

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CEEMA



TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico

Título: Evaluación de metodologías para la determinación de los Grados Días de enfriamiento.

AUTOR: Marlon Raya Lajares

TUTOR(ES): Dr.C. Mario Álvarez Guerra Plasencia

AÑO 59 DE LA REVOLUCIÓN
CIENFUEGOS 2018

Pensamiento:

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein

“Un hombre sabio siempre piensa antes de hablar; dice lo correcto y vale la pena escucharlo.”

Proverbios (16:21)

Agradecimiento:

A mi mamá y hermano:

Por apoyarme en mis decisiones, luchar conmigo en el transcurso de la carrera, ayuda determinante, valiosa e incondicional durante estos cinco años. En general a toda mi familia, que ha colaborado conmigo grandemente.

A mi novia:

Por estar siempre a mi lado, dedicarme su amor y comprensión, por apoyarme y por los tantos momentos hermosos que hemos compartido junto a su familia.

A mis profesores:

Por sus enseñanzas brindadas a lo largo de mi carrera para formarme como un profesional comprometido con su labor. En especial a los profesores Mario Álvarez Guerra Plasencia y Jorge Albornoz Escofet, quienes han aportado en lo personal la mayor influencia en mi formación como ingeniero.

A mis vecinos:

Por ayudarme en mi formación profesional de veras muy agradecido.

A mis amigos:

En especial a mis compañeros de brigada, por todo su apoyo durante la carrera, estando en las buenas y las malas.

Y a todas aquellas personas que no mencioné y que sientan en su corazón que son dignas de mi agradecimiento,

...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, acondicionamiento de locales, etc., se encuentra el denominado Método de los Grados Días. Los Grados Días 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, un análisis del futuro pronóstico consumo de energía, etc. Los métodos usados para determinar los valores de Grados Días pueden ser diferentes dependiendo de los datos climáticos disponibles de cada ubicación, por lo que en este trabajo se realiza un estudio comparativo de diferentes metodologías disponibles y se selecciona la más adecuada en función de los datos climáticos disponibles para la ciudad de Cienfuegos. Por último, se incorpora también un estudio acerca de su utilización para la obtención de índices de desempeño energético en instalaciones hoteleras.

Summary.

Among the different methods used to analyze the interaction of climate with energy consumption, especially in air conditioning, refrigeration, conditioning of premises, etc., 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 methods used to determine the values of Degrees Days can be different depending on the available climatic data of each location, so in this work a comparative study of different available methodologies is made and the most appropriate one is selected based on the climatic data available for the city of Cienfuegos. Finally, a study about its use for obtaining energy performance indices in hotel facilities is also incorporated.

Índice.

INTRODUCCIÓN.....	1
Problema científico.	2
Hipótesis.....	2
Objetivo General.	2
Tareas de investigación.	2
CAPÍTULO # 1. ESTUDIO SOBRE EL MÉTODO DE LOS GRADOS DÍAS.....	3
1.1. Introducción y uso de los Grados Días.	3
1.2. Introducción a la temperatura base.	4
1.3. Métodos para calcular los Grados Días.....	4
1.4. Modelos para calcular los Grados Días según otros métodos.....	5
1.4.1. Temperatura media diaria.	5
1.4.2. Método para el cálculo de los Grados Días según Erbs.....	5
1.4.3. Método para el cálculo de los Grados Días según Hitchin.....	7
1.4.4. Método para el cálculo de los Grados Días según Thom.	7
1.4.5. Método para el cálculo de los Grados Días según Schoenau-Kehrig.....	8
1.4.6. Método para el cálculo de los Grados Días según Rodríguez Santos.....	9
1.4.6.1. Determinación de θ_{mee} y θ_{mec} para el primer ($tb \leq tmin$) y tercer intervalos ($tb \geq tmax$)	10
1.4.6.2. Determinación de θ_{mee} y θ_{mec} para el segundo intervalo. ($tmin \leq tb \leq tmax$).....	10
1.5. Comprobación de los diferentes métodos.	12
1.6. Conclusiones parciales.	13
CAPÍTULO # 2. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO, MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1. Caracterización de los datos climáticos de Cienfuegos.	14

2.2. Selección y aplicación de los métodos de cálculo.	15
2.2.1. Aplicación del método de Erbs.....	16
2.2.2. Aplicación del método de Hitchin.	16
2.2.3. Aplicación del método de Schoenau-Kehrig	17
2.2.4. Comparación de los tres métodos según el error.	17
2.3. Influencia de la temperatura base.....	19
2.4. Determinación de la temperatura base.	20
2.4.1. Determinación de la temperatura base para el hotel Pasacaballo.	21
2.4.2. Determinación de la temperatura base para el resto de los hoteles.	24
2.5. Conclusiones parciales.	26
CAPÍTULO # 3. UTILIZACIÓN DE LOS GRADOS DÍAS PARA LA DEFINICIÓN DE IDEN EN INSTALACIONES HOTELERAS. CASO DE ESTUDIO HOTEL “FARO LUNA”	27
3.1. Indicadores de desempeño energético (IDEn).	27
3.2. Particularidades del Hotel ‘Faro Luna’.	28
3.2.1. Características energéticas del Hotel ‘Faro Luna’.	28
3.2.2. Análisis de los consumos de energía eléctrica y la producción en el tiempo.	29
3.2.3. Gráfico de dispersión de consumo de energía eléctrica vs HDO.	30
3.2.4. Propuesta del indicador de desempeño energético.	30
3.2.5. Validación del indicador utilizando los Días Grado de Cienfuegos calculados.	
31	
3.3. