se observan que los consumos van desde 3,0 GWh hasta los 4,3 GWh con un consumo total en el año de 42,1 GWh, mientras que respecto a la ocupación el grupo de hoteles brindó servicios con una ocupación de 883 068 HDO.

*Tabla 3.6 Temperaturas año analizado 2018*

<i>Meses</i>	<i>Días.</i>	<i>Tbs Media °C.</i>
<i>enero</i>	<i>31</i>	<i>22.0</i>
<i>febrero</i>	<i>28</i>	<i>24.8</i>
<i>marzo</i>	<i>31</i>	<i>23.8</i>
<i>abril</i>	<i>30</i>	<i>26.3</i>
<i>mayo</i>	<i>31</i>	<i>25.9</i>
<i>junio</i>	<i>30</i>	<i>28.4</i>
<i>julio</i>	<i>31</i>	<i>29.3</i>
<i>agosto</i>	<i>31</i>	<i>29.1</i>
<i>septiembre</i>	<i>30</i>	<i>28.7</i>
<i>octubre</i>	<i>31</i>	<i>27.9</i>
<i>noviembre</i>	<i>30</i>	<i>26.7</i>
<i>diciembre</i>	<i>31</i>	<i>24.4</i>

*Tabla 3.7 Valores de Consumo eléctrico y HDO para el grupo de hoteles en el 2018*

<i>Meses</i>	<i>Consumo Eléctrico (kWh).</i>	<i>HDO.</i>
<i>enero</i>	<i>3,006,710.1</i>	<i>88,339</i>
<i>febrero</i>	<i>3,126,699.3</i>	<i>82,723</i>



<i>marzo</i>	<i>3,097,719.6</i>	<i>86,181</i>
<i>abril</i>	<i>3,608,405.2</i>	<i>85,203</i>
<i>mayo</i>	<i>3,333,784.3</i>	<i>68,513</i>
<i>junio</i>	<i>3,419,001.4</i>	<i>55,001</i>
<i>julio</i>	<i>4,230,649.4</i>	<i>73,998</i>
<i>agosto</i>	<i>4,344,600.5</i>	<i>79,113</i>
<i>septiembre</i>	<i>3,560,637.3</i>	<i>54,826</i>
<i>octubre</i>	<i>3,561,360.2</i>	<i>58,723</i>
<i>noviembre</i>	<i>3,533,946.0</i>	<i>75,803</i>
<i>diciembre</i>	<i>3,325,015.3</i>	<i>74,645</i>
<b><i>Total</i></b>	<b><i>42,148,528.6</i></b>	<b><i>883,068</i></b>

### **3.3 Software “IDELIN\_HOTEL” para la determinación de la línea base.**

El programa “IDELIN\_HOTEL: Indicadores de desempeño energético y Línea base de consumo en grupo de hoteles” se realiza en el Software Microsoft Excel y se utiliza con la finalidad de facilitar el trabajo por especialistas energéticos para el sector hotelero y otras instituciones afines a este. Fue creado en el marco del proyecto territorial IDENTUR por profesores del Departamento de Mecánica de la Universidad de Matanzas y presentado en varios eventos e informes, como es el caso del evento internacional Universidad Sociedad 2022 con la presentación de Vázquez *et al.*, (2022) y utilizado en tesis de culminación de estudios en el departamento de mecánica (Erbello, 2022 ; Milián, 2022 ; Casas, 2023). Su principal enfoque se basa en el cálculo de IDE a partir de una línea base con el empleo de los DGE en hoteles. Esta herramienta de fácil manejo y apreciable utilidad práctica, pretende extender entre dichos especialistas la aplicación de la ciencia en la predicción del consumo eléctrico para así, de esta forma, buscar elevar la eficiencia energética en el sector turístico ya que este sector se encuentra en constante crecimiento y renovación, además de ser uno de los que más consume energía.

Los datos de consumo y de ocupación pertenecen a 21 hoteles de Varadero entre los años 2016 y 2022, mientras que los de temperatura diaria de bulbo seco se pueden encontrar desde el año 2016 hasta el 2022. El software cuenta con varias hojas, entre las principales se encuentran: la de “INICIO”, la de “DG y Línea Base” y la de “Indicadores y gráficos”.

La hoja “INICIO” funciona como ventana principal del programa, en esta primeramente se selecciona como datos de entrada el hotel o grupo de hoteles, los años a analizar y la Tb. Ya seleccionados se muestran los datos de temperatura (°C), consumo eléctrico (kWh) y HDO agrupados y una tabla donde se recomienda los valores de temperatura base que mejor ajuste presenta tras ser analizado cada método de determinación de los DGE, en la de “DG y Línea Base” se muestran los DGE del método que menor incertidumbre presenta con los datos seleccionados y la gráfica de la línea base y por último la de “Indicadores y gráficos” muestra en una tabla los resultados de los IDE que se analizan y se grafican para una mejor interpretación.

### 3.3.1 Establecimiento de la Temperatura base (Tb).

Para el establecimiento de la tb se selecciona del programa “IDELIN\_HOTEL” una de las temperaturas que se recomienda utilizar para el grupo de hoteles como se muestra en la figura 3.1. Estas temperaturas se determinan mediante la aplicación del método PLM. Para ello se crea un gráfico de Consumo eléctrico en función de los DGE, de donde se obtienen los polinomios de segundo grado para diferentes temperaturas dentro de un rango donde se obtenga un ambiente confortable. De aquí se escoge la temperatura que su coeficiente del término cuadrático sea más cercana a cero.

Octubre	31	26.6	Octubre	3,175,925.5	52,607	Octubre	31	27.9	Octubre	3,561,360.2	58,723
Noviembre	30	25.3	Noviembre	3,181,346.0	64,314	Noviembre	30	26.7	Noviembre	3,533,946.0	75,803
Diciembre	31	24.1	Diciembre	3,196,869.1	71,751	Diciembre	31	24.4	Diciembre	3,325,015.3	74,645

**Determinación de la temperatura base.**

Filtrar Datos Base
Quitar Filtro

Seleccione una Temperatura base (°C)		
Temperaturas base recomendadas		
Método	Coef cuad R2	Tb (°C) recomendad
ASHRAE	83.6905	TBNR
	0.2546	
ERBS	83.0652	TBNR
	0.2529	
HITCHIN	77.7987	TBNR
	0.2428	
SCHOENAU-KEHRIG	77.7888	TBNR
	0.2428	
RODRÍGUEZ	84.6823	TBNR
	0.2348	

Ante cualquier mensaje de “ERROR” el usuario podrá obtener en esa celda más información sobre cómo solucionar el problema.

Fig. 3.1 Selección de la temperatura base según el software “IDELIN\_HOTEL”. (tomado del Software “IDELIN\_HOTEL”)

Como se puede observar en la imagen anterior se recomienda filtrar los datos para la obtención de la  $T_b$ . El proceso de filtrado consiste en quitar los valores que queden por fuera del rango de aceptación calculado. En la tabla 3.8 se muestran los diferentes valores que arroja el software para el año base de donde se selecciona la temperatura de  $23.5^{\circ}\text{C}$  como  $t_b$  cumpliendo con lo planteado por el método PLM al tener el coeficiente del término cuadrático más cercano a cero entre los 5 métodos

Tabla 3.8 Valores recomendados de  $t_b$ .

<i>Temperaturas base recomendadas</i>		
<i>Método</i>	<i>Coef. cuadrático</i>	<i>T<sub>b</sub> (°C) recomendada</i>
	<i>R2</i>	
<i>ASHRAE</i>	<i>72.9489</i>	<i>20.5</i>
	<i>0.7238</i>	
<i>ERBS</i>	<i>71.8381</i>	<i>21</i>
	<i>0.7249</i>	
<i>HITCHIN</i>	<i>64.1620</i>	<i>23.5</i>
	<i>0.6919</i>	
<i>SCHOENAU-KEHRIG</i>	<b><i>64.1576</i></b>	<b><i>23.5</i></b>
	<i>0.6919</i>	
<i>RODRÍGUEZ</i>	<i>73.6837</i>	<i>26.5</i>
	<i>0.6963</i>	

### 3.3.2 Determinación de los DGE y filtrado de datos.

Para determinar los DGE que se van a utilizar en el cálculo de los HDG y posteriormente los IDE se determina la Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSD) para los datos del período base mediante la ecuación 2.7, permitiendo realizar una comparación y escoger entre ellos el método que menor incertidumbre posea.

