

*Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas*



**DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA BASE PARA LA
INDUSTRIA HOTELERA EN VARADERO**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Manuel Alejandro Tabares Pereira

Tutores: Ing. Gabriel Roque Villalonga

Dr. Osvaldo García Morales

Matanzas, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

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

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis abuelos Lázaro Pereira y María del Carmen Montpellier que fueron mi guía, a toda mi familia y amigos que me apoyaron en estos cinco años, a todos ellos muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

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

A mi tutor Gabriel y al Dr. C. Osvaldo Fidel García Morales por su paciencia y sus consejos.

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

A mis compañeros de aula.

A todos muchas gracias...

RESUMEN

Entre los distintos métodos empleados para analizar la interacción del clima con el consumo de energía, sobre todo en procesos de climatización, refrigeración y acondicionamiento de locales, se encuentra el denominado Método de los Días Grados. Los Días Grados representan un indicador climático versátil usado comúnmente en el análisis del rendimiento de energía de edificios, por ejemplo: para llevar a cabo la valoración energética de nuevos edificios existentes, analizar el consumo de energía de territorio o un análisis del futuro pronostico consumo de energía. El método usado para determinar los valores de Días Grados depende de los datos climáticos y de la temperatura base de cada ubicación, por lo que en este trabajo se realizó un estudio comparativo de diferentes metodologías disponibles para el cálculo de la temperatura base en Varadero y se seleccionó la más adecuada, para que pueda ser tomada como estándar para dicha localidad en los posteriores estudios de los Días Grados.

Palabras claves: energía; consumo; gestión energética; indicador; temperatura base; dias grados de enfriamiento.

ABSTRACT

Among the different methods used to analyze the interaction of climate with energy consumption, especially in air conditioning, refrigeration and conditioning of premises, is the so-called Method of Degrees Days. The Degrees Days represent a versatile climate indicator commonly used in the analysis of the energy performance of buildings, for example: to carry out the energetic assessment of new existing buildings, analyze the energy consumption of territory, an analysis of the future forecast consumption of energy, etc. The used method to determine the values of Degrees Days depends of the climatic data and of the base temperature of each location, so in this work a comparative study of different available methodologies is made for the calculation of the base temperature on Varadero and the most appropriate one is selected, and it can be taken as standard for this town in the later studies of the Degrees Days.

Keywords: energy; consumption; energy management; indicator; base temperature; cooling degree days.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica	4
1.1 Eficiencia Energética y Medio Ambiente. Desarrollo Energético Sostenible	4
1.2 Gestión Energética	5
1.3 Gestión Energética del Turismo en Cuba	6
1.4 Implementación de la Norma Internacional ISO 50001	6
1.4.1 Ventajas de la implementación de la ISO 50001: 2018	8
1.4.2 Implementación de la ISO 50001 en Cuba	9
1.5 Sistema de Gestión Energética.....	10
1.5.1 Beneficios de un SGEN basado en la ISO 50001	10
1.5.2 Línea de Base Energética.....	11
1.5.3 Errores que se cometen en la gestión energética	12
1.6 Indicadores de desempeño energético (IDEn)	13
1.6.1 Días-Grado.....	16
1.6.2 Determinación de la temperatura base	18
Capítulo 2 Materiales y métodos	19
2.1 Caracterización de la muestra de los hoteles	19
2.1.1 Hotel Ocean Varadero El Patriarca.....	19
2.1.2 Hotel Grand Memories Varadero.....	19
2.1.3 Hotel Paradisus Princesa del Mar	20
2.1.4 Hotel Iberostar Playa Alameda	20
2.1.5 Hotel Ocean Vista Azul	20
2.1.6 Hotel Paradisus Varadero	21
2.1.7 Hotel Fiesta Americana Punta Varadero.....	21
2.1.8 Hotel Iberostar Laguna Azul.....	21
2.2 Obtención de los datos estadísticos de consumo y ocupación de los hoteles	22
2.3 Obtención de los datos estadísticos climatológicos	22
2.4 Obtención de HDO-DGE como indicador de desempeño energético	22
2.5 Determinación de la temperatura base.....	23
2.6 Cálculo de la temperatura base por el método PLM (<i>Performance Line Method</i>). 23	
2.6.1 Determinación de la temperatura base por el método PLM para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero	24
2.6.2 Determinación de la temperatura base por el método PLM para todos los hoteles	32
2.7 Cálculo de la temperatura base por el método de Auliciems.....	33
2.7.1 Determinación de la temperatura base por el método de Auliciems para todos los hoteles.....	33

2.8 Análisis final de los resultados obtenidos en el cálculo de la Tb por cada método	35
Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	36
3.1 El IDEn HDO-DGE como comprobación del cálculo de la Tb obtenida por el método PLM (<i>Performance Line Method</i>)	36
3.1.1 Determinación de HDO-DGE por el método PLM para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero	36
3.1.2 Determinación de HDO-DGE por el método PLM para todos los hoteles.....	41
3.2 El IDEn HDO-DGE como comprobación del cálculo de la Tb obtenida por el método de Auliciems	43
3.2.1 Determinación de HDO-DGE por el método de Auliciems para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero	43
3.2.2 Determinación de HDO-DGE por el método de Auliciems para todos los hoteles	47
3.3 Análisis final de los resultados obtenidos en el cálculo de HDO-DGE por cada método.....	48
Conclusiones	50
Recomendaciones	51
Referencias Bibliográficas	52

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un sobreconsumo de los recursos naturales debido a la generación de corriente eléctrica, aumentando así las emisiones de gases de efecto invernadero y con ello el calentamiento global [Campos 2013]. Por lo cual, es de suma importancia en las instituciones realizar un análisis del desempeño energético, así como un sistema de gestión de la energía (SGEn), con el fin de lograr un desarrollo energético sostenible.

Los análisis realizados en numerosas instituciones ponen de manifiesto el insuficiente nivel de gestión energética existente en muchas de ellas, así como las posibilidades de reducir los costos energéticos y administrar eficientemente la energía [Campos 1997]. Como consecuencia, se han incrementado sistemáticamente los estudios en cuanto a la eficiencia energética [Shi-Ming & Burnett 2002]. Principalmente en las áreas intertropicales, donde la electricidad representa alrededor del 70 % de los costos de la energía.

Aunque los hoteles no son entidades muy energointensivas, los energéticos sí constituyen una partida a tener en cuenta y su precio ha estado muy cambiante, previéndose que en el futuro se incremente y afecte con más fuerza a los países importadores de los mismos, entre ellos Cuba.

En los hoteles cubanos los costos del consumo eléctrico se encuentran entre el 60 y 70% y en ocasiones ascienden al 90% de los costos energéticos totales. Por tal motivo, una de las premisas de la dirección del polo turístico de Varadero es la reducción del consumo de electricidad.

La aplicación de un sistema de gestión energética, al igual que de otros sistemas como el de gestión de calidad, requiere de una guía, una norma que estandarice lo que hay que hacer para implementarlo, para mantenerlo y mejorarlo continuamente, con la menor inversión de recursos, en el menor tiempo y la mayor efectividad. Existen amplias posibilidades de reducir los costos energéticos mediante la creación en ellas de capacidades técnicas-organizativas para administrar eficientemente la energía.

La norma cubana NC-ISO 50001:2019 especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía.

Desde épocas tan tempranas como en la segunda mitad del siglo XX se notó la necesidad de introducir un parámetro que, estando ligado a la temperatura ambiental, permitiera relacionar de manera práctica el sistema energía-clima, destacándose para ello el término Grados Días. Este método, denominado precisamente como método de los Grados Días, requiere discernir entre los Grados Días de Calentamiento (GDC), y los Grados Días de Enfriamiento (GDE), tomando como criterio de comparación una llamada *temperatura base* (T_b), la cual viene a ser una magnitud familiar para cada país o región donde se ha estado aplicando este método, pero que no puede ni debe ser considerada una constante aplicable a cualquier punto del planeta. Esta temperatura base representa la temperatura en la cual debe existir un balance energético tal en el objeto de análisis (edificios residenciales, comerciales, industriales, etc.) que no se requiera calefacción ni enfriamiento para obtener una sensación agradable para sus ocupantes, aunque esta no dependa íntegramente del parámetro temperatura, pero sí de factores relacionados con ella directa o indirectamente.

El método de los Grados Días resulta un elemento fundamental para la aplicación de los denominados *Métodos cuantitativos para la realización de evaluaciones de impacto del cambio climático*, como son en el método de las analogías, en los métodos estadísticoeconómicos, así como en los métodos ingenieriles del uso final de la energía, todo lo cual refuerza el criterio de la necesidad de instrumentar un estudio al respecto, al menos para el polo turístico de Varadero, por lo que este supondría económicamente.

En este trabajo el autor se valdrá de comparar varios métodos que se conocen en la literatura sobre como obtener la temperatura base (T_b), y con el más adecuado hallar una que pueda ser tomada como estándar para dicha localidad en los posteriores estudios de los Días Grados.

Problema de investigación:

¿Cuál es el procedimiento de cálculo más conveniente para la determinación de una temperatura base específica de refrigeración para las instalaciones hoteleras de Varadero en función de los datos climáticos disponibles por el Centro Meteorológico Provincial?

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

Si se realiza un estudio comparativo de los métodos de determinación de la temperatura base en función de los datos disponibles, puede obtenerse el valor más adecuado de la misma para los estudios de los Grados Días en el polo turístico de Varadero.

Objetivo general:

Determinar el procedimiento más adecuado para el cálculo de la temperatura base y la obtención de su valor para implementarlo en los estudios de los Grados Días en las instalaciones hoteleras de Varadero.

Objetivos específicos:

1. Revisión bibliográfica del estado del arte de la ISO 50001 y el Método de los Grados Días.
2. Aplicación de varios métodos para el cálculo de los Grados Días mensuales de refrigeración con temperatura base variable, a 8 hoteles de Varadero, usando datos climatológicos disponibles del Centro Meteorológico de Varadero para el período comprendido entre 2016 y 2018.
3. Aplicar un procedimiento gráfico-analítico para determinar la temperatura base de refrigeración para el polo turístico de Varadero mediante el uso del programa Microsoft Office Excel.
4. Estudiar comparativamente la temperatura base y los Grados Días obtenidos por cada método, realizar análisis de errores entre ellos y definir el más factible.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

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

1.1 Eficiencia Energética y Medio Ambiente. Desarrollo Energético Sostenible

La eficiencia energética es un requisito indispensable para lograr la eficiencia y calidad en las entidades de producción y prestación de servicios al ser la energía un componente importante en los gastos económicos, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la Energía necesaria para garantizar calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones.

Además, que la eficiencia energética y el ahorro deben ser concebidos desde el diseño de la instalación, nuevos equipos y medios que se construyan o importen. Requiere de sistematicidad en su atención, dedicación, rigor y creatividad. Implica además lograr un nivel de producción o servicios con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible y la menor contaminación ambiental por este concepto.

Las bases para lograr un desarrollo energético sostenible son la sustitución de las fuentes de energía y la eficiencia energética.

Con relación a esta temática Anibal E. Borroto y Jose P. Monteagudo plantean que las bases de la política energética para lograr un Desarrollo Sostenible deben estar conformada por tres direcciones principales [Borroto et al 2006]:

1. Elevación de la eficiencia energética, fomentando una cultura de uso racional de la energía, eliminando esquemas de consumo irracionales, implementando sistemas de gestión energética efectivos, utilizando equipos de alta eficiencia, reduciendo la intensidad energética en los procesos industriales, aprovechando las fuentes

secundarias de bajo potencial, utilizando sistemas de cogeneración y trigeneración, y empleando, en general, la energía de acuerdo a su calidad.

2. Sustitución de fuentes de energía, por otras de menor impacto ambiental, en particular por fuentes renovables, tales como energía solar, energía eólica, energía geotérmica, hidroenergía, biomasa, energía de los océanos, etc.
3. Empleo de tecnologías para atenuar los impactos ambientales, o tecnologías limpias, como son los sistemas depuradores de gases de combustión o las tecnologías de gasificación del carbón en ciclos combinados con turbinas de gas.

1.2 Gestión Energética

El principal objetivo de la gestión energética es lograr un uso más eficiente de la energía sin reducir los niveles de producción, sin mermar la calidad del producto o servicio, ni afectar la seguridad o los estándares ambientales.

La Gestión Empresarial incluye todas las actividades de la función gerencial que determinan la política, los objetivos y las responsabilidades de la organización y que las ponen en práctica a través de: la planificación, el control, el aseguramiento y el mejoramiento del sistema de la organización [Quintana 2013].

La Gestión Energética o Administración de Energía, como subsistema de la gestión empresarial abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas [Borroto et al 2006].

Es importante abordar el tema de la gestión energética en Cuba ya que, en el país, más que en cualquier otro, es ineludible mejorar el control de los recursos energéticos, así como hacer un uso mucho más racional y eficiente de los mismos, lo que representa un mejoramiento continuo de la eficiencia y de la competitividad en las empresas.

La economía cubana sufre de las embestidas de la crisis en el suministro energético, lo cual se extiende en mayor o menor grado en todos los sectores de la actividad económica. En virtud de las prioridades asignadas a las empresas exportadoras y a los servicios sociales

básicos, en cuanto al suministro energético, el impacto sobre el resto de las empresas es severo. Esta situación obliga a la dirección del país a tomar medidas y programas para enfrentar esta crisis, cuyo alcance es global y sectorial.

1.3 Gestión Energética del Turismo en Cuba

Experiencias internacionales demuestran que una instalación hotelera que funcione eficientemente, desde el punto de vista energético, debe consumir entre 5 y 7 % de sus ingresos para cubrir los gastos energéticos, indicador que varía en función del tipo de hotel y la categoría que ellos posean, así como del tipo de servicio que se ha de prestar.

En Cuba, en las cadenas Cubanacán, Gran Caribe, Islazul y Horizontes, este indicador oscila entre 8 y 16 % y puede llegar hasta 20 % en hoteles que tienen una infraestructura muy atrasada y bajos niveles de comercialización.

En Cuba la actividad hotelera, en el Ministerio del Turismo, consume el 83% de la electricidad respecto al total de actividades [Lapido & Valdivia 2016], debido a las elevadas temperaturas de nuestro clima tropical. Las áreas que consumen más energía eléctrica en un hotel son la climatización y el alumbrado. Para hoteles del Caribe en particular, el consumo de climatización puede representar alrededor de 65 % del total del consumo de electricidad, debido fundamentalmente a las altas temperaturas, mientras que el consumo en equipos de refrigeración representa alrededor de 14 %, el alumbrado 11 %, ventiladores y bombas 12 % y la producción de agua caliente 7 % aproximadamente.

El potencial de ahorro de energía en la industria turística cubana no ha sido estudiado, pero es razonable suponer que sería mayor que el estimado de 10 a 15% para los hoteles europeos con las medidas básicas de eficiencia energética y 40% con medidas adicionales que implica inversiones significativas [Álvarez & Cabello 2016b].

1.4 Implementación de la Norma Internacional ISO 50001

El aumento de los costos de energía impulsado por la demanda mundial, así como las legislaciones medioambientales crearon la necesidad de un estándar global para gestionar el consumo energético. Introducido en junio de 2011, la Norma Internacional ISO 50001

fue desarrollada para proporcionar un marco unificado para la gestión de la energía [Díaz 2016] y establecer los pasos a seguir para el mejoramiento del desempeño energético en cualquier organización.

Es compatible con otras normas relacionadas con los sistemas de gestión industrial, como las de calidad (ISO 9001: 2008), seguridad alimentaria (ISO 22000: 2005) y gestión del medio ambiente (ISO 14001: 2004), por lo que está pensada para adaptarse de forma eficaz a estas y permitir una integración completa que facilite la labor de implantación y mantenimiento de estas por la empresa [Mclaughlin 2013].

Según reportes de la German Federal Environmental Agency en el 2014 mostró una tasa de crecimiento del 40% emitiéndose a nivel global 7 345 certificaciones. En este escenario Europa alcanzó el 80% del total de empresas certificadas, liderada por Alemania (47%) debido a las legislaciones de este país en materia de energía [Miquel & Fernández 2016]. Un estudio sobre el valor de negocio de la norma evaluó nueve instalaciones que reportaron un período de recuperación rentable aproximadamente de 1,7 años con un promedio de ahorro de costes energéticos de \$ 503 000 al año [Therkelsen & McKane 2013].