Para ello se determina la RMSD de los 5 métodos calculados y se escoge el que menor valor posea como se muestra en la tabla 3.9 Como se puede observar se escoge el método de Erbs con un valor de 298 696,58 siendo el menor valor entre los calculados.

*Tabla 3.9 Valores de la Raíz de la Desviación Media Cuadrática para los métodos utilizados a una  $T_b=23,5^{\circ}C$ .*

<i>Determinación de la Raíz de la Desviación Media Cuadrática</i>	
<i>Método</i>	<i>RMSD</i>
<i>ASHRAE</i>	<i>397266.86</i>
<i>Erbs</i>	<b><i>298696.58</i></b>
<i>Hitchin</i>	<i>305484.96</i>
<i>Schoenau-Kehrig</i>	<i>305489.38</i>
<i>Rodríguez</i>	<i>377045.49</i>

Determinada las  $T_b$  para los datos del año base y el año analizado, escogido el método que menor incertidumbre posee se seleccionan los valores de los DGE y se calculan las HDG figura 3.2.

<b>Temperatura Base</b>			<b>23.5</b>	<b>Erbs</b>	<b>Erbs</b>
<b>Año</b>			<b>2017</b>		
<b>Meses</b>	<b>Consumo Eléctrico (kWh)</b>	<b>HDO</b>	<b>TBS Media (°C)</b>	<b>DGE</b>	<b>HDG</b>
<b>Enero</b>	3,296,388.2	102,716.0	23.50	18.17	1,866,223.9
<b>Febrero</b>	3,141,552.7	92,303.0	24.65	37.47	3,458,548.9
<b>Marzo</b>	3,344,830.2	100,720.0	24.21	31.33	3,155,741.0
<b>Abril</b>	3,566,384.0	101,744.0	25.77	69.54	7,075,757.0
<b>Mayo</b>	3,882,932.1	80,130.0	27.59	127.06	10,181,209.2
<b>Junio</b>	3,803,798.4	72,009.0	28.36	145.95	10,510,051.2
<b>Julio</b>	4,373,477.7	82,200.0	28.93	168.48	13,848,649.8
<b>Agosto</b>	4,429,928.3	84,076.0	28.89	166.98	14,038,751.5
<b>Septiembre</b>	2,410,585.6	34,754.0	28.31	144.36	5,017,047.5
<b>Octubre</b>	3,175,925.5	52,607.0	26.58	96.18	5,059,772.8
<b>Noviembre</b>	3,181,346.0	64,314.0	25.29	56.47	3,632,010.5
<b>Diciembre</b>	3,196,869.1	71,751.0	24.10	29.02	2,082,046.5

Fig. 3.2 Valores de los DGE y las HDG para el año base. (tomado del Software “IDELIN\_HOTEL”)

Para la obtención de la línea base se realiza el gráfico de Consumo eléctrico vs DGE el cual debe mostrar una correlación de modera a fuerte. De no ser así se deben filtrar los datos para la eliminación de datos atípicos.

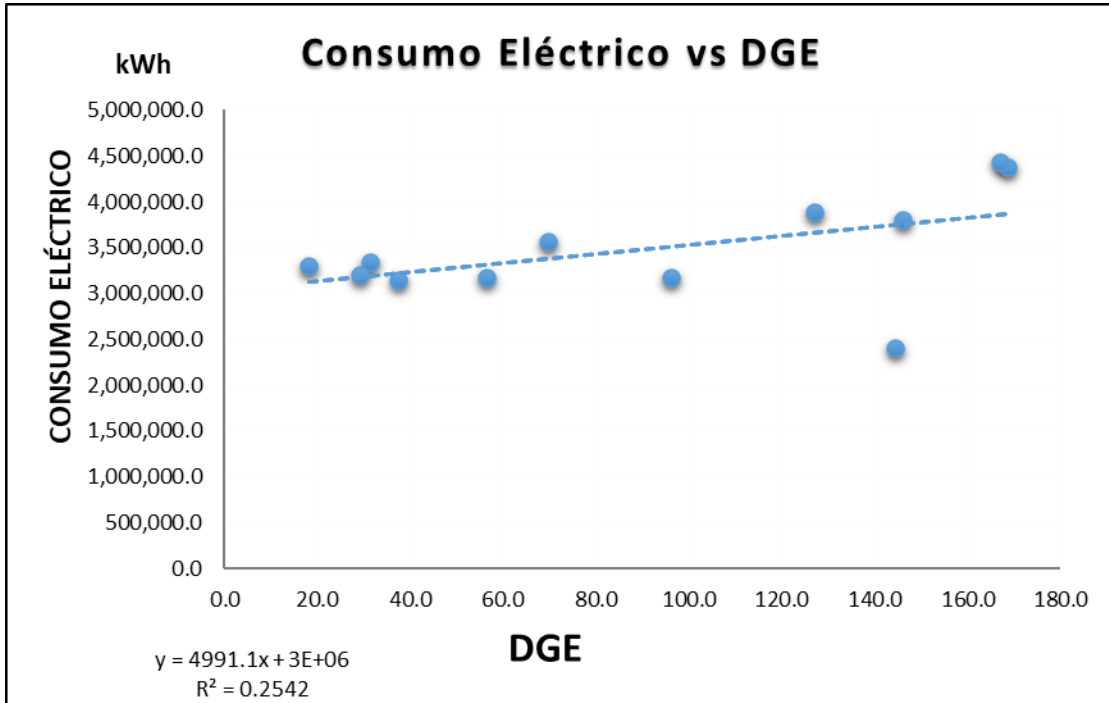


Figura 3.3 Gráfico de Consumo eléctrico vs DGE para el año base.

Como se puede observar en la figura 3.3 la correlación de los datos de Consumo eléctrico en función de los DGE es menor que 0,65 por lo que hay que realizar el filtrado de datos para la determinación de las HDG que se utilizarán para la determinación de la línea base.

Para el filtrado de datos es necesario conocer la cantidad mínima de datos requerida para el análisis. Para esto se realiza la estimación inicial del tamaño de muestra para un 95% de confianza con el 10% de precisión y un cv de 0,5 obtenemos por la ecuación 2.6:

$$n_0 = \frac{1,96^2 + 0,5^2}{0,1^2} = 96,04$$

Después se comprueba el coeficiente de varianza escogido, se calcula la varianza para los datos reales se determinan la desviación estándar (ecuación 2.8) y nuevamente el cv (ecuación 2.9) y si da menor que el escogido inicialmente se acepta y se determina el número mínimo de datos mediante la ecuación 2.10. Para los cálculos se hace uso del programa Excel de donde se obtiene la tabla 3.10.

*Tabla 3.10 Cálculo auxiliares para la determinación del número mínimo de datos a utilizar.*

Meses	Cons Elect	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
Enero	3,296,388	-187,280	35,073,776,691
Febrero	3,141,553	-342,115	117,042,970,548
Marzo	3,344,830	-138,838	19,275,982,820
Abril	3,566,384	82,716	6,841,911,092
Mayo	3,882,932	399,264	159,411,699,284
Junio	3,803,798	320,130	102,483,397,978
Julio	4,373,478	889,810	791,761,057,117
Agosto	4,429,928	946,260	895,408,187,520
Septiembre	2,410,586	-1,073,083	1,151,506,263,228
Octubre	3,175,926	-307,743	94,705,515,243
Noviembre	3,181,346	-302,322	91,398,683,169
Diciembre	3,196,869	-286,799	82,253,684,430
$\bar{X}$	<b>3,483,668</b>	$\sum (X_i - \bar{X})^2$	3,547,163,129,119
		$\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}$	322,469,375,374
		$\sigma$	<b>567,863.9</b>

De la tabla 3.10 se pueden extraer los datos necesarios para calcular la desviación estándar.

$$N = n - 1 = 12 - 1 = 11$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{3547163129119}{11}} = \sqrt{322469375374} = 567863,9$$

Y de aquí se pasa a calcular Cv:

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{X}} = \frac{567863,9}{3483668} = 0.163$$

Con lo anterior se puede comprobar que el Cv asumido cumple las condiciones:

$$Cv = 0,163 < 0,5$$

Con el Cv asumido aceptado se pasa a calcular el número mínimo de datos a utilizar:

$$n = \frac{n_0 * N}{n_0 + N} = \frac{96,04 * 11}{96,04 + 11} \approx 10$$

Finalmente, se puede concluir que como el coeficiente de varianza real es menor que el estimado con 10 datos se obtiene un nivel de confianza de 0,95% y un nivel de precisión del 10%.

Otro de los pasos importantes del filtrado es determinar qué datos son los que van a quedar fuera del análisis, para esto se determinan los residuales para cada mes y se escogen los 10 datos que obtengan los menores valores de estos. Con la ayuda de la tabla 3.11 se obtienen los datos que se eliminarán.

*Tabla 3.11 Valores de los residuales de los datos de consumo.*

Meses	Consumo Eléctrico	Energía Teórica	Residuos
Enero	3296388.213	2783242.903	513145
Febrero	3141552.721	2878276.517	263276
Marzo	3344830.182	2848055.528	496775
Abril	3566384.001	3036209.377	530175
Mayo	3882932.102	3319398.329	563534
Junio	3803798.438	3412439.28	391359
Julio	4373477.718	3523325.794	850152
<b>Agosto</b>	<b>4429928.261</b>	<b>3515949.21</b>	<b>913979</b>
<b>Septiembre</b>	<b>2410585.557</b>	<b>3404581.636</b>	<b>993996</b>
Octubre	3175925.543	3167360.024	8566
Noviembre	3181346.004	2971846.928	209499
Diciembre	3196869.124	2836661.012	360208

Como se puede observar en la tabla 3.11 los datos de consumo real que más se alejan de línea de tendencia del consumo (Energía Teórica) son los pertenecientes a los meses de agosto y septiembre. Quedando esos dos meses fuera del análisis por el filtrado de datos.

### 3.3.2 Determinación de las HDG y la línea base del grupo de hoteles.

Después del filtrado de datos se determinan los DGE con la ayuda del software “HIDELIN\_HOTEL” como se muestra en la figura 3.4, en la que se puede observar que los datos de agosto y septiembre quedan eximidos en el análisis.

Temperatura Base (°C)			23.5	Erbs	
Año			2017		
Meses	Consumo Eléctrico (kWh)	HDO	TBS Media (°C)	DGE	HDG
Enero	3,296,388.2	102,716.0	23.5	18.2	1,866,223.9
Febrero	3,141,552.7	92,303.0	24.7	37.5	3,458,548.9
Marzo	3,344,830.2	100,720.0	24.2	31.3	3,155,741.0
Abril	3,566,384.0	101,744.0	25.8	69.5	7,075,757.0
Mayo	3,882,932.1	80,130.0	27.6	127.1	10,181,209.2
Junio	3,803,798.4	72,009.0	28.4	146.0	10,510,051.2
Julio	4,373,477.7	82,200.0	28.9	168.5	13,848,649.8
Agosto	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Septiembre	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Octubre	3,175,925.5	52,607.0	26.6	96.2	5,059,772.8
Noviembre	3,181,346.0	64,314.0	25.3	56.5	3,632,010.5
Diciembre	3,196,869.1	71,751.0	24.1	29.0	2,082,046.5

Figura 3.4 Determinación de la HDG para la elaboración de la línea base (Tomado del software “HIDELIN\_HOTEL”)

Las HDG se tomará como medida de la cantidad de servicios que presta el hotel afectado por condiciones climáticas, es decir, por cada grado Celsius de temperatura de bulbo seco exterior que supere la Tb, tendrán que trabajar los equipos de climatización y otros equipos para cubrir la demanda de los servicios (HDO).



Con los datos obtenidos se puede encontrar la línea base que describe el comportamiento del Consumo eléctrico vs HDG, figura 3.4. La ecuación obtenida permitirá calcular la energía teórica o esperada para los niveles de producción real en otra etapa, sirviendo de base para la comparación del comportamiento de las energías. La ecuación lineal obtenida ( $E_t=0,093HDG+ 2\ 929\ 396,02$ ) es la ecuación de la línea base, que muestra teóricamente el nivel de energía no asociada al servicio, que no es más que el intercepto con las ordenadas ( $E_0=2\ 929\ 396,02kWh$ ).

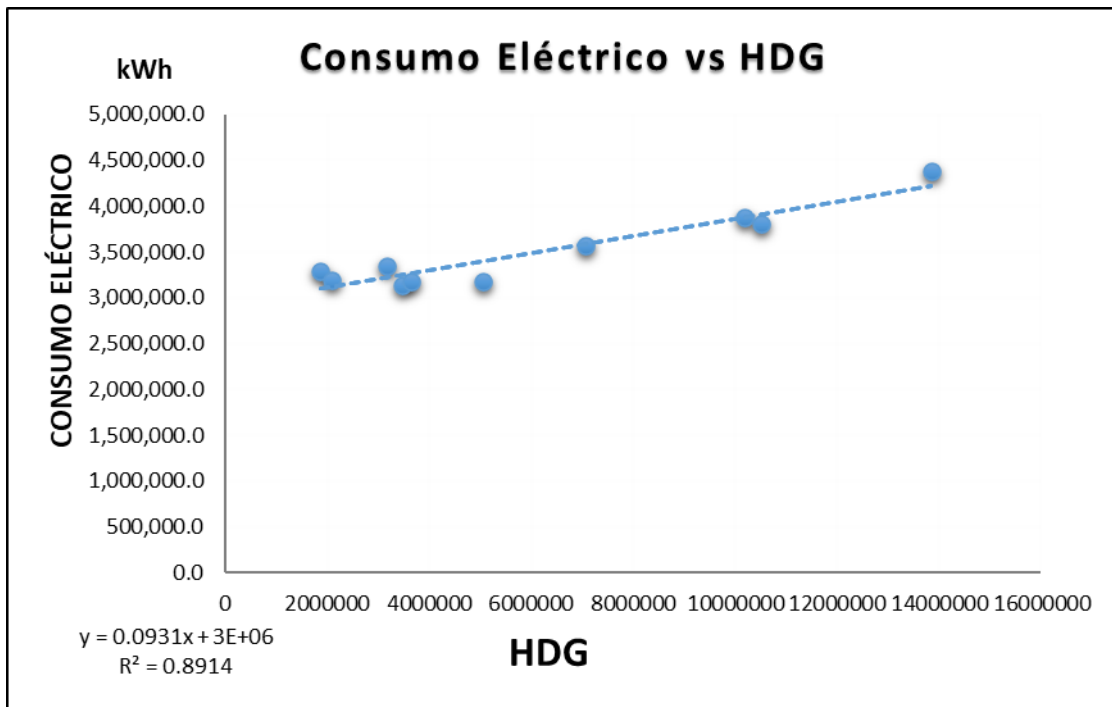


Figura 3.4 Gráfico de Consumo eléctrico vs HDG para el año base.

### 3.4 Indicadores de Desempeño Energético.

Para llevar a cabo un análisis del comportamiento de los consumos de energías de una instalación es necesario contar con el apoyo de herramientas que permitan cuantificar el consumo con un nivel de servicios que varía en el tiempo. En el caso de las instalaciones hoteleras que tienen un consumo de energía por concepto de climatización elevado, donde las condiciones climatológicas juegan un papel importante se recomienda la utilización de indicadores a partir de una línea base que contengan los DG.

Para la valoración del comportamiento del uso de la energía en el 2018 de un grupo de hoteles tomando como referencia la línea base del 2017 se decidió tomar en cuenta los siguientes IDE: Consumo específico de energía (Cee) y Varianza energética (Ev) y la Suma acumulativa de la varianza energética (CUSUM).

### 3.4.1 Indicador de Consumo específico de energía (Cee).

El primer indicador analizado para el grupo de hoteles es el de Consumo específico de energía (Cee), que se muestra en la tabla 3.12. Aquí se puede observar que el mayor índice de consumo es de 7,572 en enero (teniendo una marcada influencia el factor clima) y el mínimo es de 0,316.