Esta norma se basa en el ciclo de mejora continua Planificar - Hacer - Verificar - Actuar (Figura 1.1) [Prias & Campos 2013], e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización [ONN 2011].

Planificar: comprender el contexto de la organización, establecer la política energética y el equipo de gestión de la energía, considerar las acciones para abordar los riesgos y las oportunidades, realizar una revisión energética, identificar los usos significativos de la energía (USE) y establecer indicadores de desempeño energético (IDEn), líneas de base energética (LBEn), metas y objetivos energéticos y los planes de acción necesarios para entregar los resultados que mejorarán el desempeño energético, de acuerdo con la política energética de la organización.

Hacer: implementar planes de acción, controles operacionales y de mantenimiento, y la comunicación, asegurar la competencia y considerar el desempeño energético en el diseño y la adquisición.

Verificar: realizar el seguimiento, medir, analizar, evaluar, auditar y dirigir las revisiones por la dirección del desempeño energético y del SGen.

Actuar: tomar acción para abordar las no conformidades, y mejorar continuamente el desempeño energético y el SGen.

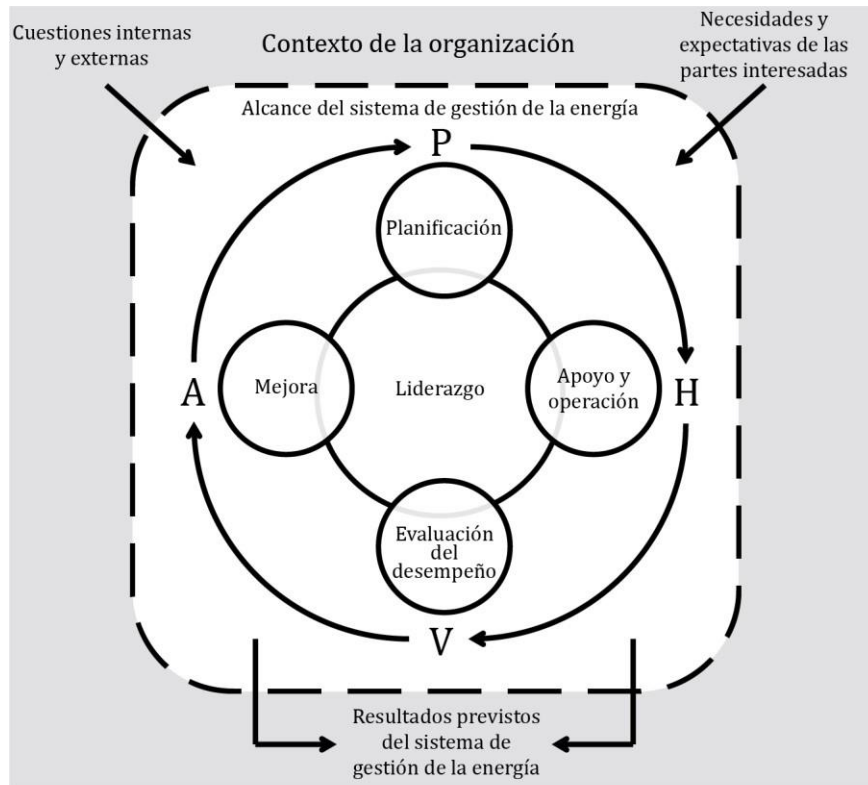


Figura 1.1 Modelo del SGE según la ISO 50001

En el año 2018 la norma se actualizó a la ISO 50001: 2018. Esta segunda edición anula y sustituye a la primera edición (ISO 50001:2011) que ha sido revisada técnicamente.

1.4.1 Ventajas de la implementación de la ISO 50001: 2018

- ✓ Proporciona a las organizaciones la forma de integrar la eficiencia energética a las prácticas actuales de gestión.
- ✓ Ofrece orientación para definir la línea base, medir, documentar e informar las mejoras en los indicadores de desempeño energético y su impacto sobre las reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero.

- ✓ Ofrece a las organizaciones con operaciones en más de un país, una sola norma para la aplicación armonizada en toda la organización.
- ✓ Mejorar la eficiencia energética de los procesos y de las instalaciones.
- ✓ Permite la identificación y puesta en marcha de medidas de ahorro de manera continua.
- ✓ Ahorro de costes derivados de la reducción del consumo energético y derivados del ahorro de costes de producción.
- ✓ Mejora de la imagen empresarial frente a clientes, administración, proveedores y otras partes interesadas.

1.4.2 Implementación de la ISO 50001 en Cuba

La experiencia de Cuba en la implementación de políticas orientadas a la eficiencia energética, pasa en primer lugar por comprender que es un país con escasos recursos energéticos. Además, las constantes variaciones del precio de estos recursos, fundamentalmente el petróleo, son manifestaciones de la grave crisis política y económica en que está sumido el mundo de hoy y que repercute negativamente en el desarrollo industrial cubano.

Aunque todos los hoteles han implementado sistemas de gestión ambiental, las acciones de gestión energética siguen siendo primarias y enfocadas a acciones aisladas de eficiencia energética y seguimiento mensual de indicadores destinados a evaluar el rendimiento energético de instalaciones.

Por esto, en diciembre de 2011 se adopta en Cuba NC-ISO 50001: 2011 que permite a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, lo que resulta de primordial importancia en el sector hotelero, que representa el 8% del consumo de electricidad del país[Álvarez & Cabello 2016a].

En el 2019 se adopta la NC-ISO 50001: 2019 como sustitución de la primera edición.

1.5 Sistema de Gestión Energética

El sistema de gestión energética (SGEn) es la parte del sistema de gestión de una organización dedicado a desarrollar e implementar su política energética, así como a gestionar aquellos elementos de sus actividades, productos o servicios que interactúan con el uso de la energía.

La aplicación de un sistema de gestión energética, al igual que de otros sistemas de gestión, requiere de una guía, una norma que estandarice lo que hay que hacer para implementarlo, mantenerlo y mejorarlo continuamente, con la menor inversión de recursos, en el menor tiempo y con la mayor efectividad [Correa 2016].

1.5.1 Beneficios de un SGEn basado en la ISO 50001

Implantando un sistema de gestión de la energía que cumpla con los requisitos y orientaciones de esta norma se beneficiará en los siguientes aspectos [Campos 2015]:

- ✓ Mejora de la competitividad y productividad.
- ✓ Disminución de costos de producción asociados a energía.
- ✓ Identificación de ineficiencias energéticas no esperadas u ocultas en los procesos.
- ✓ Disminución del tiempo de detección y corrección de fallas que producen sobre consumos energéticos.
- ✓ Control de la variabilidad operacional de procesos y equipos.
- ✓ Criterios de eficiencia energética en compra de equipos y servicios.
- ✓ Incremento de la efectividad del mantenimiento.
- ✓ Innovación en la gestión empresarial.
- ✓ Fomento de una cultura de uso racional y eficiente de la energía en la organización y actores de interés.

- ✓ Cumplimientos de requisitos legales asociados a la energía.
- ✓ Reducción de emisiones de GEI.
- ✓ Mejor percepción de imagen de clientes y actores de interés.

1.5.2 Línea de Base Energética

La línea base permite describir el consumo de energía de un equipo, área o proceso con un nivel de confianza y precisión adecuada. Además, tiene las siguientes características [García & Carretero 2012; Campos 2013]:

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

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

La organización debe establecer la línea de base energética a partir de los resultados de la revisión energética. Esta constituye la referencia a partir de la cual se medirá la evolución del desempeño energético de la organización [Monteagudo & Montesino 2016].

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

1. Evaluar la eficacia del sistema actual para controlar y planificar el consumo total de energía. Esto tiene como objetivo evaluar la correlación entre el consumo de

energía y el valor de referencia utilizado para calcular el IDEn de años anteriores o en forma mensual y diaria.

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

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

1.5.3 Errores que se cometen en la gestión energética

Los elementos principales que afectan la validez de los indicadores energéticos son:

1. No tomar en consideración en el índice la influencia de la temperatura ambiente sobre el consumo de electricidad del sistema de climatización. Esta variable es la más importante en el consumo de energía eléctrica en un hotel turístico, en el que el consumo en climatización puede representar más de 60 % del consumo total de electricidad. La temperatura y la humedad del aire ambiente son determinantes en la carga térmica que debe vencer el equipo de climatización e influyen además en su eficiencia.
2. Considerar habitaciones de diferentes tamaños y consumos energéticos como iguales a los efectos del índice. En un hotel las cargas de enfriamiento pueden ser

muy diferentes entre habitaciones, en dependencia de su tamaño y características, de su orientación, etcétera.

3. No considerar en el índice la influencia de otros servicios que presta el hotel y que tienen alto consumo energético, como son los salones de eventos, tiendas, etc. Estos servicios representan una demanda adicional de energía, en muchos casos elevada, y sin embargo no se reflejan en las HDO.

Los indicadores de desempeño energético pueden organizarse según el nivel al cual se desee reportar la información para ser involucrada en la toma de decisiones. De esta manera pueden tenerse:

Indicadores de Nivel Estratégico: Servirán para la toma de decisiones de la alta gerencia tales como asignación de presupuesto al SGE o decisión de adquirir una certificación en ISO 50001. Deben ser fácilmente interpretables en términos de los ahorros obtenidos en dinero.

Indicadores de Nivel Táctico: Permiten la toma de decisiones al personal encargado de la organización de los procesos productivos, por ejemplo, la adopción de un plan de mantenimiento centrado en eficiencia o la reorganización de procesos productivos en función del mejor uso de energía.

Indicadores de Nivel Operativo: Se utilizan para la toma diaria de decisiones principalmente de mantenimiento y producción. Deben servir para ser utilizados por los operarios en sus funciones diarias. Pueden incluir el monitoreo de eficiencias de equipo o de parámetros de control [Campos 2015].

1.6 Indicadores de desempeño energético (IDEn)

Los indicadores de desempeño energético (IDEn) son aquellos que se establecen con el fin de realizar un seguimiento, monitoreo y control del desempeño energético de determinado proceso, área o equipo. Son cuantificables y se establecen por cada uso significativo de energía y por tipo de energético utilizado.

Un IDEn es un valor cuantitativo, medible que refleja la eficiencia, el uso y el consumo de la energía del elemento donde se define, permite evaluar su cambio respecto a la línea de base y puede medirse y seguirse en el tiempo [Campos 2015].

Las principales características de los indicadores de desempeño energético son [Quintana 2013]:

- Simplicidad: puede definirse como la capacidad para definir el evento que se pretende medir de manera poco costosa.
- Adecuación: entendida como la facilidad de la medida para describir por completo el fenómeno o efecto. Debe reflejar la magnitud del hecho analizado y mostrar la desviación real del nivel deseado.
- Validez en el tiempo: puede definirse como la propiedad de ser permanente por un período deseado.
- Participación de los usuarios: es la habilidad para estar involucrados desde el diseño, y debe proporcionárseles los recursos y formación necesarios para su ejecución. Este es quizás el ingrediente fundamental para que el personal se motive en torno al cumplimiento de los indicadores.
- Utilidad: es la posibilidad del indicador para estar siempre orientado a buscar las causas que llevan a alcanzar un valor particular y mejorarlas.
- Oportunidad: entendida como la capacidad para que los datos sean recolectados a tiempo.

Para el análisis de la eficiencia energética a nivel empresarial se utilizan diferentes indicadores: índices de consumo, índices de eficiencia e indicadores económico-energéticos. En el sector hotelero se utilizan con mucha frecuencia el índice de gastos energéticos vs. ingresos, los índices de consumo por habitación día ocupada (kWh/HDO, m³/HDO), así como índices de consumo por unidad de área construida (kWh/m²-año). El indicador gastos energéticos vs. ingresos, si bien es un indicador global integrador y útil, el mismo no permite evaluar los resultados específicos en cuanto a eficiencia en la

utilización de los energéticos, ni permite diagnosticar y corregir las causas que puedan provocar su deterioro [Cabrera & Borroto 2004].

Estudios precedentes han señalado la influencia de otros factores, no relacionados con la ocupación del hotel, sobre el consumo de energía eléctrica, lo cual limita la utilización del índice de consumo KWh/HDO para la implementación de un sistema efectivo de monitoreo y control energético, así como su aplicación en la evaluación de las mejoras energéticas en periodos diferentes [Cabrera & Borroto 2004].

Un análisis de la efectividad de un índice de consumo para caracterizar la eficiencia energética de una instalación o un proceso se puede realizar determinando la correlación que existe entre el consumo de energía y la variable que expresa el nivel de producción o de servicio. Para que un índice de consumo sea válido debe existir una correlación significativa entre el consumo de energía y la variable con la cual se relaciona este. La literatura especializada establece que para que un índice sea válido como indicador de eficiencia energética el coeficiente de determinación R^2 entre las variables relacionadas en el índice debe ser igual o mayor que 0,75 [Cabrera 2004]. Se considera que indicadores con una correlación $R^2 > 0,6$ son indicadores potenciales, y aquellos con $R^2 > 0,8$ son indicadores potencialmente fuertes [Álvarez & Cabello 2016b].

La relación existente entre la energía consumida (E_c) y las habitaciones día ocupadas (HDO) no garantiza la adecuada efectividad de este indicador, dado que el coeficiente de determinación R^2 de los modelos de regresión generados son menores al 75% y no explican adecuadamente las variaciones de la E_c respecto a las HDO [Rosa & Pineda 2017].

Aunque varios estudios han demostrado que los parámetros como el nivel de ocupación y las condiciones climáticas influyen fuertemente el consumo energético, la mayoría de los indicadores de eficiencia energética discutidos en literatura no consideran la temperatura exterior. Estos indicadores se enfocan en la correlación del consumo de energía con diferentes parámetros operacionales en forma mensual o anual, lo que limita la posibilidad para gestionar y controlar el consumo de energía sobre una base diaria e impiden una detección más rápida de las ineficiencias y la aplicación de las medidas correctivas necesarias [Álvarez & Cabello 2016b]. La temperatura y la humedad del aire ambiente son

determinantes en la carga térmica que debe vencer el equipo de climatización e influyen además en su eficiencia.

Los elementos que afectan la validez del actual índice de consumo son no tomar en consideración en el índice la influencia de la temperatura ambiente sobre el consumo de electricidad del sistema de climatización. Considerar habitaciones de diferentes tamaños y consumos energéticos como iguales a los efectos del índice y no considerar la influencia de otros servicios que presta el hotel y que tienen alto consumo energético [Cabrera & Borroto 2004].

Una instalación hotelera que funcione eficientemente, desde el punto de vista energético, debe consumir entre el 5 y el 7% de sus ingresos para cubrir los gastos energéticos, indicador que varía en función del tipo de hotel y la categoría que ellos posean, así como del tipo de servicio a prestar. En Cuba, en las cadenas Cubanacán, Gran Caribe Islazul y Horizontes, este indicador oscila entre el 8 y el 16% pudiendo llegar hasta el 20% en hoteles que tienen una infraestructura muy atrasada y bajos niveles de comercialización [Cabrera & Borroto 2004].

1.6.1 Días-Grado

Los Días-Grados o Grados-Días se pueden definir como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento necesarios para alcanzar la zona de confort, acumulados en un cierto período de tiempo [Fuentes 2010]. Son la sumatoria para todos los días de un período convencional de tiempo, de los valores positivos de la diferencia entre la temperatura media diaria y una temperatura de referencia, comúnmente llamada temperatura base [EPA 2015; Rodríguez & Cruz 2018].

La temperatura base puede cambiar con el tiempo [Lindelof 2016], aunque otros autores no hacen referencia a esto y ofrecen un único valor de la temperatura base en sus investigaciones [Cabello & Sousa 2016]. La misma es diferente para cada edificación, es una temperatura del punto de equilibrio, es decir, la temperatura exterior en el que los sistemas de calentamiento o enfriamiento, no necesita ejecutarse con el fin de mantener condiciones de confort.