*Tabla 3.12. Consumo específico de energía.*

<i>Meses</i>	<i>Cee real</i>
<i>enero</i>	<i>7.572</i>
<i>febrero</i>	<i>0.923</i>
<i>marzo</i>	<i>1.587</i>
<i>abril</i>	<i>0.505</i>
<i>mayo</i>	<i>0.637</i>
<i>junio</i>	<i>0.427</i>
<i>julio</i>	<i>0.316</i>
<i>agosto</i>	<i>0.318</i>
<i>septiembre</i>	<i>0.417</i>
<i>octubre</i>	<i>0.444</i>
<i>noviembre</i>	<i>0.483</i>
<i>diciembre</i>	<i>1.241</i>

Para analizar estos valores se construye un gráfico de dispersión de Consumo específico de energía Vs HDG. En este primeramente se crea una línea, perteneciente a los datos de producción lineal, el cual divide el gráfico en dos partes, superior a esta línea los índices de consumo que se encuentren están por encima de los que se obtuvieron en la línea base,

por lo que estos puntos reflejan un sobreconsumo con respecto al periodo base, mientras que por la parte inferior se observan los puntos donde se utiliza más eficientemente la energía.

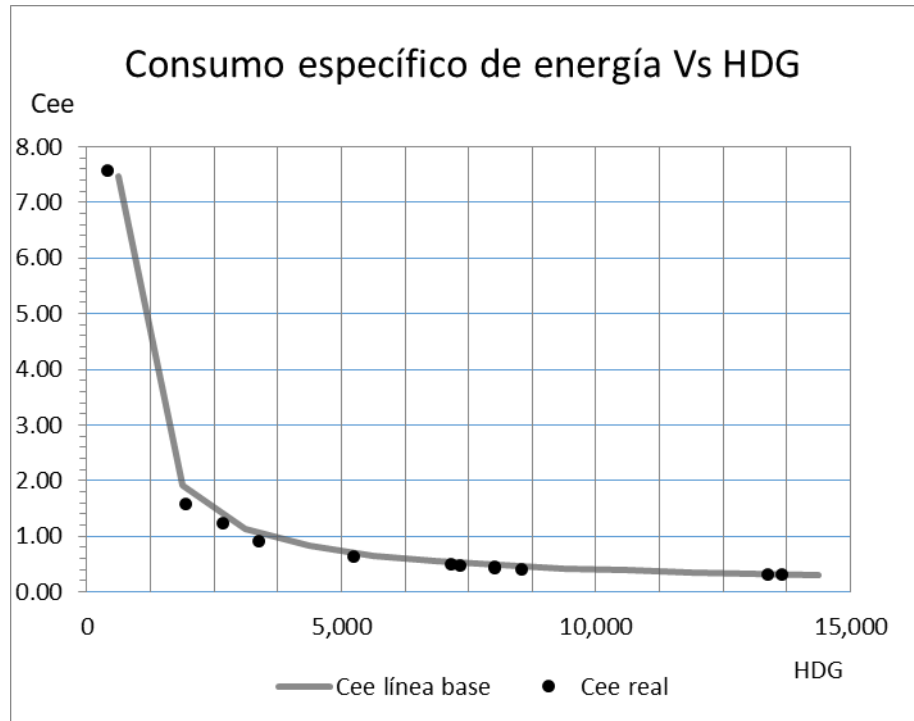


Figura 3.5 Valores de Cee vs HDG.

En la figura 3.5 se observa que los valores reales de los índices de Cee Vs producción se encuentran cerca de la línea del periodo base, por lo que el comportamiento del grupo de hoteles en el año 2018 se ajusta al comportamiento del periodo base. Además, se puede observar que, para una mayor prestación de servicios, los consumos específicos disminuyen, por lo que se puede afirmar que, a mayor ocupación de la instalación, la energía se consume con una mayor eficiencia. Y podemos observar cómo los Cee dan muy cerca de la línea base y en algunos casos por debajo de la línea base con muy poca diferencia, con la excepción del valor de 7,572 perteneciente al mes de enero.

### 3.3.2 Indicador de Varianza energética (Ev).

La tabla 3.13 muestra los valores de la Varianza energética arrojada por el software para el grupo de hoteles. En esta se observan valores que oscilan entre los 95,61 y 107,49, donde no se destacan grandes picos que demuestren variaciones de la eficiencia.

*Tabla 3.13 Consumo específico de energía.*

<i>Meses</i>	<i>Ev</i>
<i>enero</i>	<i>98.66</i>
<i>febrero</i>	<i>103.78</i>
<i>marzo</i>	<i>100.44</i>
<i>abril</i>	<i>99.64</i>
<i>mayo</i>	<i>102.50</i>
<i>junio</i>	<i>107.49</i>
<i>julio</i>	<i>98.72</i>
<i>agosto</i>	<i>96.72</i>
<i>septiembre</i>	<i>104.61</i>
<i>octubre</i>	<i>103.23</i>
<i>noviembre</i>	<i>102.19</i>
<i>diciembre</i>	<i>95.61</i>

Para analizar estos valores se construye un gráfico de líneas, de Varianza energética Vs tiempo (mensual) y en este se crea una región sombreada que va desde 0 a 100, donde los valores que se representen en esta área son valores donde se consumió más energía que lo establecido por la línea base, mientras que de 100 en adelante se obtienen ahorros con respecto al periodo base.

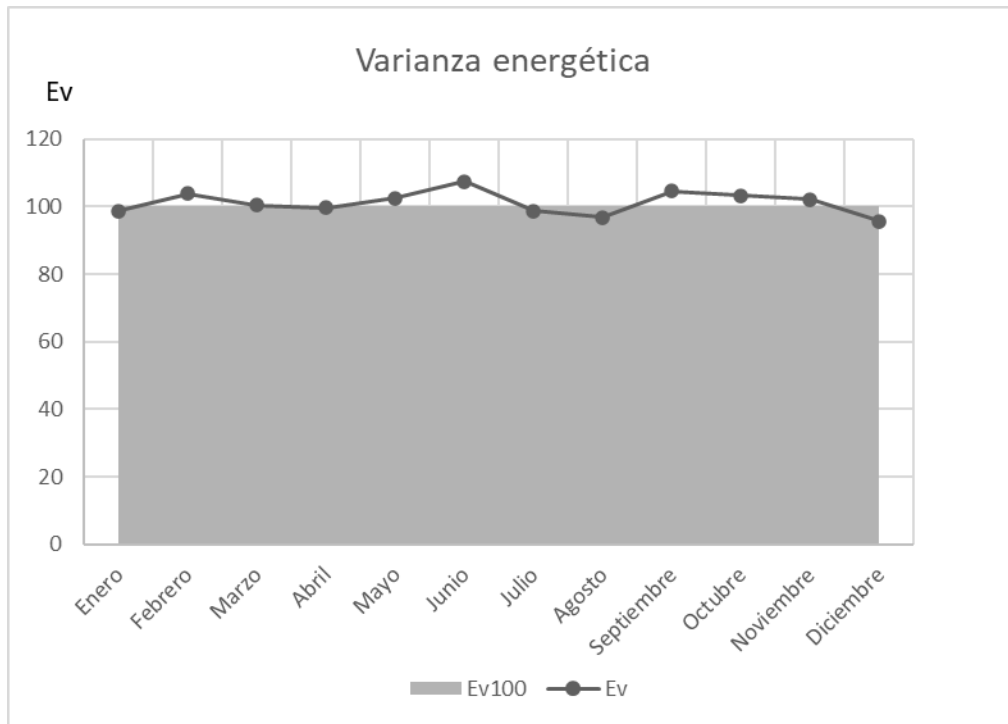


Figura 3.6 Valores de Ev Vs Meses.

En la figura 3.6 se observa que todos los valores de la varianza energética se encuentran en ambos lados de la línea base mostrando meses de ahorros y sobreconsumos. También se observa que la eficiencia en el uso de la energía fue bastante estable, sin grandes picos de ahorros o caídas, siendo el mes de junio el de mayor eficiencia en el uso de la energía.

### 3.3.3 Suma acumulativa de la varianza energética (CUSUM).

La tabla 3.14 muestra los valores de la Suma acumulativa de la varianza energética para el grupo de hoteles. En esta se observa que el año comienza con un sobreconsumo que a partir de febrero se invierte produciéndose un ahorro durante el resto del año.

Tabla 3.14 Valores de la suma acumulativa de la varianza energética.