Los Grados-Día se clasifican de dos maneras: de calentamiento o de enfriamiento. Los días grados de enfriamiento (GDE) da la medida de cuánto estuvo la temperatura exterior por encima de una temperatura base y por cuanto tiempo [García & Carretero 2016].

El consumo de energía en los hoteles depende fundamentalmente de la temperatura externa. Cuando existe una mayor temperatura externa aumenta también los consumos de energía, por la necesidad de utilizar la climatización. Estudios realizados en las condiciones de Cuba han demostrado que el consumo de energía eléctrica destinado a la climatización puede elevarse hasta un 40% en los meses de mayor temperatura ambiente (julio y agosto principalmente) con relación a los meses de menor temperatura, siendo la diferencia de temperatura entre los meses fríos y cálidos de aproximadamente 13°C [Borges & Martínez 2011].

En la literatura consultada se adoptan varios métodos para calcular los grados día de Enfriamiento. En general, la elección depende estrictamente de la disponibilidad de datos climáticos de cada ubicación, debido a las limitaciones de los datos de temperatura externos disponibles. Cuando se dispone de datos de temperatura horarias, los GDE se pueden calcular simplemente restando la temperatura base de la temperatura del aire exterior hora a hora, y sumando las diferencias horarias positivas en un periodo determinado, generalmente 24 horas.

En el caso más común solo se dispone de un conjunto de datos climáticos reducidos, por lo que varios autores han desarrollado diferentes métodos, a menudo basados en datos diarios o de temperatura media mensual.

Con el criterio del grado días de enfriamiento es posible determinar si un mes fue más (o menos) caluroso que en otra ciudad o que en otro año y cuánta energía se requiere por climatización en base a una temperatura de referencia considerada de confort.

Los grados día calculados por cualquier técnica se pueden aplicar ya sea para crecimiento de los cultivos o en aplicaciones de cálculos de sistemas energéticos. Lo que hace los dos usos diferentes es la elección de la temperatura base de referencia, la forma en que se selecciona, y lo que luego se hace con el total resultante de los grados día.

1.6.2 Determinación de la temperatura base

La temperatura base es la temperatura de referencia que se utiliza para el cálculo de los grados día. La misma es diferente para cada edificación, es una temperatura del punto de equilibrio, es decir, la temperatura exterior en el que los sistemas de calentamiento (o enfriamiento), no necesitan utilizarse con el fin de mantener condiciones de confort. La temperatura base para aplicaciones de refrigeración se puede definir también como la temperatura exterior en que no es necesario operar la planta de refrigeración para satisfacer las necesidades de espacio de refrigeración.

Esta temperatura del punto de equilibrio depende de las características del edificio (masa térmica, orientación, etc.), las ganancias de calor internas (personas, luces, aparatos y equipos) y externas (a través de la estructura, ventilación, infiltración), así como la temperatura interior fijada y, es como tal, específico para cada edificio, por lo que la temperatura base debe determinarse por separado. Dado que las ganancias de calor y la temperatura interna varían a lo largo de la temporada de enfriamiento e incluso durante el día, la principal dificultad para aplicar los grados día de enfriamiento al uso de energía en el edificio reside en cómo definir la temperatura base [Krese et al 2011].

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se hará una caracterización de la muestra de hoteles objeto de estudio, y se determinará la temperatura base para cada uno de ellos en el período de 2016 a 2018, a través del uso de distintos métodos que serán descritos y evaluados a modo de comparación.

2.1 Caracterización de la muestra de los hoteles

La muestra a estudiar estará compuesta por 8 hoteles ubicados en el polo turístico de Varadero. Su elección se debe a su importancia por sus capacidades, categorías, disponibilidad de datos, etc.

A continuación, se ofrece una breve reseña de las características principales de cada hotel incluido en el estudio.

2.1.1 Hotel Ocean Varadero El Patriarca

Es el segundo hotel administrado por la cadena española H10 en conjunto con la empresa Cubana Gaviota S.A., construido por Alмест en el 2012. Es un hotel todo incluido con categoría 5 estrellas que cuenta con 420 habitaciones: 348 *deluxe room*, 48 *privilege deluxe room* y 24 *privilege suites*. El hotel está ubicado en la Autopista Sur km 18 en la punta Hicacos, entre el hotel Paradisus Varadero y el Memories Varadero. Destino turístico mundialmente conocido.

2.1.2 Hotel Grand Memories Varadero

El hotel Grand Memories Varadero, todo incluido con categoría 5 estrellas, perteneciente a la corporación Gaviota S.A de conjunto con la compañía hotelera Blue Diamond Resort, se encuentra ubicado en el polo turístico Varadero, autopista sur, carretera de las Morlas km 18, municipio Cárdenas, provincia Matanzas. Su característica fundamental es ser un destino de sol y playa para vacacionar, por lo que cuenta con un total de 1110 habitaciones, de ellas 150 en sección *Deluxe* o Planta Real (30 suites y 120 *junior suites*), 480 de categoría superior en la zona norte y 480 de categoría estándar en la zona sur.

2.1.3 Hotel Paradisus Princesa del Mar

El Hotel Paradisus Princesa del Mar se localiza en Carretera Las Morlas Km 19½ Punta de Hicacos, en una de las mejores zonas de la Playa de Varadero en la Provincia de Matanzas, Cuba; limita al norte con la hermosa playa de Varadero, al sur con la Autopista, al este con la reserva ecológica del territorio y al oeste con el Hotel Barceló Marina Palas. Fue construido en 2004 y desde el 2006 pertenece a la Administración Sol Meliá. Es un todo incluido con categoría 5 estrellas que cuenta con un total de 434 habitaciones todas dobles, de ellas: 360 *junior suites*, 24 *imperial romance one bedroom suites*, 48 *royal services one bedroom suite* y 2 suites presidenciales.

2.1.4 Hotel Iberostar Playa Alameda

El Hotel Iberostar Playa Alameda está ubicado en la carretera Las Morlas. Km 19, Varadero, Matanzas en el extremo norte oriental de la península de Hicacos, en el sector conocido como Punta Hicacos. Limita al norte con la franja costera, al sur con la autopista central del polo, al oeste con el Hotel TRYP Península y al Este con el Hotel Princesa del Mar. Pertenece a la cadena Iberostar Hoteles & Resorts, que lo administra desde el 2007. Es un hotel todo incluido con categoría 5 estrellas que cuenta con 391 habitaciones climatizadas, de ellas, 4 *junior*, 6 suites, 3 minusválidos, 40 *connecting* y 303 dobles.

2.1.5 Hotel Ocean Vista Azul

El Hotel Ocean Vista Azul, con categoría de 5 estrellas, es operado por el Grupo de Turismo Gaviota S.A. bajo contrato de administración con la Cadena Ocean Hotels Management perteneciente a la española H10. Está ubicado en Autopista Sur Km 11, Punta Hicacos, Varadero y fue inaugurado el 11 de noviembre de 2015. Del total de 470 habitaciones, 88 son *deluxe room pool view*, 284 son *deluxe room*, 28 *privilege deluxe ocean front*, 28 *privilege deluxe room*, 32 *privilege deluxe ocean view*, y 10 *royal master suite* y en total en el hotel hay 74 habitaciones comunicantes.

2.1.6 Hotel Paradisus Varadero

El hotel está ubicado al norte del Km. 19 de la Autopista Sur, en la zona conocida como Rincón Francés, Varadero. Matanzas. Limita al norte con la franja costera, al sur con la autopista, al Este con el Hotel Las Salinas y al oeste con el Hotel Iberostar Varadero. Perteneció al Grupo de Turismo Gaviota SA, en administración conjunta con la cadena española Sol-Meliá. El hotel inició sus actividades el 15 de noviembre del año 2000 con categoría 5 estrellas y servicio Todo Incluido. Cuenta con 429 habitaciones distribuidas en 28 bungalow y 1 suite presidencial. La estructuración habitacional del mismo es la siguiente: 12 habitaciones suite, 8 suite administrativa, 4 para minusválidos, 404 *junior suite* y 1 suite presidencial. Todo esto más una nueva ampliación de Servicio Real.

2.1.7 Hotel Fiesta Americana Punta Varadero

El hotel está situado junto a la playa y cerca de Marina Gaviota, al final de la Autopista Sur a unos 12 km de Varadero. Fue inaugurado en el año 2005 con servicio todo incluido y categoría 5 estrellas. Perteneció actualmente a la Cadena Fiesta Americana, con sede en México. Cuenta con un edificio habitacional principal y otro anexo, ambos de tres pisos, que le brindan un total de 548 habitaciones, 5 de ellas para minusválidos.

2.1.8 Hotel Iberostar Laguna Azul

El Hotel Iberostar Laguna Azul es un hotel tipo villa turística inaugurado el año 2009 con categoría 5 estrellas y servicio Todo Incluido. Está ubicado en el km 17 de la Autopista Sur en la Península de Hicacos de la provincia de Matanzas. Perteneció, por la parte cubana a la inmobiliaria ALMEST, siendo administrado por el Grupo de Turismo Gaviota; mientras por la parte extranjera pertenece al Grupo Iberostar, la cual tiene su sede en Palma de Mallorca, España. Cuenta con 4 edificios habitacionales, para un total de 814 habitaciones, de las cuales 24 son suites y 8 son habitaciones para minusválidos.

2.2 Obtención de los datos estadísticos de consumo y ocupación de los hoteles

Los datos estadísticos sobre el consumo eléctrico y ocupación de los hoteles objeto de estudio se obtuvieron a través de la Oficina Nacional para el Uso Racional de la Energía (ONURE) a partir de los resultados de las revisiones energéticas que realizan sus técnicos en la oficina provincial de Matanzas. La data utilizada corresponde al Informe 2018, que comprende datos estadísticos desde 2016 hasta 2018, en el que se evidenció lo atípico del año 2017 por el paso del huracán Irma por la provincia, lo que fue tomado en cuenta en la realización del estudio.

2.3 Obtención de los datos estadísticos climatológicos

Los datos estadísticos climatológicos de los hoteles objeto de estudio se obtuvieron a través del Centro Meteorológico de Varadero para el período comprendido entre 2016 y 2018.

2.4 Obtención de HDO-DGE como indicador de desempeño energético

Para la obtención del indicador de desempeño energético HDO-DGE, es necesario tanto el cálculo de los grados días de enfriamiento (DGE), como de la temperatura base T_b . Para el cálculo de los DGE y de la T_b se utilizó la siguiente metodología [Krese et al 2011]:

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

Donde:

n = número de días del mes analizado

T = temperatura media diaria

T_b = temperatura base

El signo positivo indica que solo deben tomarse los valores positivos (los negativos son para los DGC).

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

Este IDEn se analiza en el capítulo 3 como comprobación de los resultados del cálculo de la temperatura base por distintos métodos.

2.5 Determinación de la temperatura base.

La clave para obtener un valor fiable de los Grados Días, se encuentra en la definición de la temperatura base. Para la determinación de la misma se utilizaron los métodos matemáticos que se varán a continuación.

2.6 Cálculo de la temperatura base por el método PLM (*Performance Line Method*)

Consiste en determinar la T_b mediante la relación que existe entre los consumos de energía y los Grados Días. Este método se desarrolló en una hoja electrónica de cálculo Excel 2016. Primeramente, se construyó una tabla para determinar los DGE diario de cada mes entre los años 2016 y 2018. Posteriormente, se ubicaron los DGE correspondientes al rango de 15-24°C de T_b por mes junto con los consumos mensuales de electricidad y se ajustaron a un polinomio de segundo grado en un gráfico de dispersión.

Con esta relación se obtiene una curva de tendencia que muestra una ecuación polinómica de orden dos ($y = \alpha'x^2 + \alpha x + \beta$) [Broche 2016].

Esta curva de tendencia tiene tres componentes importantes: (α'), su pendiente (α) y su intersección con el eje vertical (β).

La pendiente expresa cuánta energía se utiliza en el espacio en función de las condiciones climáticas representadas por los Grados Días. Si se considera exclusivamente el consumo de energía para la climatización, sería de suponer que a cero Grados Días no habría consumo de energía, siendo este igual a cero. Esto significa que la intersección de la línea en el eje de las ordenadas es el consumo de energía debido a usos no relacionados con la climatización (β) (iluminación, equipos eléctricos, etc.).

Finalmente, se seleccionó la Tb del polinomio que presentó el valor del término cuadrático más cercano a cero para cada año [Krese et al 2011], siempre y cuando existiese una alta correlación entre los consumos de energía y los Grados Días [Broche 2016].

2.6.1 Determinación de la temperatura base por el método PLM para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 2.1 Consumos energético y Dias Grados de Enfriamiento para distintas temperaturas bases del año 2016 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Determinación de la Temperatura Base con la TBS Media (2016)													
Meses	Días	Consumo Eléctrico(kWh)	TBS Media (°C)	DGE Tb=15	DGE Tb=16	DGE Tb=17	DGE Tb=18	DGE Tb=19	DGE Tb=20	DGE Tb=21	DGE Tb=22	DGE Tb=23	DGE Tb=24
Enero	31	495361.9	23.0	248.0	217.0	186.0	155.0	124.0	94.8	67.5	42.4	24.5	11.8
Febrero	28	444082.0	23.4	235.7	207.7	179.7	151.7	123.7	95.7	68.3	42.2	18.4	5.9
Marzo	31	551291.3	25.2	316.0	285.0	254.0	223.0	192.0	161.0	130.0	101.1	72.1	46.0
Abril	30	493000.5	26.2	337.1	307.1	277.1	247.1	217.1	187.1	157.1	127.1	97.1	67.1
Mayo	31	436989.0	27.4	385.1	354.1	323.1	292.1	261.1	230.1	199.1	168.1	137.1	106.1
Junio	30	401720.0	28.4	401.3	371.3	341.3	311.3	281.3	251.3	221.3	191.3	161.3	131.3
Julio	31	445744.0	29.1	438.0	407.0	376.0	345.0	314.0	283.0	252.0	221.0	190.0	159.0
Agosto	31	496250.0	29.4	446.5	415.5	384.5	353.5	322.5	291.5	260.5	229.5	198.5	167.5
Septiembre	30	268778.0	28.8	413.8	383.8	353.8	323.8	293.8	263.8	233.8	203.8	173.8	143.8
Octubre	31	72218.0	27.3	380.3	349.3	318.3	287.3	256.3	225.3	194.3	163.3	132.3	101.3
Noviembre	30	169732.0	24.8	295.3	265.3	235.3	205.3	175.3	145.3	115.3	85.3	55.3	27.1
Diciembre	31	456384.0	26.0	340.8	309.8	278.8	247.8	216.8	185.8	154.8	123.8	92.8	62.3