<i>Meses</i>	<i>CUSUM</i>
<i>enero</i>	<i>40,327.90</i>
<i>febrero</i>	<i>-77,862.12</i>

<i>marzo</i>	-91,391.49
<i>abril</i>	-78,465.97
<i>mayo</i>	-161,747.44
<i>junio</i>	-417,808.45
<i>julio</i>	-363,465.95
<i>agosto</i>	-220,991.17
<i>septiembre</i>	-385,023.20
<i>octubre</i>	-500,231.18
<i>noviembre</i>	-577,600.04
<i>diciembre</i>	-431,601.72

Para analizar estos valores se construye un gráfico de líneas, de la Suma acumulativa de la varianza energética vs tiempo (mensual). Los valores positivos obtenidos representan sobreconsumos, mientras que los valores negativos representan ahorros. El resultado obtenido en el último mes representa el valor de lo que se llegó a ahorrar durante el periodo.

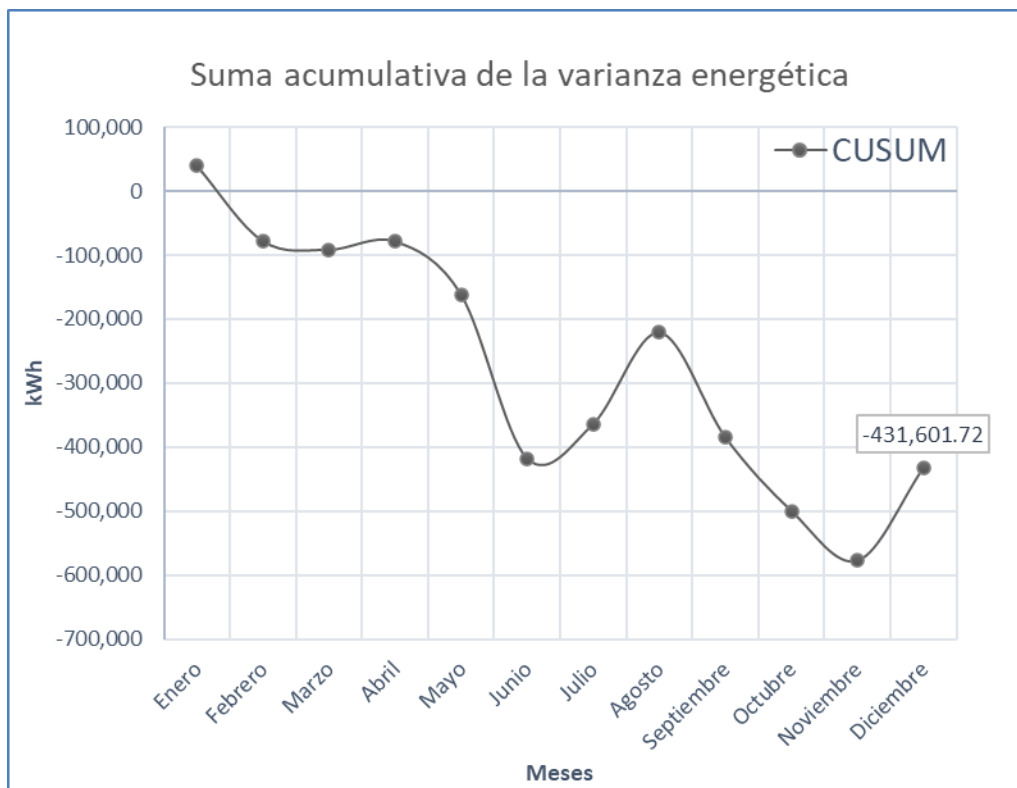


Figura 3.6 Valores de CUSUM Vs Meses.

En la figura 3.6 se observa que el grupo de hoteles comienza el año consumiendo más energía en comparación con su línea base y a partir de febrero se revierte la situación hasta el mes de junio donde se presentan grandes ahorros en los consumos, destacándose el periodo del mes de mayo a junio, donde se encuentra una gran pendiente de este comportamiento. A mediados de año vuelve a ocurrir un sobreconsumo el cual es aplacado por los próximos meses, lográndose al terminar el año un ahorro de 431,6 MWh teniendo en cuenta los patrones de consumo del año base.

### **3.5 Análisis estadístico del modelo de regresión lineal.**

El P-valor de la regresión ( $3.982e-05$ ) es menor que el nivel de significación para un nivel de confianza del 95% lo que indica una relación lineal significativa entre la variable predictora y la variable de respuesta, lo que avala en este sentido el empleo de la regresión lineal para explicar el comportamiento del consumo eléctrico de acuerdo a la variable HDG.

El valor de probabilidad de la prueba de Lilliefors (0,840) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que se infiere de acuerdo a la misma que los residuales presentan una distribución normal (Priego y Palmer, 2018). Ello se corresponde con los valores de los coeficientes de Kurtosis (1,917) y de asimetría (-0,068) dado que se encuentran entre -2 y 2 (Sejati *et al.*, 2019).

De acuerdo a los resultados de la prueba de Breush-Pagan se infiere que los modelos son homocedásticos, ya que el valor de probabilidad (0,638) de la misma es mayor que el nivel de significación para una confianza del 95% (Hernández-Chover *et al.*, 2019).

En las figuras siguientes se muestra el comportamiento de los residuales según el valor ajustado de la variable predicha y los meses del año asociados:

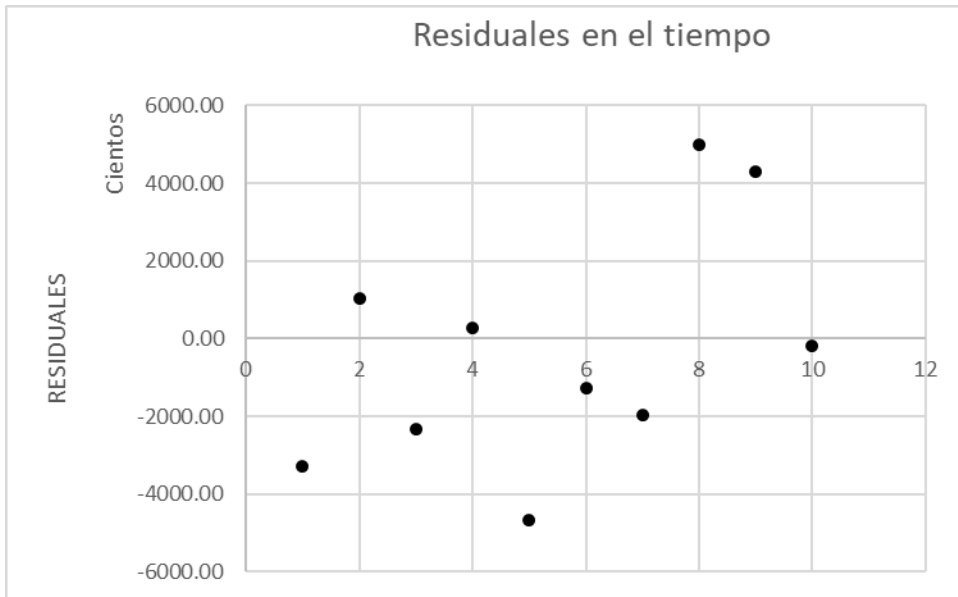


Figura 3.7 Gráfico de residuales de la línea base.

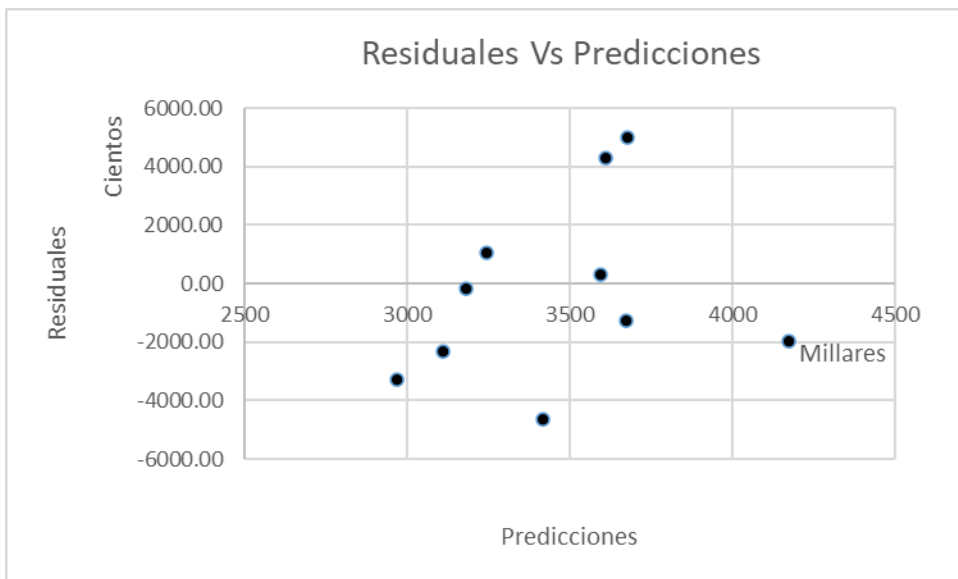


Figura 3.8 Gráfico de residuales Vs valores predichos por el modelo.