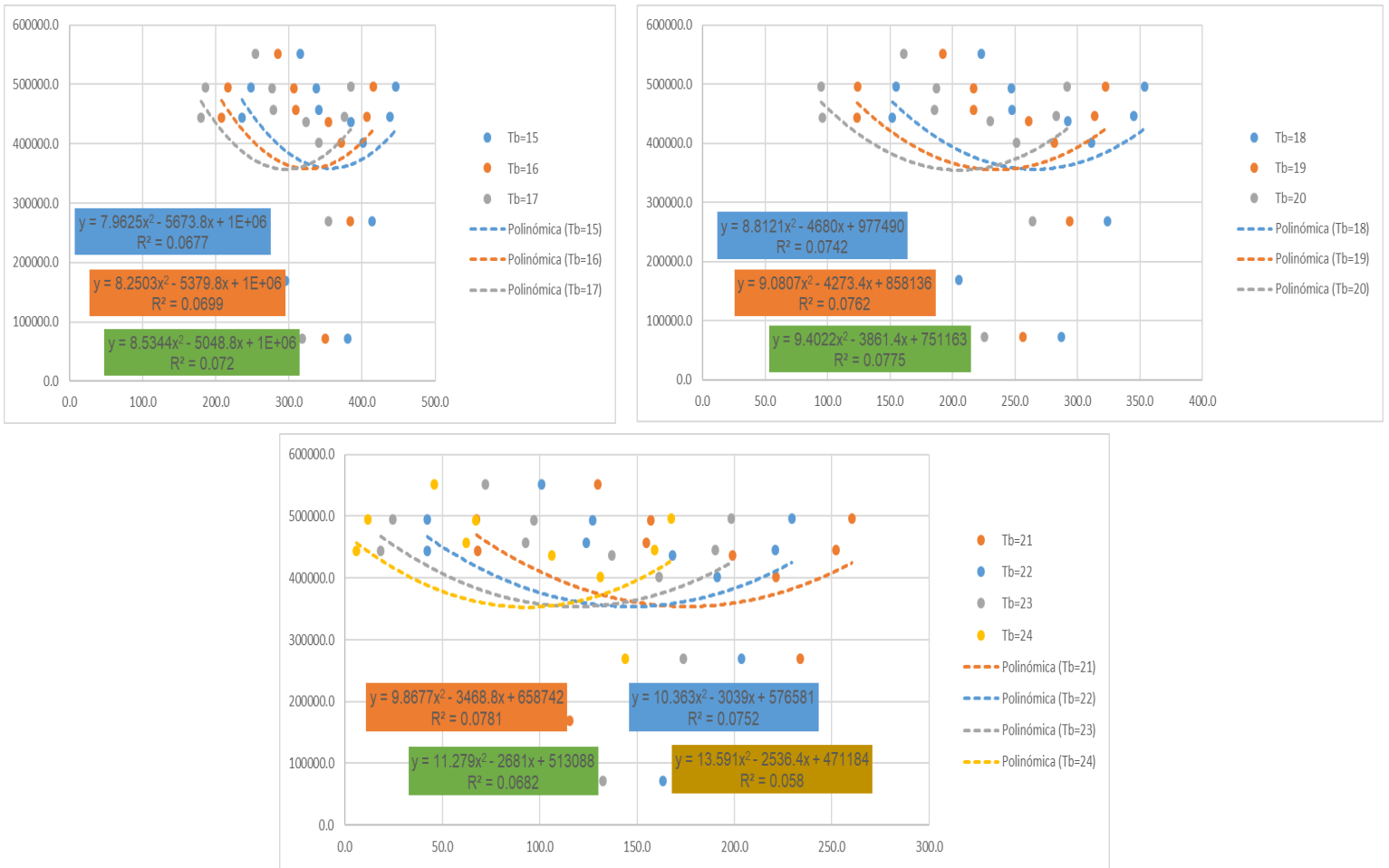


Figura 2.1 Gráfico de dispersion Consumo Eléctrico VS DGE y ecuaciones polinómicas resultantes para distintas temperaturas bases del año 2016 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 2.2 Consumos energético y Dias Grados de Enfriamiento para distintas temperaturas bases del año 2017 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Determinación de la Temperatura Base con la TBS Media (2017)													
Meses	Días	Consumo Eléctrico(kWh)	TBS Media (°C)	DGE Tb=15	DGE Tb=16	DGE Tb=17	DGE Tb=18	DGE Tb=19	DGE Tb=20	DGE Tb=21	DGE Tb=22	DGE Tb=23	DGE Tb=24
Enero	31	420919.0	23.5	263.5	232.5	201.5	170.5	139.5	109.2	79.3	51.5	27.5	11.3
Febrero	28	398562.0	24.7	270.2	242.2	214.2	186.2	158.2	130.2	102.2	74.2	47.5	22.8
Marzo	31	417356.0	24.2	285.6	254.6	223.6	192.6	161.6	130.6	99.6	68.9	41.2	19.3
Abril	30	385489.0	25.8	323.0	293.0	263.0	233.0	203.0	173.0	143.0	113.0	83.2	54.8
Mayo	31	436943.0	27.6	390.4	359.4	328.4	297.4	266.4	235.4	204.4	173.4	142.4	111.4
Junio	30	320422.0	28.4	400.9	370.9	340.9	310.9	280.9	250.9	220.9	190.9	160.9	130.9
Julio	31	383028.0	28.9	432.0	401.0	370.0	339.0	308.0	277.0	246.0	215.0	184.0	153.0
Agosto	31	459946.0	28.9	430.5	399.5	368.5	337.5	306.5	275.5	244.5	213.5	182.5	151.5
Septiembre	30	245316.0	28.3	399.3	369.3	339.3	309.3	279.3	249.3	219.3	189.3	159.3	129.3
Octubre	31	239563.0	26.6	359.1	328.1	297.1	266.1	235.1	204.1	173.1	142.1	111.4	83.3
Noviembre	30	199469.0	25.3	308.8	278.8	248.8	218.8	188.8	158.8	128.8	98.8	69.1	40.5
Diciembre	31	223731.0	24.1	282.2	251.2	220.2	189.2	158.2	127.2	98.5	72.2	47.0	23.7

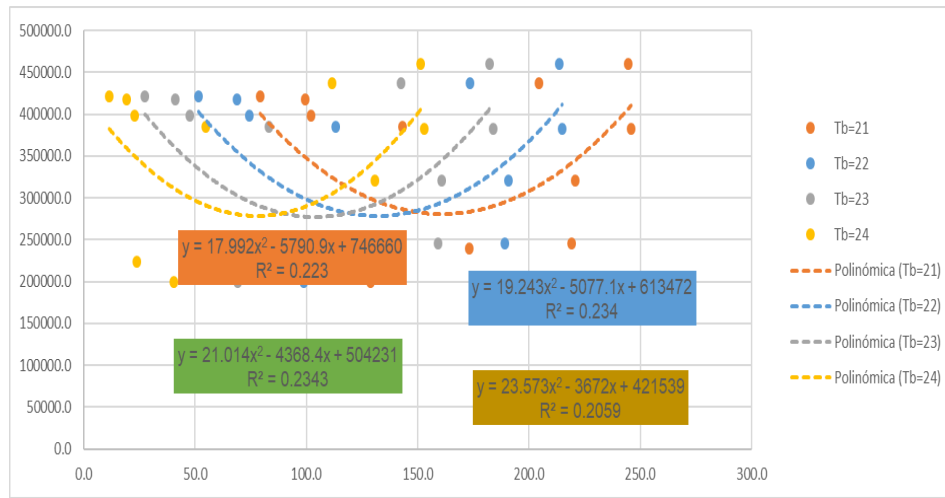
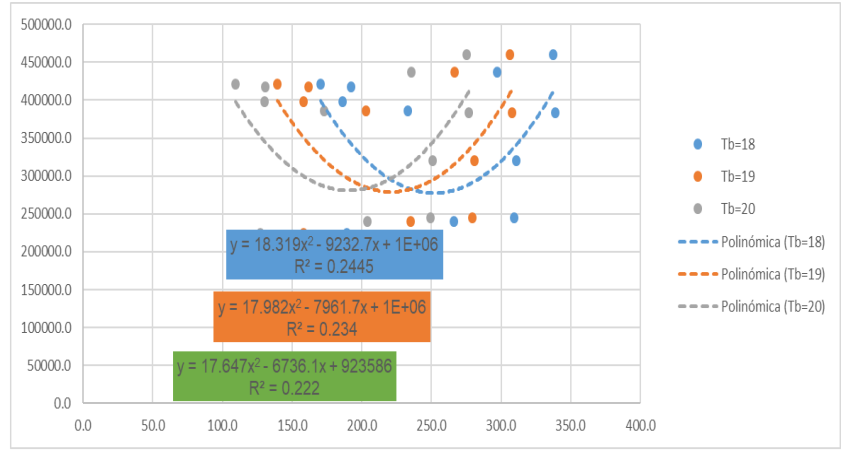
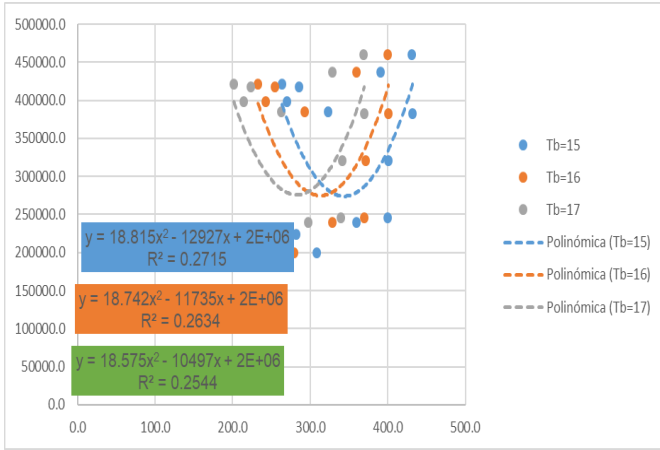


Figura 2.2 Gráfico de dispersion Consumo Eléctrico VS DGE y ecuaciones polinómicas resultantes para distintas temperaturas bases del año 2017 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 2.3 Consumos energético y Dias Grados de Enfriamiento para distintas temperaturas bases del año 2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Determinación de la Temperatura Base con la TBS Media (2018)													
Meses	Días	Consumo Eléctrico(kWh)	TBS Media (°C)	DGE Tb=15	DGE Tb=16	DGE Tb=17	DGE Tb=18	DGE Tb=19	DGE Tb=20	DGE Tb=21	DGE Tb=22	DGE Tb=23	DGE Tb=24
Enero	31	237454.0	22.2	221.8	190.8	159.8	128.8	98.3	70.6	44.1	22.2	9.2	3.1
Febrero	28	204206.0	25.0	279.7	251.7	223.7	195.7	167.7	139.7	111.7	83.7	56.7	31.2
Marzo	31	208027.0	24.0	280.1	249.1	218.1	187.1	156.1	125.1	94.8	67.1	42.4	23.6
Abril	30	214552.0	26.5	346.2	316.2	286.2	256.2	226.2	196.2	166.2	136.2	106.2	76.9
Mayo	31	166696.0	25.9	337.5	306.5	275.5	244.5	213.5	182.5	151.5	120.5	89.5	60.7
Junio	30	168932.0	28.3	398.8	368.8	338.8	308.8	278.8	248.8	218.8	188.8	158.8	128.8
Julio	31	272456.0	29.4	445.4	414.4	383.4	352.4	321.4	290.4	259.4	228.4	197.4	166.4
Agosto	31	270993.0	28.8	426.3	395.3	364.3	333.3	302.3	271.3	240.3	209.3	178.3	147.3
Septiembre	30	220766.0	28.5	405.5	375.5	345.5	315.5	285.5	255.5	225.5	195.5	165.5	135.5
Octubre	31	214573.0	27.8	397.5	366.5	335.5	304.5	273.5	242.5	211.5	180.5	149.5	118.5
Noviembre	30	221238.0	26.9	357.0	327.0	297.0	267.0	237.0	207.0	177.0	147.7	118.8	90.8
Diciembre	31	247224.0	24.6	296.1	265.1	234.1	203.1	172.1	141.1	110.1	79.8	51.8	28.1

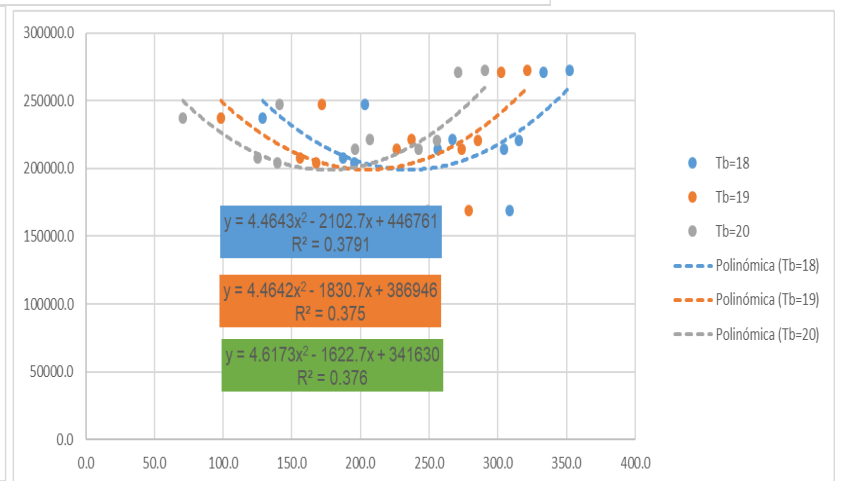
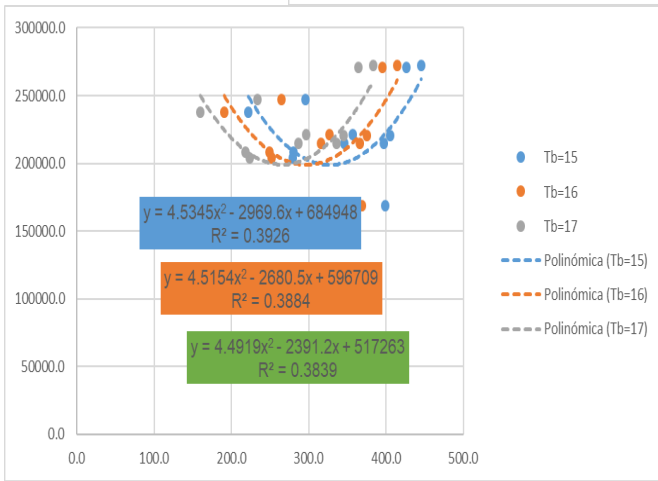
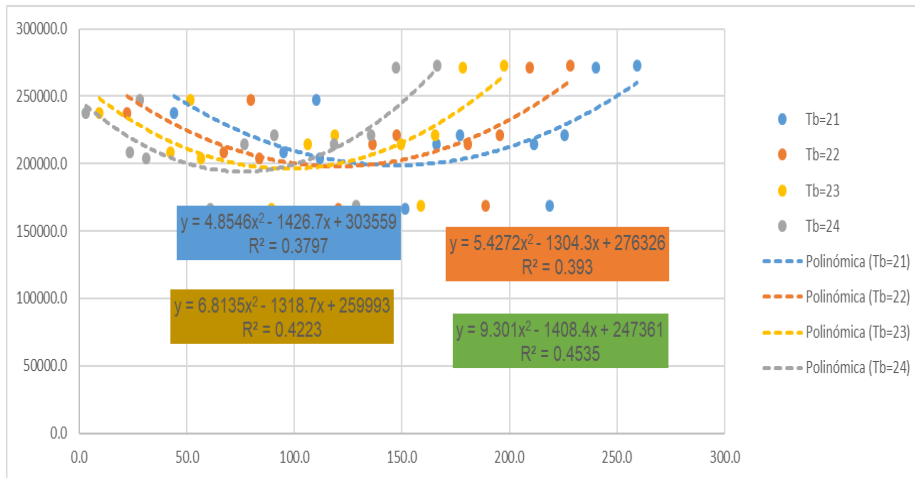


Figura 2.3 Gráfico de dispersion Consumo Eléctrico VS DGE y ecuaciones polinómicas resultantes para distintas temperaturas bases del año 2018 para el hotel Fiesta Americana

Tabla 2.4 Consumos energético y Dias Grados de Enfriamiento para distintas temperaturas bases entre los años 2016-2018 para el hotel Fiesta Americana Punta

Varadero

Determinación de la Temperatura Base con la TBS Media (2016-2018)													
Meses	Días	Consumo Eléctrico(kWh)	TBS Media (°C)	DGE Tb=15	DGE Tb=16	DGE Tb=17	DGE Tb=18	DGE Tb=19	DGE Tb=20	DGE Tb=21	DGE Tb=22	DGE Tb=23	DGE Tb=24
Enero (2016)	31	495361.9	23.0	248.0	217.0	186.0	155.0	124.0	94.8	67.5	42.4	24.5	11.8
Febrero (2016)	28	444082.0	23.4	235.7	207.7	179.7	151.7	123.7	95.7	68.3	42.2	18.4	5.9
Marzo (2016)	31	551291.3	25.2	316.0	285.0	254.0	223.0	192.0	161.0	130.0	101.1	72.1	46.0
Abril (2016)	30	493000.5	26.2	337.1	307.1	277.1	247.1	217.1	187.1	157.1	127.1	97.1	67.1
Mayo (2016)	31	436989.0	27.4	385.1	354.1	323.1	292.1	261.1	230.1	199.1	168.1	137.1	106.1
Junio (2016)	30	401720.0	28.4	401.3	371.3	341.3	311.3	281.3	251.3	221.3	191.3	161.3	131.3
Julio (2016)	31	445744.0	29.1	438.0	407.0	376.0	345.0	314.0	283.0	252.0	221.0	190.0	159.0
Agosto (2016)	31	496250.0	29.4	446.5	415.5	384.5	353.5	322.5	291.5	260.5	229.5	198.5	167.5
Septiembre (2016)	30	268778.0	28.8	413.8	383.8	353.8	323.8	293.8	263.8	233.8	203.8	173.8	143.8
Octubre (2016)	31	72218.0	27.3	380.3	349.3	318.3	287.3	256.3	225.3	194.3	163.3	132.3	101.3
Noviembre (2016)	30	169732.0	24.8	295.3	265.3	235.3	205.3	175.3	145.3	115.3	85.3	55.3	27.1
Diciembre (2016)	31	456384.0	26.0	340.8	309.8	278.8	247.8	216.8	185.8	154.8	123.8	92.8	62.3
Enero (2017)	31	420919.0	23.5	263.5	232.5	201.5	170.5	139.5	109.2	79.3	51.5	27.5	11.3
Febrero (2017)	28	398562.0	24.7	270.2	242.2	214.2	186.2	158.2	130.2	102.2	74.2	47.5	22.8
Marzo (2017)	31	417356.0	24.2	285.6	254.6	223.6	192.6	161.6	130.6	99.6	68.9	41.2	19.3
Abril (2017)	30	385489.0	25.8	323.0	293.0	263.0	233.0	203.0	173.0	143.0	113.0	83.2	54.8
Mayo (2017)	31	436943.0	27.6	390.4	359.4	328.4	297.4	266.4	235.4	204.4	173.4	142.4	111.4
Junio (2017)	30	320422.0	28.4	400.9	370.9	340.9	310.9	280.9	250.9	220.9	190.9	160.9	130.9
Julio (2017)	31	383028.0	28.9	432.0	401.0	370.0	339.0	308.0	277.0	246.0	215.0	184.0	153.0
Agosto (2017)	31	459946.0	28.9	430.5	399.5	368.5	337.5	306.5	275.5	244.5	213.5	182.5	151.5
Septiembre (2017)	30	245316.0	28.3	399.3	369.3	339.3	309.3	279.3	249.3	219.3	189.3	159.3	129.3
Octubre (2017)	31	239563.0	26.6	359.1	328.1	297.1	266.1	235.1	204.1	173.1	142.1	111.4	83.3
Noviembre (2017)	30	199469.0	25.3	308.8	278.8	248.8	218.8	188.8	158.8	128.8	98.8	69.1	40.5
Diciembre (2017)	31	223731.0	24.1	282.2	251.2	220.2	189.2	158.2	127.2	96.5	72.2	47.0	23.7
Enero (2018)	31	237454.0	22.2	221.8	190.8	159.8	128.8	98.3	70.6	44.1	22.2	9.2	3.1
Febrero (2018)	28	204206.0	25.0	279.7	251.7	223.7	195.7	167.7	139.7	111.7	83.7	56.7	31.2
Marzo (2018)	31	208027.0	24.0	280.1	249.1	218.1	187.1	156.1	125.1	94.8	67.1	42.4	23.6
Abril (2018)	30	214552.0	26.5	346.2	316.2	286.2	256.2	226.2	196.2	166.2	136.2	106.2	76.9
Mayo (2018)	31	166696.0	25.9	337.5	306.5	275.5	244.5	213.5	182.5	151.5	120.5	89.5	60.7
Junio (2018)	30	168932.0	28.3	398.8	368.8	338.8	308.8	278.8	248.8	218.8	188.8	158.8	128.8
Julio (2018)	31	272456.0	29.4	445.4	414.4	383.4	352.4	321.4	290.4	259.4	228.4	197.4	166.4
Agosto (2018)	31	270993.0	28.8	426.3	395.3	364.3	333.3	302.3	271.3	240.3	209.3	178.3	147.3
Septiembre (2018)	30	220766.0	28.5	405.5	375.5	345.5	315.5	285.5	255.5	225.5	195.5	165.5	135.5
Octubre (2018)	31	214573.0	27.8	397.5	366.5	335.5	304.5	273.5	242.5	211.5	180.5	149.5	118.5
Noviembre (2018)	30	221238.0	26.9	357.0	327.0	297.0	267.0	237.0	207.0	177.0	147.7	118.8	90.8
Diciembre (2018)	31	247224.0	24.6	296.1	265.1	234.1	203.1	172.1	141.1	110.1	79.8	51.8	28.1

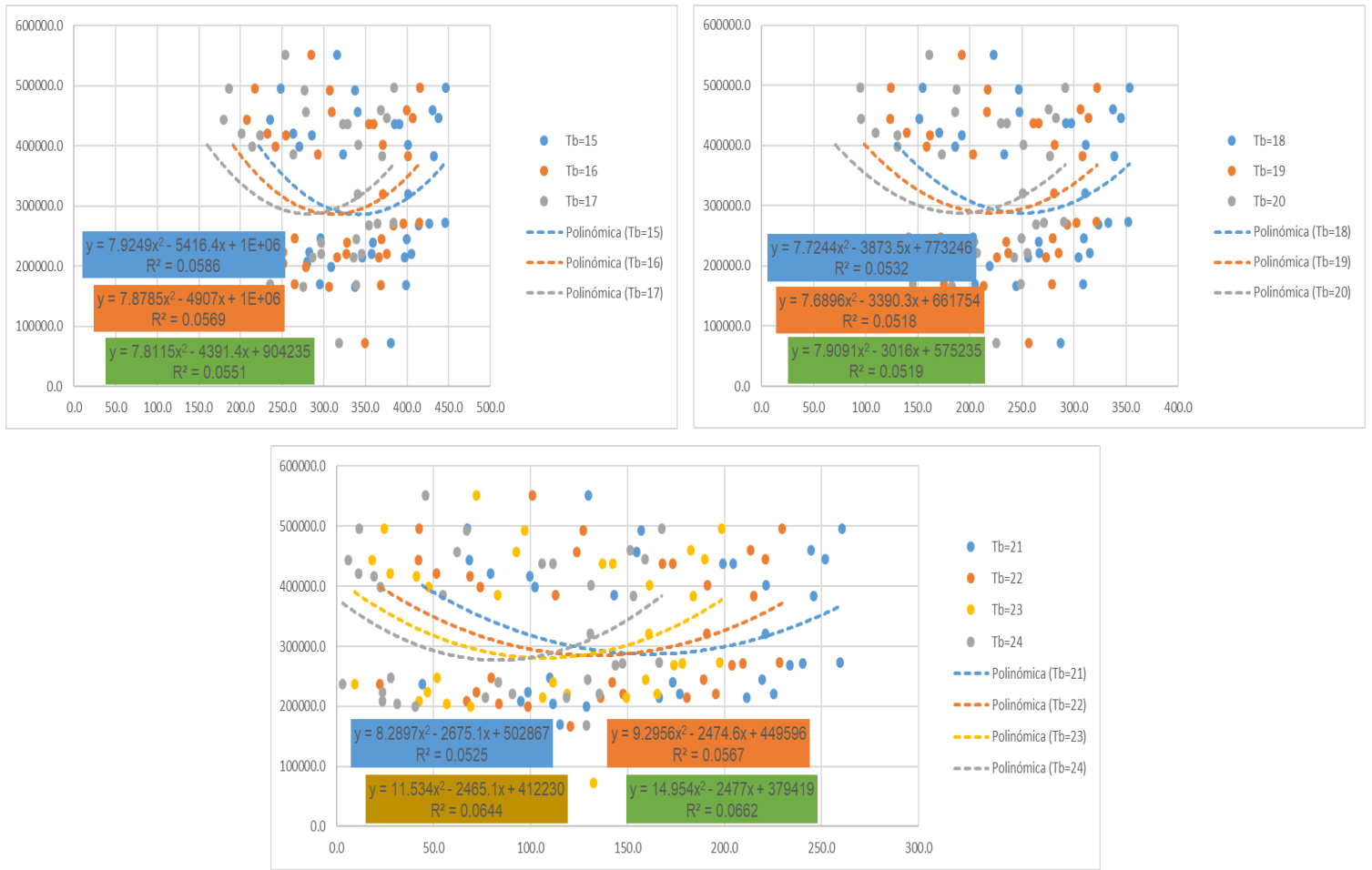


Figura 2.4 Gráfico de dispersion Consumo Eléctrico VS DGE y ecuaciones polinómicas resultantes para distintas temperaturas bases entre los años 2016-2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

2.6.2 Determinación de la temperatura base por el método PLM para todos los hoteles

Tabla 2.5 Resumen de los resultados del cálculo de la temperatura base usando el método PLM para todos los hoteles

Resumen de los resultados del cálculo de la temperatura base por el método PLM para todos los hoteles												
Año	2016			2017			2018			2016-2018		
Hotel	Tb (°C)	Coficiente (a')	R ²	Tb (°C)	Coficiente (a')	R ²	Tb (°C)	Coficiente (a')	R ²	Tb (°C)	Coficiente (a')	R ²
Fiesta Americana Punta Varadero	15	7.96	0.07	20	17.64	0.22	19	4.46	0.38	19	7.68	0.05
Grand Memories Varadero	15	6.45	0.06	20	11.36	0.07	18	2.30	0.03	19	5.37	0.03
Iberostar Laguna Azul	15	-2.59	0.92	24	-0.03	0.19	24	0.47	0.04	15	-1.41	0.19
Ocean Varadero El Patriarca	15	-0.10	0.45	15	15.06	0.37	15	-1.19	0.38	24	2.12	0.29
Ocean Vista Azul	15	-2.01	0.60	20	3.87	0.52	22	0.79	0.50	24	-0.25	0.41
Paradisus Varadero	20	13.45	0.70	20	51.88	0.28	19	18.57	0.50	15	20.21	0.34
Iberostar Playa Alameda	15	-1.00	0.87	15	3.16	0.56	18	2.27	0.17	15	1.25	0.46
Paradisus Princesa del Mar	15	-4.25	0.79	20	16.12	0.34	18	-1.71	0.48	20	-0.04	0.31

En el año 2016 en todos los hoteles la Tb obtenida fue de 15°C excepto en el Paradisus Varadero que fue 20°C, aunque al tener el valor del coeficiente (α') tan elevado (13,45) no se puede afirmar la linealidad del modelo. Se debe aclarar que en los hoteles Fiesta Americana Punta Varadero y Grand Memories Varadero el coeficiente de determinación (R^2) es muy pequeño (0,06) por lo que en estos casos no existe una buena correlación entre el consumo de electricidad y los DGE, para el resto se obtienen buenos valores de (R^2), llegando a 0,92 en el hotel Iberostar Laguna Azul.

En el año 2017 se obtuvo en la mayoría de los hoteles (5) 20°C de Tb. No obstante, en ese tiempo ocurrió el paso del huracán Irma por esta zona, que hizo varios destrozos y hubo hoteles que disminuyeron o no dieron servicios y que continuaron gastando energía. Es por eso que en la muestra estudiada la correlación Consumo Eléctrico vs DGE es muy mala, y el coeficiente (α') en cinco de los casos es superior a 10, llegando hasta 51,88 en el hotel Paradisus Varadero. Por estas razones los resultados no se tomaron en cuenta.

Después de los cálculos del año 2018 no se pudo determinar una Tb general para todos los hoteles por la división de resultados. Además, en todos los casos el coeficiente de determinación (R^2) estuvo muy por debajo del valor de 0,75 recomendado como mínimo

por la mayoría de la literatura especializada [Cabrera & Borroto 2004; Borroto et al 2006; Rosa & Pineda 2017] para que los resultados sean válidos.

En el estudio de los años 2016 al 2018 en conjunto, al igual que ocurre con el año 2018 las T_b calculadas varían mucho y no se puede determinar una específica; además, como se demuestra en los gráficos la correlación entre el consumo de energía y los DGE en todos los hoteles es muy baja ya que existe una gran dispersión con respecto a la línea de tendencia central, por lo que se puede afirmar que los resultados no son concluyentes.

2.7 Cálculo de la temperatura base por el método de Auliciems

Para el desarrollo de este método se utilizó la fórmula propuesta para locales aclimatados artificialmente [Auliciems & Szokolay 2007].

$$T_n = 21,5^{\circ}C + 0,11 \cdot T_{amb} \quad (2.2)$$

Donde:

T_n = Temperatura neutral

T_{amb} = Temperatura promedio mensual al exterior

21,5°C = Temperatura de núcleo interno (Fisiológico)

0,11 = Clo (arropamiento)

Para obtener la temperatura base para el caso de los DGE, habría que determinar la temperatura superior de confort, por lo se tomó el límite de $\pm 1,2^{\circ}C$ de la T_n propuesto por el propio Auliciems y se trabajó solo con el rango positivo.

2.7.1 Determinación de la temperatura base por el método de Auliciems para todos los hoteles

La metodología del cálculo se desarrolló en la hoja electrónica Excel 2016, en la que se determinó la T_b para la muestra de hoteles estudiada en los años 2016, 2017 y 2018.

Tabla 2.6 Temperatura base del año 2016 por método de Auliciems para la muestra de hoteles estudiada

Método de Auliciems (2016)				
Mes	Días	TBS Media (°C)	Temperatura Neutra	Temperatura Base
Enero	31	23.0	24.0	25.2
Febrero	28	23.4	24.1	25.3
Marzo	31	25.2	24.3	25.5
Abril	30	26.2	24.4	25.6
Mayo	31	27.4	24.5	25.7
Junio	30	28.4	24.6	25.8
Julio	31	29.1	24.7	25.9
Agosto	31	29.4	24.7	25.9
Septiembre	30	28.8	24.7	25.9
Octubre	31	27.3	24.5	25.7
Noviembre	30	24.8	24.2	25.4
Diciembre	31	26.0	24.4	25.6
Promedio (2016)	-	26.6	24.4	25.6

Tabla 2.7 Temperatura base del año 2017 por método de Auliciems para la muestra de hoteles estudiada

Método de Auliciems (2017)				
Mes	Días	TBS Media (°C)	Temperatura Neutra	Temperatura Base
Enero	31	23.5	24.1	25.3
Febrero	28	24.7	24.2	25.4
Marzo	31	24.2	24.2	25.4
Abril	30	25.8	24.3	25.5
Mayo	31	27.6	24.5	25.7
Junio	30	28.4	24.6	25.8
Julio	31	28.9	24.7	25.9
Agosto	31	28.9	24.7	25.9
Septiembre	30	28.3	24.6	25.8
Octubre	31	26.6	24.4	25.6
Noviembre	30	25.3	24.3	25.5
Diciembre	31	24.1	24.2	25.4
Promedio (2017)	-	26.3	24.4	25.6

Tabla 2.8 Temperatura base del año 2018 por método de Auliciems para la muestra de hoteles estudiada

Método de Auliciems (2018)				
Mes	Días	TBS Media (°C)	Temperatura Neutra	Temperatura Base
Enero	31	22.2	23.9	25.1
Febrero	28	25.0	24.2	25.4
Marzo	31	24.0	24.1	25.3
Abril	30	26.5	24.4	25.6
Mayo	31	25.9	24.3	25.5
Junio	30	28.3	24.6	25.8
Julio	31	29.4	24.7	25.9
Agosto	31	28.8	24.7	25.9
Septiembre	30	28.5	24.6	25.8
Octubre	31	27.8	24.6	25.8
Noviembre	30	26.9	24.5	25.7
Diciembre	31	24.6	24.2	25.4
Promedio (2018)	-	26.5	24.4	25.6

Con el método de Auliciems se obtuvo la misma temperatura base promedio en los hoteles para todos los años: 25,6 °C.

2.8 Análisis final de los resultados obtenidos en el cálculo de la Tb por cada método

En el cálculo de la Tb por el método PLM (*Performance Line Method*) los resultados no son concluyentes: en general no hay buena correlación entre el consumo eléctrico y los Días Grados de enfriamiento, y además de la afectación de los resultados por el huracán en el 2017, en otros años hay hoteles en donde el valor del coeficiente (α') es muy grande y por tanto no se puede afirmar la linealidad del modelo, incluso cuando se obtiene buena correlación, ejemplo Paradisus Varadero, 2016.