Se aprecia que los residuales se encuentran dispersos de forma relativamente uniforme a lo largo de los valores predichos de la variable dependiente. No se observa algún patrón específico, por ejemplo, una forma cónica acentuada o mayor dispersión en los extremos que indique que la variabilidad es dependiente del valor ajustado y por ende heterocedástica.



Como el valor de probabilidad de la prueba de Durbin-Watson es mayor que 0,05 se infiere a partir de este criterio que los errores no se encuentran correlacionados entre sí. Esta inferencia se corrobora de forma gráfica mediante el análisis de la disposición de los valores observados y predichos de la variable dependiente en la figura siguiente:

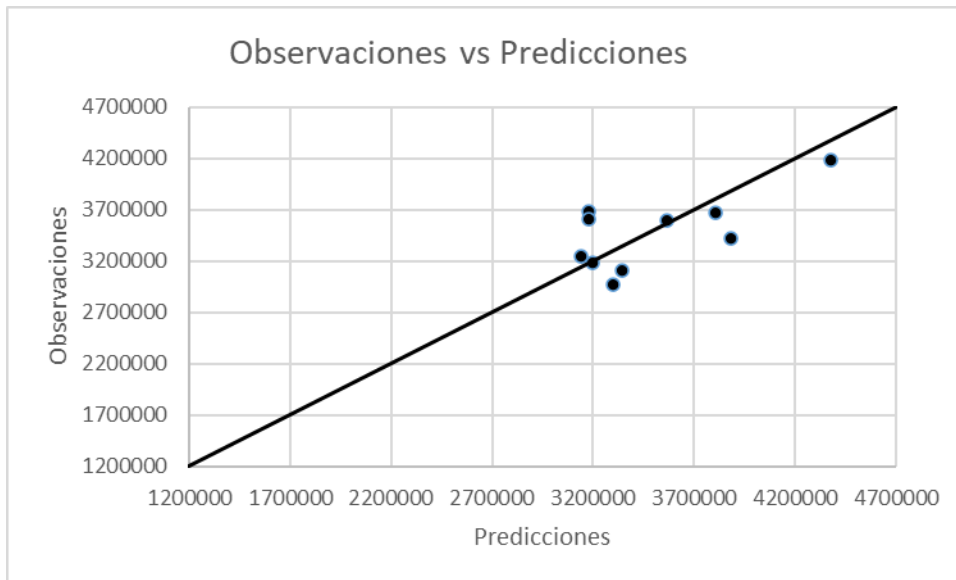


Figura 3.9 Gráfico de valores observados (Consumo eléctrico) contra predicciones (Energía teórica)

No se aprecia ningún patrón que no sea la tendencia hacia la disposición sobre la diagonal de 45°, lo que ratifica el cumplimiento del supuesto de independencia. A su vez, este comportamiento denota por este sentido un adecuado ajuste de la realidad experimental.

Con respecto a la calidad de ajuste del modelo de regresión, se constata en primer lugar que existe un bajo valor de la raíz del error cuadrático medio (RMSD, por sus siglas en inglés). El valor de la RMSD debe ser lo más pequeño posible, indicando un buen ajuste del modelo matemático de regresión (Montgomery *et al.*, 2021). En este caso resulta ser del orden de 298 696 kWh, lo cual representa una imprecisión inferior al 9% del valor medio observado; comportamiento totalmente adecuado de acuerdo a los fines práctico del modelo matemático.

El coeficiente de determinación presenta un valor muy favorable de 0,878, lo cual indica que el modelo explica el 87,8% de la variabilidad total observada en el consumo eléctrico y denota una correspondencia lineal fuerte entre la variable predictora y predicha.

### **3.6 Conclusiones parciales del capítulo.**

Una vez finalizado el presente capítulo, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones parciales:

- Se ha podido seleccionar 7 instalaciones hoteleras para la creación de un grupo de hoteles pertenecientes a la región de Varadero y ser avaluado energéticamente mediante los IDE, de los cuales se agruparon sus datos de consumo eléctrico y HDG y se tomaron los datos de temperatura de bulbo seco para esa región.
- Se determinaron los DGE, escogiéndose el método de Erbs como el que menor incertidumbre posee y se elaboró la línea base para el año 2017 donde se tuvo que filtrar los datos.
- Los análisis de las gráficas de control que se obtuvieron del cálculo de los IDE arrojaron: que para mayores niveles de producción los Cee disminuyen; la Ev muestra valores cercanos a los de la línea base, notándose un pequeño pico de mejora de la eficiencia en el mes de junio y por último el análisis del CUSUM muestra un ahorro al culminar el año de 431,6 MWh, con respecto a la línea base.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó un análisis bibliográfico donde queda reflejada la importancia de la utilización de los DGE para el análisis de consumo eléctrico en el sector hotelero por su alta correlación con la temperatura exterior.
2. Se desarrolló una metodología para la obtención de la línea base a partir de los DGE que puede servir de referencia para la determinación de los IDE y sus gráficos de control, aplicado a un grupo de hoteles.
3. Con la utilización del Software “HIDELIN\_HOTEL” se calcularon los DGE de donde se seleccionó el método de Erbs por ser el que menor incertidumbre presenta entre los 5 analizados y se determinó la línea base con la que se analizaron los IDE, dando como resultado un ahorro en el año 2018 de 431,6 MWh, en comparación con los patrones de consumo del año base.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda presentar el trabajo a funcionarios del sector hotelero para su utilización junto al software “HIDELIN\_HOTEL” en el mejoramiento de los SGE.
2. Se recomienda realizar este análisis para grupos de hoteles de otras regiones del país que permita una comparación sobre la aplicación del procedimiento elaborado y su utilización para la implementación de la NC ISO 50001.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.I.E La Agencia Internacional de Energía (AIE), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), and Ministerio de Minas y Energía *América Latina y el Caribe Recomendaciones de Políticas de Eficiencia Energética Regionales*, 2014,
- ACOSTA, A. V.; A. I. GONZÁLEZ, *et al.* Modelo para la Predicción Energética de una Instalación Hotelera *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 2011, 8(4): 309-322.
- ADAMS, S. y C. NSIAH Reducing carbon dioxide emissions; Does renewable energy matter? *Science of The Total Environment*, 2019, 693: 133288.
- AL-HADHRAMI, L. M. Comprehensive review of cooling and heating degree days characteristics over Kingdom of Saudi Arabia *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 27: 305-314.
- ALOLA, A. A.; S. S. AKADIRI, *et al.* Cooling and heating degree days in the US: The role of macroeconomic variables and its impact on environmental sustainability *Science of The Total Environment*, 2019, 695: 133832.
- AMIRKHANI, S.; A. BAHADORI-JAHRAMI, *et al.* Impact of Adding Comfort Cooling Systems on the Energy Consumption and EPC Rating of an Existing UK Hotel *Sustainability*, 2020, 12(7)
- ARRASTÍA, M. A. Electricidad y emisiones de CO2 *Energía y Tú [online]. Editorial Cubasolar. vol. 70, [citado 8 de enero 2018] Disponible en la World Wide Web: <<http://www.cubasolar.cu> >. ISSN 1028-9925*, 2015,
- ATTIA, S.; E. GRATIA, *et al.* Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design *Energy and Buildings*, 2012, 49: 2-15.
- BADESCU, V. y E. ZAMFIR Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures (Romania) *Energy Conversion and Management*, 1999, 40(8): 885-900.
- BALLARD, J.; L. BORDEN y D. F. PERKINS Program quality components related to youth civic engagement *Children and Youth Services Review*, 126, 106022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2021.106022>, 2021,
- BELMONTE, S.; J. FRANCO, *et al.* Las energías renovables como oportunidad y desafío para el desarrollo territorial, Valle de