El método de Auliciems, en comparación con el PLM, además de ofrecer más facilidades de cálculo, arrojó resultados más concluyentes al determinar la Tb de 25,6°C como única para todos los años.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se analizará el HDO-DGE como indicador de desempeño energético en todos los hoteles como comprobación de los resultados obtenidos en el cálculo de la temperatura base en el capítulo 2 por distintos métodos: el PLM y el método de Auliciems.

3.1 El IDEn HDO-DGE como comprobación del cálculo de la Tb obtenida por el método PLM (*Performance Line Method*)

3.1.1 Determinación de HDO-DGE por el método PLM para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 3.1 Consumos energético y HDO-DGE para Tb =15°C del año 2016 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Obtención de Indicadores Tb=15 (2016)						
Meses	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	HDO	TBS Media (°C)	DGE	HDO*DGE
Enero	31	495361.9	15906	23.0	248.0	3943892.7
Febrero	28	444082.0	15244	23.4	235.7	3593010.8
Marzo	31	551291.3	17142	25.2	316.0	5416014.9
Abril	30	493000.5	10759	26.2	337.1	3626321.0
Mayo	31	436989.0	5880	27.4	385.1	2264094.0
Junio	30	401720.0	4019	28.4	401.3	1612623.8
Julio	31	445744.0	5811	29.1	438.0	2545218.0
Agosto	31	496250.0	6250	29.4	446.5	2790625.0
Septiembre	30	268778.0	3069	28.8	413.8	1269798.8
Octubre	31	72218.0	0	27.3	380.3	0.0
Noviembre	30	169732.0	2129	24.8	295.3	628587.3
Diciembre	31	456384.0	9294	26.0	340.8	3166930.5

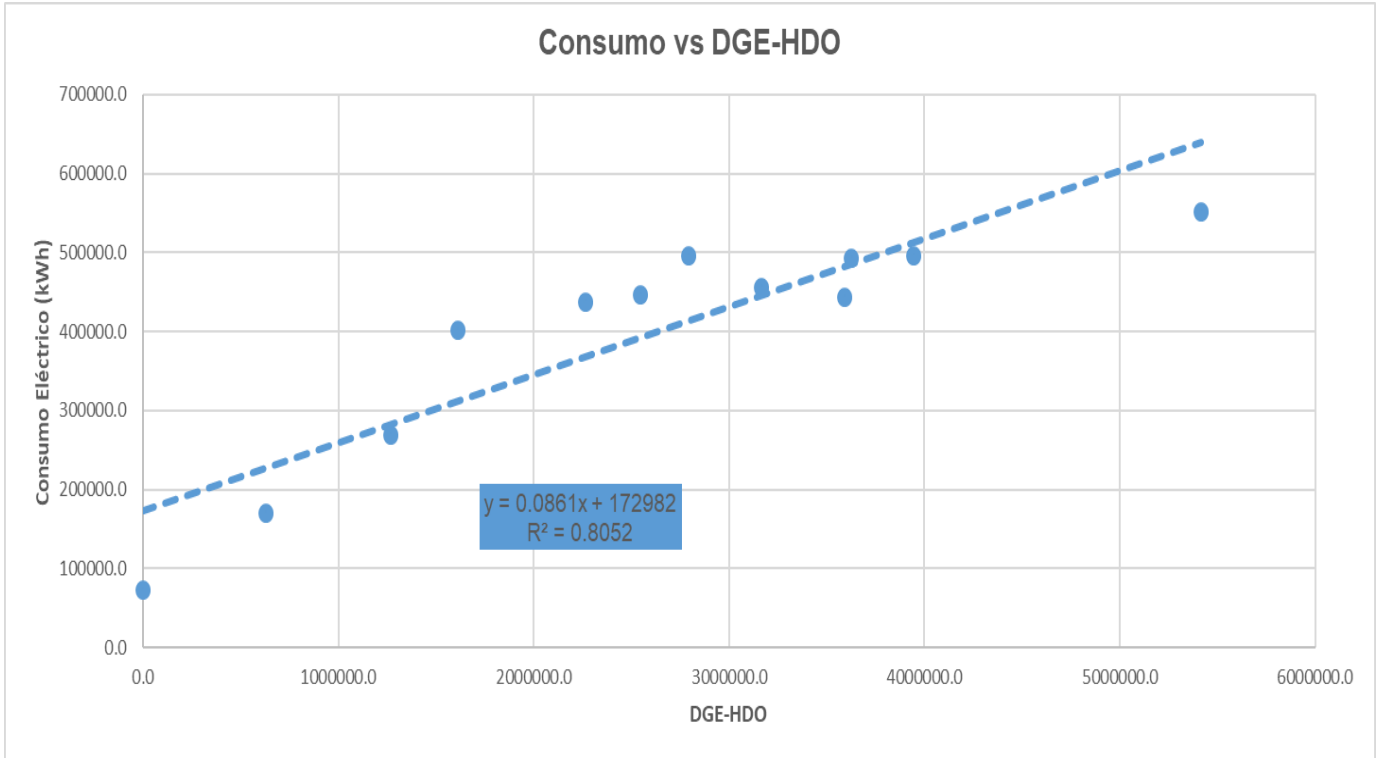


Figura 3.1 Gráfico de dispersion Consumo Eléctico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para $T_b = 15^\circ\text{C}$ del año 2016 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 3.2 Consumos energético y HDO-DGE para $T_b = 20^\circ\text{C}$ del año 2017 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Obtención de Indicadores $T_b=20$ (2017)						
Meses	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	HDO	TBS Media ($^\circ\text{C}$)	DGE	HDO*DGE
Enero	31	420919.0	11292	23.5	109.2	1233086.4
Febrero	28	398562.0	10498	24.7	130.2	1366839.6
Marzo	31	417356.0	11420	24.2	130.6	1490881.0
Abril	30	385489.0	14114	25.8	173.0	2441722.0
Mayo	31	436943.0	5701	27.6	235.4	1342015.4
Junio	30	320422.0	3756	28.4	250.9	942380.4
Julio	31	383028.0	5014	28.9	277.0	1388627.3
Agosto	31	459946.0	6612	28.9	275.5	1821275.4
Septiembre	30	245316.0	1606	28.3	249.3	400375.8
Octubre	31	239563.0	1584	26.6	204.1	323294.4
Noviembre	30	199469.0	1725	25.3	158.8	273843.8
Diciembre	31	223731.0	2638	24.1	127.2	335421.7

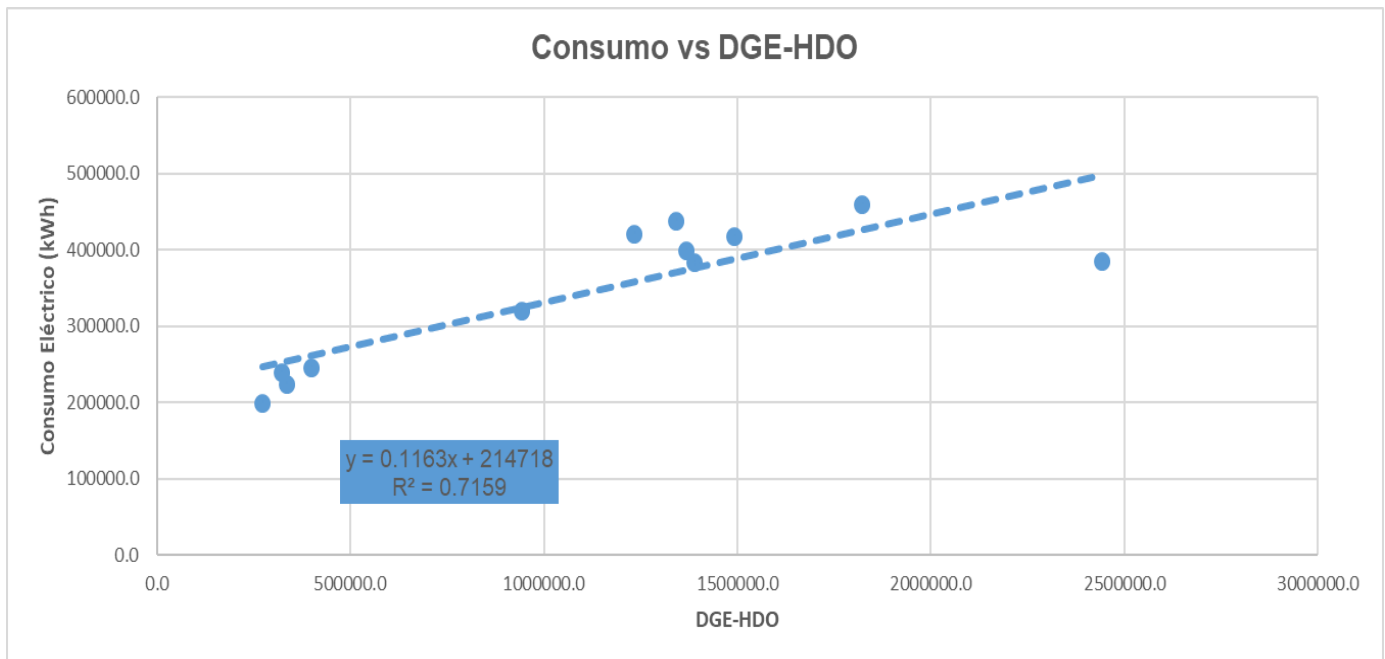


Figura 3.2 Gráfico de dispersión Consumo Eléctrico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para $T_b = 20^\circ\text{C}$ del año 2017 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 3.3 Consumos energético y HDO-DGE para $T_b = 19^\circ\text{C}$ del año 2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Obtención de Indicadores $T_b = 19$ (2018)						
Meses	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	HDO	TBS Media ($^\circ\text{C}$)	DGE	DGE*HDO
Enero	31	237454.0	3031	22.2	98.3	297947.3
Febrero	28	204206.0	3339	25.0	167.7	559950.3
Marzo	31	208027.0	3210	24.0	156.1	501081.0
Abril	30	214552.0	2584	26.5	226.2	584371.6
Mayo	31	166696.0	904	25.9	213.5	192958.8
Junio	30	168932.0	495	28.3	278.8	137981.3
Julio	31	272456.0	1011	29.4	321.4	324935.4
Agosto	31	270993.0	1136	28.8	302.3	343356.0
Septiembre	30	220766.0	645	28.5	285.5	184115.3
Octubre	31	214573.0	625	27.8	273.5	170906.3
Noviembre	30	221238.0	1725	26.9	237.0	408825.0
Diciembre	31	247224.0	9294	24.6	172.1	1599032.7

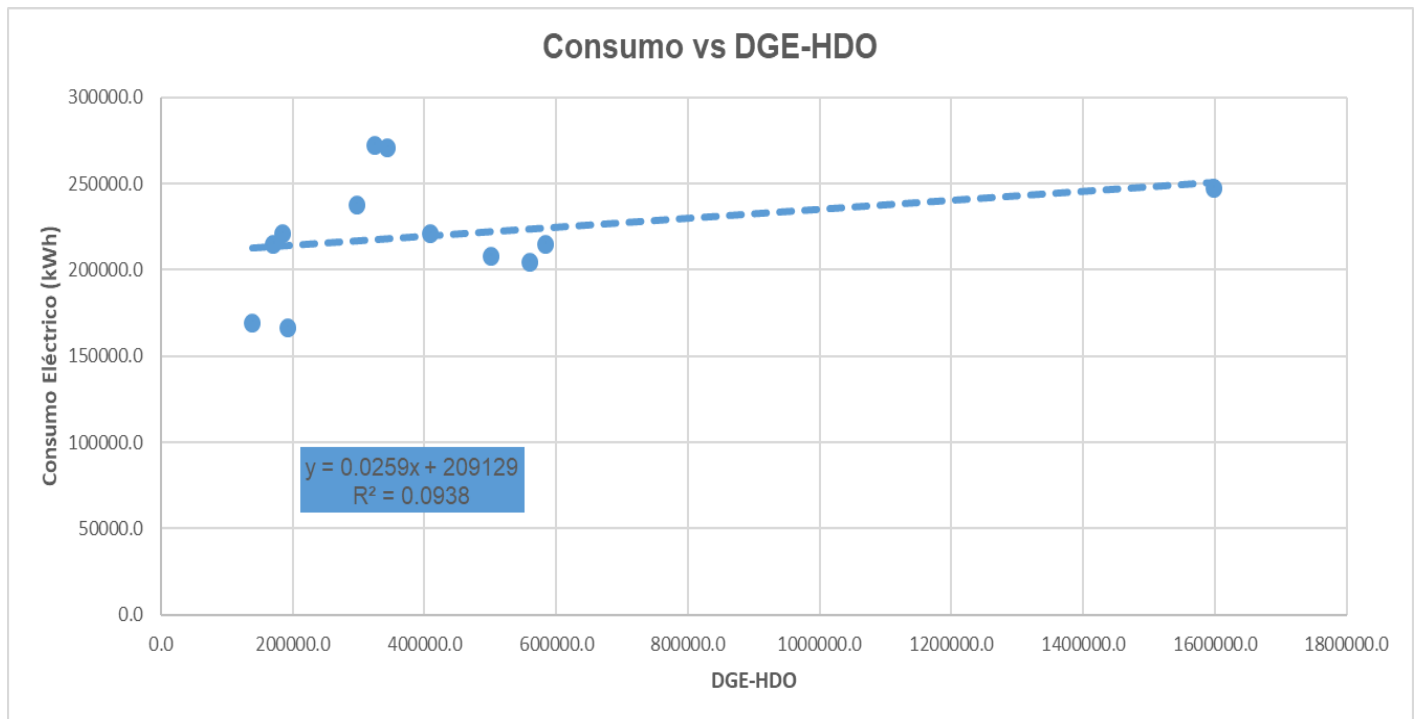


Figura 3.3 Gráfico de dispersión Consumo Eléctrico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para $T_b = 19^\circ\text{C}$ del año 2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

*Tabla 3.4 Consumos energético y HDO-DGE para $T_b = 19^\circ\text{C}$ entre los años 2016-2018
para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero*

Obtención de Indicadores $T_b = 19$						
Meses	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	HDO	TBS Media ($^\circ\text{C}$)	DGE	DGE*HDO
Enero (2016)	31	495361.9	15906	23.0	11.8	187690.8
Febrero (2016)	28	444082.0	15244	23.4	5.9	89939.6
Marzo (2016)	31	551291.3	17142	25.2	46.0	787674.9
Abril (2016)	30	493000.5	10759	26.2	67.1	721391.0
Mayo (2016)	31	436989.0	5880	27.4	106.1	623574.0
Junio (2016)	30	401720.0	4019	28.4	131.3	527493.8
Julio (2016)	31	445744.0	5811	29.1	159.0	923949.0
Agosto (2016)	31	496250.0	6250	29.4	167.5	1046875.0
Septiembre (2016)	30	268778.0	3069	28.8	143.8	441168.8
Octubre (2016)	31	72218.0	0	27.3	101.3	0.0
Noviembre (2016)	30	169732.0	2129	24.8	27.1	57589.5
Diciembre (2016)	31	456384.0	9294	26.0	62.3	578551.5
Enero (2017)	31	420919.0	11292	23.5	11.3	127035.0
Febrero (2017)	28	398562.0	10498	24.7	22.8	239354.4
Marzo (2017)	31	417356.0	11420	24.2	19.3	219835.0
Abril (2017)	30	385489.0	14114	25.8	54.8	772741.5
Mayo (2017)	31	436943.0	5701	27.6	111.4	635091.4
Junio (2017)	30	320422.0	3756	28.4	130.9	491660.4
Julio (2017)	31	383028.0	5014	28.9	153.0	766891.3
Agosto (2017)	31	459946.0	6612	28.9	151.5	1001387.4
Septiembre (2017)	30	245316.0	1606	28.3	129.3	207655.8
Octubre (2017)	31	239563.0	1584	26.6	83.3	131868.0
Noviembre (2017)	30	199469.0	1725	25.3	40.5	69776.3
Diciembre (2017)	31	223731.0	2638	24.1	23.7	62520.6
Enero (2018)	31	237454.0	3031	22.2	3.1	9396.1
Febrero (2018)	28	204206.0	3339	25.0	31.2	104176.8
Marzo (2018)	31	208027.0	3210	24.0	23.6	75595.5
Abril (2018)	30	214552.0	2584	26.5	76.9	198580.4
Mayo (2018)	31	166696.0	904	25.9	60.7	54872.8
Junio (2018)	30	168932.0	495	28.3	128.8	63731.3
Julio (2018)	31	272456.0	1011	29.4	166.4	168230.4
Agosto (2018)	31	270993.0	1136	28.8	147.3	167276.0
Septiembre (2018)	30	220766.0	645	28.5	135.5	87365.3
Octubre (2018)	31	214573.0	625	27.8	118.5	74031.3
Noviembre (2018)	30	221238.0	1725	26.9	90.8	156543.8
Diciembre (2018)	31	247224.0	9294	24.6	28.1	260696.7

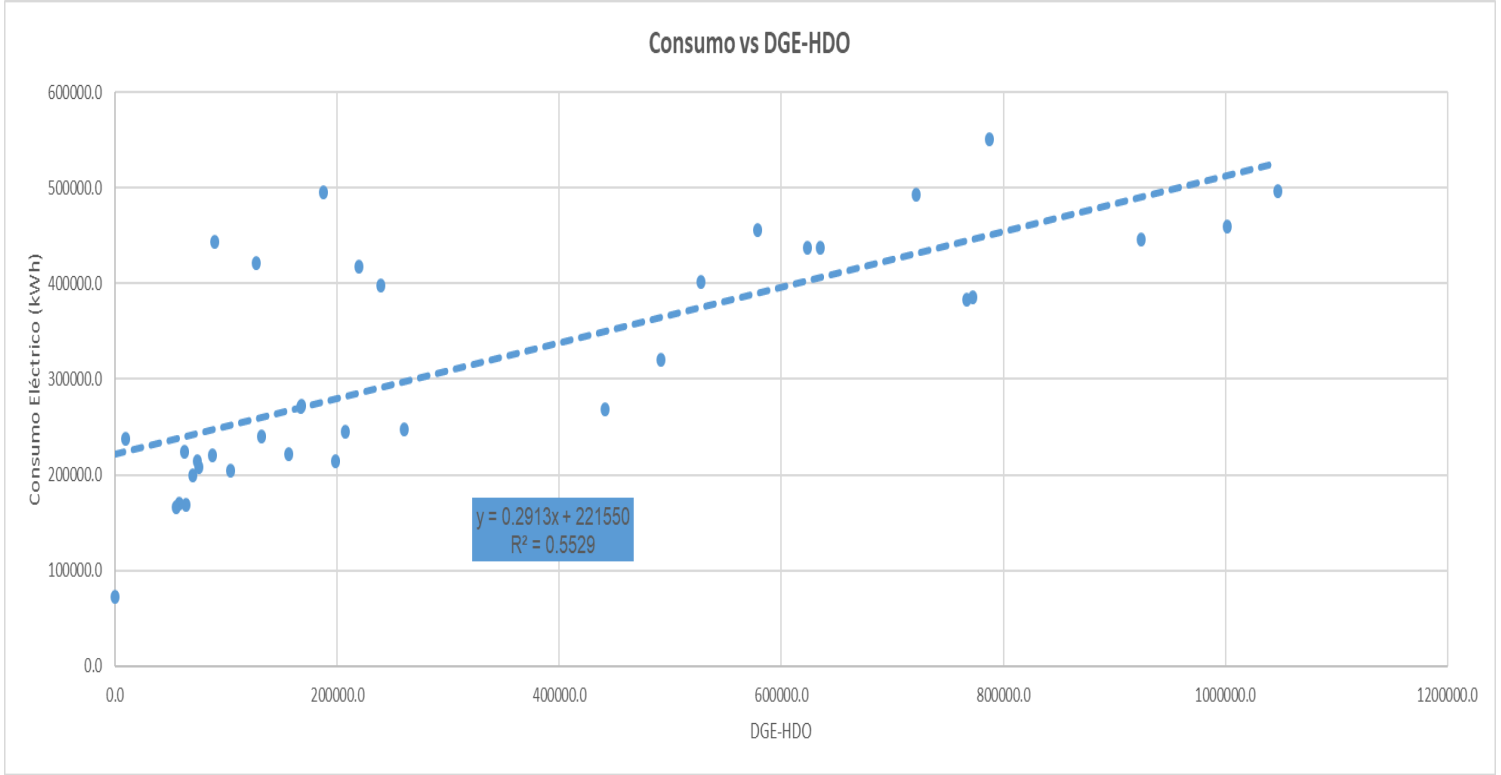


Figura 3.4 Gráfico de dispersion Consumo Eléctrico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para $T_b = 19^\circ\text{C}$ entre los años 2016-2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

3.1.2 Determinación de HDO-DGE por el método PLM para todos los hoteles

Tabla 3.5 Resumen de los resultados del cálculo del IDEn HDO-DGE usando el método PLM para todos los hoteles

Resultados del cálculo del IDEn HDO-DGE por el método PLM para los hoteles				
Año	2016	2017	2018	2016-2018
Hotel	R²	R²	R²	R²
Fiesta Americana Punta Varadero	0.80	0.72	0.09	0.55
Grand Memories Varadero	0.82	0.94	0.74	0.90
Iberostar Laguna Azul	0.45	0.42	0.43	0.22
Ocean Varadero El Patriarca	0.71	0.13	0.57	0.47
Ocean Vista Azul	0.70	0.94	0.89	0.72
Paradisus Varadero	0.64	0.71	0.82	0.16
Iberostar Playa Alameda	0.13	0.01	0.33	0.06
Paradisus Princesa del Mar	0.12	0.84	0.35	0.74

En el año 2016, al igual que ocurría con el cálculo de la Tb, los resultados generales sugieren una buena correlación entre el consumo eléctrico y HDO-DGE, con los hoteles Fiesta Americana Punta Varadero y Grand Memories Varadero con el coeficiente de determinación (R^2) por encima de 0,80. No obstante, en los hoteles Iberostar Playa Alameda y Paradisus Princesa del Mar el valor R^2 fue muy bajo, cercano al 0,1.

En el año 2017 la correlación también es buena, con tres hoteles con el valor R^2 por encima de 0,80 y de ellos, dos: Grand Memories Varadero y Ocean Vista Azul, sobre el 0,90. Hay que decir que en los hoteles Ocean Varadero El Patriarca y Iberostar Playa Alameda la correlación es muy baja, influenciada por el paso del huracán Irma.

Al igual que para el caso del cálculo de la Tb, en el año 2018 los gráficos de Consumo vs HDO-DGE arrojaron mayormente valores bajos de correlación: cuatro hoteles, la mitad de la muestra, con coeficientes de determinación (R^2) inferiores a 0,44 y solo dos por encima del valor recomendado como mínimo para que los resultados sean válidos (0,75).

En el estudio de los años 2016 al 2018 en conjunto la correlación es muy baja, similar a la del 2018: cuatro hoteles con el R^2 por debajo de 0,48 y solo uno por encima del valor mínimo 0,75 recomendado para que los resultados sean válidos.

3.2 El IDEn HDO-DGE como comprobación del cálculo de la Tb obtenida por el método de Auliciems

3.2.1 Determinación de HDO-DGE por el método de Auliciems para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 3.6 Consumos energético, HDO-DGE y temperatura base calculada por método de Auliciems del año 2016 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Método de Auliciems (2016)								
Mes	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	TBS Media (°C)	Temperatura Neutra	Temperatura Base	DGE Tb=25	HDO	HDO*DGE
Enero	31	495361.9	23.0	24.0	25.2	5.8	15906	92254.8
Febrero	28	444082.0	23.4	24.1	25.3	0.9	15244	13719.6
Marzo	31	551291.3	25.2	24.3	25.5	24.8	17142	425121.6
Abril	30	493000.5	26.2	24.4	25.6	37.4	10759	402386.6
Mayo	31	436989.0	27.4	24.5	25.7	75.2	5880	442176.0
Junio	30	401720.0	28.4	24.6	25.8	101.3	4019	407124.7
Julio	31	445744.0	29.1	24.7	25.9	128.0	5811	743808.0
Agosto	31	496250.0	29.4	24.7	25.9	136.5	6250	853125.0
Septiembre	30	268778.0	28.8	24.7	25.9	113.8	3069	349252.2
Octubre	31	72218.0	27.3	24.5	25.7	71.0	0	0.0
Noviembre	30	169732.0	24.8	24.2	25.4	7.2	2129	15328.8
Diciembre	31	456384.0	26.0	24.4	25.6	33.0	9294	306702.0
Promedio (2016)	-	-	26.6	24.4	25.6	-	-	-

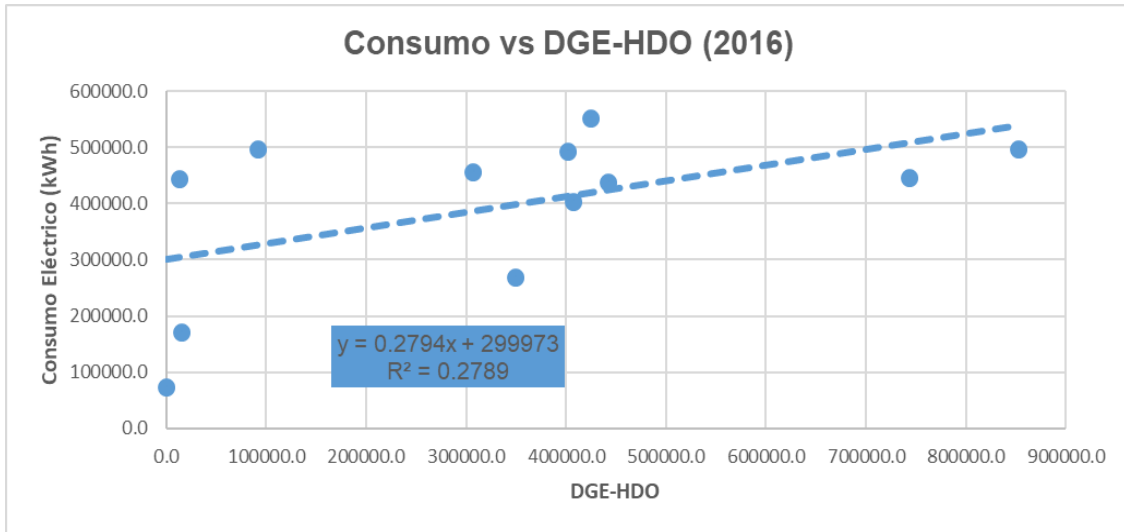


Figura 3.5 Gráfico de dispersion Consumo Eléctico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para $T_b = 25^{\circ}\text{C}$ del año 2016 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 3.7 Consumos energético, HDO-DGE y temperatura base calculada por método de Auliciems del año 2017 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Método de Auliciems (2017)								
Mes	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	TBS Media (°C)	Temperatura Neutra	Temperatura Base	DGE Tb=25	HDO	HDO*DGE
Enero	31	420919.0	23.5	24.1	25.3	2.9	11292	32746.8
Febrero	28	398562.0	24.7	24.2	25.4	5.9	10498	61938.2
Marzo	31	417356.0	24.2	24.2	25.4	4.5	11420	51390.0
Abril	30	385489.0	25.8	24.3	25.5	29.3	14114	413540.2
Mayo	31	436943.0	27.6	24.5	25.7	80.4	5701	458360.4
Junio	30	320422.0	28.4	24.6	25.8	100.9	3756	378980.4
Julio	31	383028.0	28.9	24.7	25.9	122.0	5014	611708.0
Agosto	31	459946.0	28.9	24.7	25.9	120.5	6612	796746.0
Septiembre	30	245316.0	28.3	24.6	25.8	99.3	1606	159475.8
Octubre	31	239563.0	26.6	24.4	25.6	56.8	1584	89971.2
Noviembre	30	199469.0	25.3	24.3	25.5	15.4	1725	26565.0
Diciembre	31	223731.0	24.1	24.2	25.4	5.7	2638	15036.6
Promedio (2017)	-	-	26.3	24.4	25.6	-	-	-

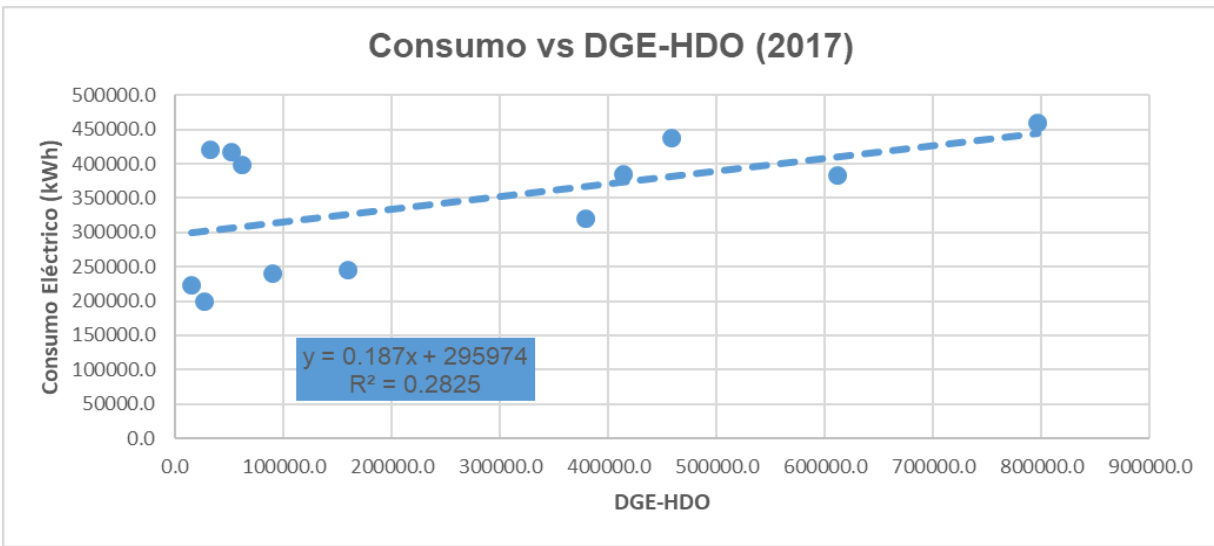


Figura 3.6 Gráfico de dispersion Consumo Eléctrico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para Tb =25°C del año 2017 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Tabla 3.8 Consumos energético, HDO-DGE y temperatura base calculada por método de Auliciems del año 2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

Método de Auliciems (2018)								
Mes	Días	Consumo Eléctrico (kWh)	TBS Media (°C)	Temperatura Neutra	Temperatura Base	DGE Tb=25	HDO	DGE*HDO
Enero	31	237454.0	22.2	23.9	25.1	0.3	3031	909.3
Febrero	28	204206.0	25.0	24.2	25.4	9.0	3339	30051.0
Marzo	31	208027.0	24.0	24.1	25.3	10.7	3210	34347.0
Abril	30	214552.0	26.5	24.4	25.6	48.9	2584	126357.6
Mayo	31	166696.0	25.9	24.3	25.5	33.7	904	30464.8
Junio	30	168932.0	28.3	24.6	25.8	98.8	495	48906.0
Julio	31	272456.0	29.4	24.7	25.9	135.4	1011	136889.4
Agosto	31	270993.0	28.8	24.7	25.9	116.3	1136	132116.8
Septiembre	30	220766.0	28.5	24.6	25.8	105.5	645	68047.5
Octubre	31	214573.0	27.8	24.6	25.8	87.5	625	54687.5
Noviembre	30	221238.0	26.9	24.5	25.7	63.3	1725	109192.5
Diciembre	31	247224.0	24.6	24.2	25.4	12.2	9294	113386.8
Promedio (2018)	-	-	26.5	24.4	25.6	-	-	-