- Lerma, Salta, Argentina. AUGMDOMUS. Asociación de Universidades: Grupo Montevideo, 2013. 5: pp. 154-179.*
- BHATNAGAR, M.; J. MATHUR y V. GARG Determining base temperature for heating and cooling degree-days for India *Journal of Building Engineering*, 2018, 18: 270-280.
- BOROWSKI, M.; P. MAZUR, *et al.* Energy Monitoring in a Heating and Cooling System in a Building Based on the Example of the Turówka Hotel *Energies*, 2020, 13(8)
- BRAGANÇA, L.; S. M. VIEIRA y J. B. ANDRADE Early Stage Design Decisions: The Way to Achieve Sustainable Buildings at Lower Costs *The Scientific World Journal*, 2014, 2014: 365364.
- BURDOVÁ, E. K. y S. VILČEKOVÁ Energy performance indicators developing *Energy Procedia*, 2012, 14: 1175-1180.
- BÜYÜKALACA, O.; H. BULUT y T. YILMAZ Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey *Applied Energy*, 2001, 69(4): 269-283.
- CASAS, R. Estudio del Desempeño energético en el hotel Arenas Blancas *Tesis de culminación de estudios. Universidad de Matanzas.*, 2023,
- CASTILLA, M. M.; J. D. ALVAREZ, *et al.* Técnicas de control del confort en edificios *Técnicas de control del confort en edificios. RIAI, Vol. 7, No. 3, pp 5-24.*, 2010,
- CASTRILLÓN, R. y G. A. J. 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, 2013,
- CHRISTENSON, M.; H. MANZ y D. GYALISTRAS Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland *Energy Conversion and Management*, 2006, 47(6): 671-686.
- CONRADIE, D.; T. VAN REENEN y S. BOLE Degree-day building energy reference map for South Africa *Building Research & Information*, 2018, 46(2): 191-206.
- CREUTZIG, F.; L. NIAMIR, *et al.* Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being *Nature Climate Change*, 2022, 12(1): 36-46.
- D'AMICO, A.; C. GIUSEPPINA, *et al.* Building energy demand assessment through heating degree days: The importance of a climatic dataset *Applied Energy*, 2019, 242: 1285-1306.

- DAMERI, R. P. Smart city implementation: Creating economic and public value in innovative urban systems *Springer* <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45766-6>, 2017,
- DAY, A. R.; I. KNIGHT, *et al.* Improved methods for evaluating base temperature for use in building energy performance lines. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2003, 24(4): 221–228.
- DE ROSA, M.; V. BIANCO, *et al.* Historical trends and current state of heating and cooling degree days in Italy *doi: 10.1016/j.enconman.2014.11.022*, 2015,
- DE ROSA, M.; V. BIANCO, *et al.* Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach *Applied Energy*, 2014, 128: 217-229.
- DELPHINE, R.; A. KAREN, *et al.* Future heating and cooling degree days for Belgium under a high-end climate change scenario *Energy and Buildings*, 2020, 216: 109935.
- DHIRASASNA, N. y O. SAHIN A system dynamics model for renewable energy technology adoption of the hotel sector *Renewable Energy*, 2021, 163: 1994-2007.
- DOMBAYCI, Ö. A. Degree-days maps of Turkey for various base temperatures *Energy*, 2009, 34(11): 1807-1812.
- DONG, Y. y M. Z. HAUSCHILD Indicators for environmental sustainability *The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 2017,
- EL-SHAARAWI, M. A. I. y N. AL-MASRI Weather data and heating-degree days for Saudi Arabia *Energy*, 1996, 21(1): 39-44.
- ERBELLO, L. M. ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO EN EL HOTEL CUATRO PALMAS *Tesis de culminación de estudios. Universidad de Matanzas.*, 2022,
- ERBS, D. G.; W. A. BECKMAN y S. A. KLEIN Estimation of degree-days and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures, 1983,
- FAKOYA, M. B. Investment in hazardous solid waste reduction and financial performance of selected companies listed in the Johannesburg Stock Exchange Socially Responsible Investment Index *Sustainable Production and Consumption*, 23, 21-29. *doi: https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.03.007*, 2020,

- FIELD, C. B. y V. R. BARROS. *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press, 2014. p. 9781107058163
- FOX, J. y W. SANFORD An R Companion to Applied Regression (3ra ed.). California: SAGE., 2019,
- G. CHIESA, M. G. The influence of different hourly typical meteorological years on dynamic simulation of buildings, in: *Energy Procedia* doi:10.1016/j.egypro.2015.11.280., 2015,
- GARCÍA, O.; G. ROQUE y R. VAZQUEZ INDICADORES Y REPORTE DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE CINCO HOTELES DE VARADERO *Taller, Simposio, Seminario o Foro: XI Taller Internacional de Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Cienfuegos, Iconvencion Científica Internacional, 2022,
- GIL-GARCIA, J. R.; J. ZHANG y G. PURON-CID Conceptualizing smartness in government: An integrative and multi-dimensional *Government Information Quarterly*, vol. 33, pp. 524–534. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2016.03.002>., 2016,
- HARVEY, L. D. D. Using modified multiple heating-degree-day (HDD) and cooling-degree-day (CDD) indices to estimate building heating and cooling loads *Energy and Buildings*, 2020, 229: 110475.
- HERNÁNDEZ-CHOVER, V.; L. CASTELLET-VICIANO y F. HERNÁNDEZ-SANCHO Cost analysis of the facilities deterioration in wastewater treatment plants: A dynamic approach *Sustainable Cities and Society*, 49, 101613. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101613>, 2019,
- HIREMATH, R. B.; P. BALACHANDRA, et al. Indicatorbased urban sustainability A review. *Energy for Sustainable Development*, vol. 17, pp. 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.08.004>., 2013,
- HITCHIN, E. R. Estimating monthly degree-days *Building Services Engineering Research and Technology*, 1983, 4(4): 159-162.
- HUOVILA, A.; P. BOSCH y M. AIRAKSINEN Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when? *Cities*, 2019, 89: 141-153.
- IBARGUEN-VALVERDE, J. L., ANGULO-LOPEZ, J. E., RODRIGUEZ-SALCEDO, J., & PRÍAS-CAICEDO, O. F. Indicators of energetic performance: A path to sustainability. “A case study of a high-



- roasting industry of coffee” *DYNA*, vol. 84, núm. 203, pp. 184-191, 2017. Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.65336>
- 2017,
- IDCHABANI, R.; M. GAROUM y A. KHALDOUN Analysis and mapping of the heating and cooling degree-days for Morocco at variable base temperatures *International Journal of Ambient Energy*, 2015, 36(4): 190-198.
- IRENA Rethinking energy 2017: Great potential remains for renewables *International Renewable Energy Agency*, 2017,
- J. SPINONI, J. V., P. BARBOSA European degree-day climatologies and trends for the period 1951-2011 *Int. J. Climatol.* 35 25–36, doi: 10.1002/joc.3959 . 2015,
- JIANG, F.; X. LI, *et al.* Observed trends of heating and cooling degree-days in Xinjiang Province, China *Theoretical and Applied Climatology*, 2009, 97(3): 349-360.
- JOVANOVIĆ, S.; S. SAVIĆ, *et al.* The impact of the mean daily air temperature change on electricity consumption *Energy*, 2015, 88: 604-609.
- K. PAPAKOSTAS y N. KYRIAKIS Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece *Renew. Energy* , doi: 10.1016/j.renene.2014.12.002 . 2015,
- KOHLER, M.; N. BLOND y A. CLAPPIER A city scale degree-day method to assess building space heating energy demands in Strasbourg Eurometropolis (France) *Applied Energy*, 2016, 184: 40-54.
- KOURKOUMPAS, D.-S.; G. BENEKOS, *et al.* A review of key environmental and energy performance indicators for the case of renewable energy systems when integrated with storage solutions *Applied Energy*, 2018, 231: 380-398.
- KOURTIT, K. y N. NIJKAMP Big data dashboards as smart decision support tools for cities. An experiment on Stockholm *vol. 71, pp. 24–35.* <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.019>., 2018,
- KREIDER, J. F.; P. S. CURTISS y A. RABL. *Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency, Revised Second Edition.* CRC Press, 2009. p. 9781439882504
- KRESE, G.; M. PREK y V. BUTALA Analysis of Building Electric Energy Consumption Data Using an Improved Cooling Degree Day Method *Strojniski Vestnik*, 2012, 58: 107-114.