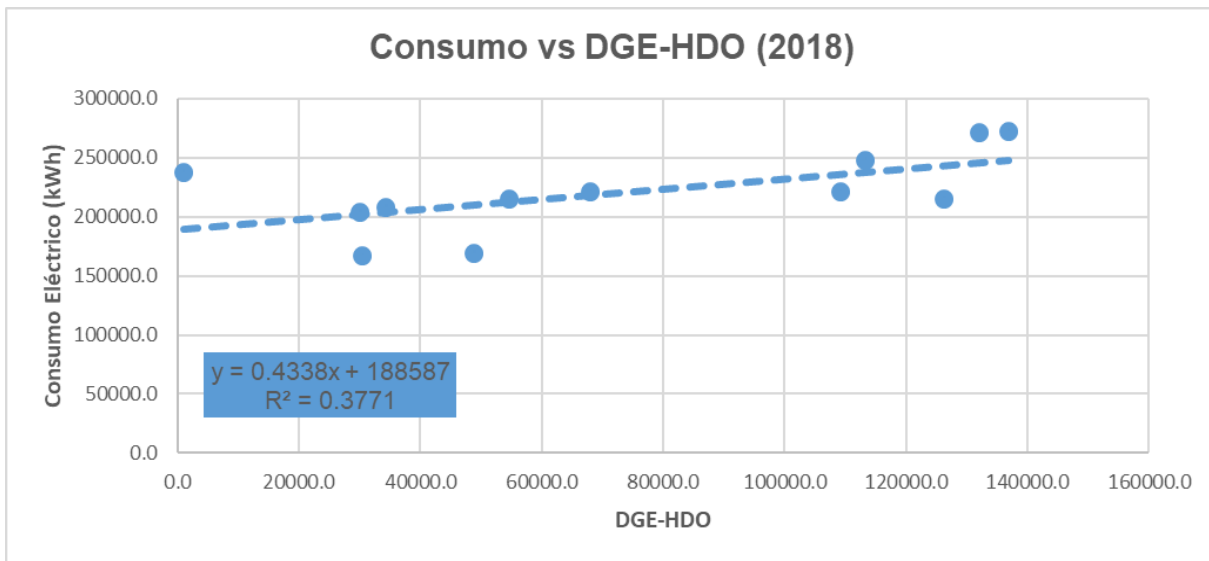


Figura 3.7 Gráfico de dispersion Consumo Eléctrico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para Tb =25°C del año 2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

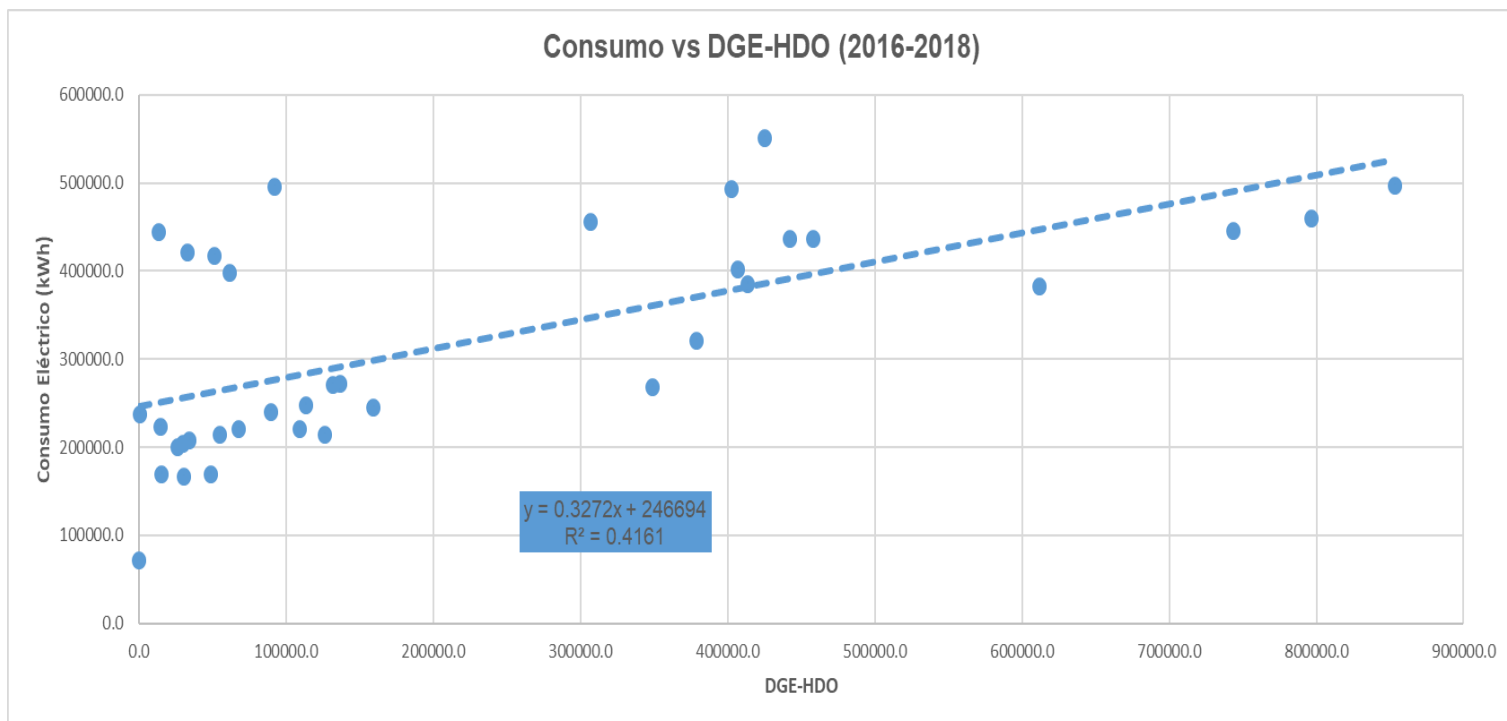


Figura 3.8 Gráfico de dispersión Consumo Eléctrico VS HDO-DGE y ecuación polinómica resultante para $T_b = 25^\circ\text{C}$ entre los años 2016-2018 para el hotel Fiesta Americana Punta Varadero

3.2.2 Determinación de HDO-DGE por el método de Auliciems para todos los hoteles

Tabla 3.9 Resumen de los resultados del cálculo del IDEn HDO-DGE usando el método de Auliciems para todos los hoteles

Resultados del cálculo del IDEn HDO-DGE por el método Auliciems para los hoteles				
Año	2016	2017	2018	2016-2018
Hotel	R^2	R^2	R^2	R^2
Fiesta Americana Punta Varadero	0.27	0.28	0.37	0.41
Grand Memories Varadero	0.23	0.28	0.20	0.36
Iberostar Laguna Azul	0.79	0.34	0.30	0.45
Ocean Varadero El Patriarca	0.62	0.30	0.68	0.44
Ocean Vista Azul	0.64	0.73	0.77	0.63
Paradisus Varadero	0.82	0.76	0.76	0.65
Iberostar Playa Alameda	0.88	0.38	0.56	0.57
Paradisus Princesa del Mar	0.72	0.47	0.70	0.53

En el año 2016 con este método ocurre algo similar que con el PLM, exceptuando dos hoteles, el Fiesta Americana Punta Varadero y Grand Memories Varadero con el coeficiente de determinación por debajo de 0,30, los resultados ofrecen una buena correlación entre el consumo eléctrico y HDO-DGE con seis hoteles con el R^2 por encima de 0,62, lo que lo hace potencial [Álvarez & Cabello 2016b; Campos 2013]; además, tres de ellos con valores muy buenos: Iberostar Laguna Azul (0,79), Paradisus Varadero (0,82) y Iberostar Playa Alameda (0,88).

En el 2017 los resultados se vieron muy afectados por el paso del fenómeno natural, por lo que no se tuvieron en cuenta para el estudio.

En el 2018 la correlación Consumo vs HDO-DGE fue muy parecida a la del 2016, cediendo además en el hotel Iberostar Laguna Azul con $R^2 = 0,30$.

En el estudio de los años 2016 al 2018 en conjunto se pudo comprobar la influencia que tuvieron los resultados contradictorios del año 2017, que hicieron que la correlación entre el consumo de energía y los HDO-DGE en todos los hoteles, exceptuando dos, estuviese por debajo de la mínima potencial.

3.3 Análisis final de los resultados obtenidos en el cálculo de HDO-DGE por cada método

Por el método PLM los resultados de comprobación no son concluyentes: en general la correlación entre el consumo eléctrico y HDO-DGE no es buena; sin embargo, en los años 2016 y 2017 esta se comporta de manera correcta, los valores de R^2 decaen sobre todo en el estudio del 2018 y después repercuten en el del 2016-2018. Por tanto, se debería verificar si influyó algún factor en este año que no se halla tenido en cuenta.

El método de Auliciems arrojó resultados más concluyentes en cuanto a la correlación entre el consumo eléctrico y HDO-DGE: con la excepción del año 2017, que se decidió no tenerlo en cuenta en el estudio por el suceso del huracán, los coeficientes de determinación

(R²) en la mayoría de los hoteles fueron potenciales o superiores al mínimo propuesto de 0,75 para que la línea base sea válida.

La comparación entre que método en general resultó ser más efectivo para cada hotel en cuanto al valor del coeficiente de determinación (R²), y que por tanto se recomienda se utilice para estudios futuros en dichas instituciones, se refleja en la tabla 3.10 y corrobora lo expuesto anteriormente.

Tabla 3.10 Método recomendado para cada hotel según resultados de R²

Método recomendado para cada Hotel		
Hotel	Mejores resultados (R²)	
	PLM	Auliciems
Fiesta Americana Punta Varadero	X	
Grand Memories Varadero	X	
Iberostar Laguna Azul		X
Ocean Varadero El Patriarca		X
Ocean Vista Azul	X	
Paradisus Varadero		X
Iberostar Playa Alameda		X
Paradisus Princesa del Mar		X

CONCLUSIONES

1. Este estudio muestra que un paso importante para lograr una mayor eficiencia energética en hoteles es una adecuada selección e implementación de IDEn, para la que se requiere incluir parámetros físicos como la temperatura exterior y parámetros operativos, como el nivel de ocupación.
2. Se confeccionó una aplicación en Microsoft Excel para determinar la temperatura base de refrigeración para el polo turístico de Varadero incorporando 2 métodos de cálculo distintos: PLM y Auliciems, y la información climatológica disponible de la Estación Meteorológica de Varadero en el periodo de 2016 a 2018.
3. El método PLM demostró no ser concluyente al obtenerse valores del coeficiente (α') tan elevados que no se puede afirmar la linealidad del modelo y al haber hoteles que no tenían una buena correlación entre el consumo eléctrico y los días grado, lo que es importante para demostrar la validez del método.
4. El método de Auliciems resultó ser más efectivo al ofrecer más facilidades de cálculo y arrojar resultados más concluyentes al determinar la T_b de 25°C para todos los años.
5. Se analizó el IDEn kWh/HDO-DGE como comprobación de los cálculos de la T_b para ambos métodos, y a pesar de que el Auliciems tiene una mejora sustancial en cuanto a la correlación entre estos dos parámetros con respecto al método PLM, el estudio no permitió concluir cual es la temperatura base más adecuada para Varadero.

RECOMENDACIONES

1. Calcular el IDEn DGE por otros métodos para verificar y realizar un mejor análisis de los resultados obtenidos.
2. Determinar la temperatura base por otros métodos para compararlos con los utilizados en el estudio.
3. Continuar realizando estudios de este tipo en otras áreas estratégicas que logren contribuir al ahorro económico y desarrollo sostenible del país al establecer sistemas de gestión energética verdaderamente optimizados, con IDEn que reflejen el comportamiento real de las instituciones objetos de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez MA, Cabello J (2016a) "Herramientas para la implementación de sistemas de gestión energética basados en la NC ISO en edificaciones hoteleras". *I Conferencia Científica Internacional, Cienfuegos, Universo Sur, Cienfuegos (Cuba)*.
- Álvarez MA, Cabello J (2016b) "Propuesta de indicador de desempeño energético para el pronóstico y control del consumo de electricidad en hoteles". *I Conferencia Científica Internacional, Cienfuegos, Universo Sur, Cienfuegos (Cuba)*.
- Auliciems A, Szokolay S (2007) "Passive and low energy architecture international. Design tools and techniques". *Thermal Comfort PLEA Notes, Note 3*.
- Borges D, Martínez J (2011) *Hacia un indicador de consumo de energía eléctrica más efectivo en hoteles del grupo Cubanacán de la provincia de Camagüey*. Universidad de Camagüey, Camagüey (Cuba).
- Borroto A, Ánibal E, Monteagudo J (2006) *Gestión y economía energética*. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos (Cuba).
- Broche RL (2016) *Obtención de la temperatura base para el hospital Arnaldo Milián Castro, con la aplicación y comparación de diferentes métodos de cálculo de los Grados Días*. Santa Clara (Cuba).
- Cabello JJ, Sousa V (2016) "Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels". *Journal of Cleaner Production*, pp. 803-812.
- Cabrera O, Boroto A (2004) "Evaluación del indicador kWh/HDO de eficiencia eléctrica en instalaciones hoteleras cubanas". *Retos Turísticos*, pp. 1-9.
- Campos JC (1997) *La eficiencia energética en la gestión empresarial*.
- Campos JC (2013) *Línea base, indicadores de desempeño energético*.

- Campos JC (2015) "Guía para la Implementación de un sistema de gestión de la energía basado en la ISO 50001".
- Correa J (2016) "Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la norma NC-ISO 50001:2011".
- Díaz Y, Álvarez M (2016) "Análisis de la implementación de la norma ISO 50001 en una empresa de telecomunicaciones hasta la fase de planificación energética". *Primera Conferencia Científica Internacional, Cienfuegos, Universo Sur, Cienfuegos (Cuba)*.
- EPA (2015) "Climate change indicators in the United States. Heating and Cooling Degree Days".
- Fuentes VA (2010) *Grados Días en Arquitectura*.
- García JM, Carretero A (2012) *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. Madrid (España).
- García OF, Bou M (2016) "Indicadores para la aplicación de un sistema de gestión energética acorde a la norma ISO NC 50001 en un hotel de Varadero". *Primera Conferencia Científica Internacional, Cienfuegos, Universo Sur, Cienfuegos (Cuba)*.
- Krese G, Prek M, Butala V (2011) *Analysis of building electric energy consumption data using an improved Cooling Degree-Day method*. University of Ljubljana (Slovenia).
- Lapido M, Valdivia Y (2016) "Implementación de un sistema de gestión de la energía con base a la NC ISO50001 en el hotel Gran Caribe Jagua". *I Conferencia Científica Internacional, Cienfuegos, Universo Sur, Cienfuegos (Cuba)*.
- Lindelof D (2016) "Bayesian estimation of a building's base temperature for heating degreedays". *ResearchGate*.
- Mclaughlin L (2013) *Practical guide for implementing an energy management system*. Vienna (Austria).
- Miquel A, Fernández M (2016) *ISO 50001 ¿Qué es y cómo la implemento en mi empresa?*

- Monteagudo M, Montesino M (2016) "Línea base e indicadores de desempeño energético para uso en NC ISO 50001:2011 en fábrica de alimento animal". *I Conferencia Científica Internacional, Cienfuegos, Universo Sur, Cienfuegos (Cuba).*
- ONN (2011) Sistema de gestión de la energía-requisitos con orientación para su uso. (ISO 50001:2011, IDT), Cuban National Bureau of Standards, La Habana (Cuba).
- Prias OF, Campos J (2013) *Implementación de un sistema de gestión de la energía*. Bogotá D. C. (Colombia).
- Quintana Y (2013) *Implementación de tecnología de gestión total eficiente de la energía en el hotel Barlovento*. Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos, Matanzas (Cuba).
- Rodríguez O, Cruz O (2018) "Modelo de cálculo de grados-días mensuales de enfriamiento y calentamiento con temperatura base variable, para aplicaciones energéticas". pp. 94-100.
- Rosa L, Pineda J (2017) *Método de cálculo del índice de eficiencia energética de los hoteles ESPOL - RTE*.
- Shi-Ming D, Burnett J (2002) "Energy use and management in hotels in Hong Kong".
- Therkelsen P, McKane A (2013) *Assessing the costs and benefits of the superior energy performance program*. Niagara Falls, New York.