- KUREKCI, N. A. Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers *Energy and Buildings*, 2016, 118: 197-213.
- LAM, J. C.; C. L. TSANG y D. H. W. LI Long term ambient temperature analysis and energy use implications in Hong Kong *Energy Conversion and Management*, 2004, 45(3): 315-327.
- LAM, J. C.; C. L. TSANG, *et al.* Weather data analysis and design implications for different climatic zones in China *Building and Environment*, 2005, 40(2): 277-296.
- LINDELÖF, D. Bayesian estimation of a building's base temperature for the calculation of heating degree-days *Energy and Buildings*, 2017, 134: 154-161.
- LINDELÖF, D.; H. AFSHARI, *et al.* Field tests of an adaptive, model-predictive heating controller for residential buildings *Energy and Buildings*, 2015, 99: 292-302.
- LUCIA, U. y G. GRISOLIA Exergy inefficiency: An indicator for sustainable development analysis *Energy Reports*, 2019, 5: 62-69.
- M. DE ROSA, V. B., F. SCARPA, L.A. TAGLIAFICO Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach *Energy vol 128 pp.217–229, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.067* . 2014,
- MÁRQUEZ-CEBALLOS. J, A. Criterios para la Planeación de Sistemas de Gestión de Energía en un Campus Universitario *Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación Manizales*, 2019,
- MATZARAKIS, A. y C. BALAFOUTIS Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption *International Journal of Climatology*, 2004, 24(14): 1817-1828.
- MENG, Q.; Y. XI, *et al.* Evaluating multiple parameters dependency of base temperature for heating degree-days in building energy prediction *Building Simulation*, 2021, 14(4): 969-985.
- MILIÁN, Y. ANÁLISIS DE DÍAS GRADOS DE ENFRIAMIENTO MEDIANTE EL MODELO RODRÍGUEZ-SANTOS EN HOTELES DE VARADERO *Tesis de culminación de estudios. Universidad de Matanzas.*, 2022,

- MIRANDA, N. D.; J. LIZANA, *et al.* Change in cooling degree days with global mean temperature rise increasing from 1.5 °C to 2.0 °C *Nature Sustainability*, 2023, 6(11): 1326-1330.
- MO, H. y G. SANSAVINI Real-time coordination of distributed energy resources for frequency control in microgrids with unreliable communication *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 96, 2018,
- MONDEJAR, M. E.; R. AVTAR, *et al.* Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet *Science of The Total Environment*, 2021, 794: 148539.
- MONTGOMERY, D. C.; E. A. PECK y G. G. VINING. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 6TH EDITION, N. Y. W., ISBN: 978-1-119-57872-7, 2021.
- MOURSHED, M. Relationship between annual mean temperature and degree- days *Energy Build.* vol. 54 pp.418–425, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.07.024 . 2012,
- MOYA, B.; L. CASTILLO, *et al.* Cambio Climático en Varadero *Instituto del IAI sobre Urbanización y Cambio Ambiental Global en América Latina*. Ciudad de México.INE-IHDP., 2004,
- MUÑOZ, N. y A. RIOS ¿Cómo reducir costos energéticos en plantas de extrusión e inyección? *Equipo de investigación del ICIPC. Boletín, Tecnología del Plástico.*, 2023,
- NC ISO 50001:2019. *SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA*.
- NEMATCHOUA, M. K.; M. SADEGHI y S. REITER Strategies and scenarios to reduce energy consumption and CO2 emission in the urban, rural and sustainable neighbourhoods *Sustainable Cities and Society*. vol 72, pp.103-153, ISSN:2210-6707, doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103053>, 2021,
- OREGI, X. y C. JIMENEZ-BESCOS Evaluating the Effect of Different Base Temperatures to Calculate Degree-Days *Environmental and Climate Technologies*, 2020, 24: 364.
- ORTIZBEVIÁ, M. J.; G. SÁNCHEZ-LÓPEZ, *et al.* Evolution of heating and cooling degree-days in Spain: Trends and interannual variability *Global and Planetary Change*, 2012, 92-93: 236-247.
- PALENSKY, P. y D. DIETRICH Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011,
- PAPAKOSTAS, K. y N. KYRIAKIS Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece *Renewable Energy*, 2005, 30(12): 1873-1880.

- PRIEGO, Q. y R. PALMER Multi Regression Analysis of Skin Temperature Variation During Cycling Exercise *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics*, 27, 962-969. doi: 10.1007/978-3-319-68195-5\_105, 2018,
- Q. MENG, M. M. Degree-day based non-domestic building energy ana- lytics and modelling should use building and type specific base temperatures *Energy Build.* 155 pp. 260–268, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.09.034 . 2017,
- RAMON, D. y K. ALLACKER Integrating climate change in life cycle assessment of buildings: literature review *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 323(1): 012064.
- RAZALI, N. M. y Y. B. WAH Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33. , 2011,
- ROBERTS, S. Effects of climate change on the built environment *Energy Policy*, 2008, 36(12): 4552-4557.
- RODRÍGUEZ, O.; O. CRUZ y A. LEYVA Modelo simplificado para el cálculo de grados-día con escala de tiempo variable *Centro Agrícola*, 2021, 48: 57-65.
- SAID, S. A. M.; M. A. HABIB y M. O. IQBAL Database for building energy prediction in Saudi Arabia *Energy Conversion and Management*, 2003, 44(1): 191-201.
- SALEM, R.; A. BAHADORI-JAHROMI, *et al.* Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel *Journal of Building Engineering*, 2020, 31: 101403.
- SCHOENAU, G. J. y R. A. KEHRIG Method for calculating degree-days to any base temperature *Energy and Buildings*, 1990, 14(4): 299-302.
- SEJATI, A.; S. KASMIATI y F. IKHSAN The relationship between learning process interactions and student’s learning outcomes in environmental sustainability matter geography-social science education subject *Presentado en: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019,
- ŞEN, Z. y M. KADIOĞLU Heating degree–days for arid regions *Energy*, 1998, 23(12): 1089-1094.
- SEOK-HO, Y.; K. SEUNG-YEON, *et al.* Multiple power-based building energy management system for efficient management of building energy *Sustainable Cities and Society*, 42, 462–470, 2018,

- SERNA, C. A. Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía, 2010,
- SHAO, M.; X. WANG, *et al.* Prediction of energy consumption in hotel buildings via support vector machines *Sustainable Cities and Society*, 2020, 57: 102128.
- SHIM, H. S. y S. J. LEE. *A Study of Determination of Energy Performance Indicator for Applying Energy Management System in Industrial Sector*. 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), 2018. 1-6 p. 2159-5100
- SORIANO, R. E. Ahorro de energía en Hoteles de México. *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Tesis de grado*, 2011,
- TRIGAUX, D.; B. OOSTERBOSCH, *et al.* A design tool to assess the heating energy demand and the associated financial and environmental impact in neighbourhoods *Energy and Buildings*, 2017, 152: 516-523.
- USMAN, M.; K. KHALID y M. A. MEHDI What determines environmental deficit in Asia? Embossing the role of renewable and non-renewable energy utilization *Renewable Energy*, 2021, 168: 1165-1176.
- VÁZQUEZ, R.; O. GARCÍA y G. VILLALONGA Determinación de Indicadores de Desempeño Energético en un grupo de hoteles de la península Hicacos *Evento internacional Universidad Sociedad, Universidad de Matanzas*, 2022,
- VEGA, A. Procedimiento para la Evaluación del Desarrollo Sostenible Territorial y su aplicación en la provincia de Villa Clara *Facultad de Matemática, Física Y Computación, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas*, 2014, 2014,
- WANG, X.; D. CHEN y Z. REN Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia *Building and Environment*, 2010, 45(7): 1663-1682.
- WU, J.; Z. LIAN, *et al.* A method to evaluate building energy consumption based on energy use index of different functional sectors *Sustainable Cities and Society*, 2020, 53: 101893.
- YI, Y.; R. XU y S. ZHANG A differential game of R&D investment for pollution abatement in different market structures *Phys. Stat. Mech. Appl.* 524; pp. 587-600, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.118>., 2019,

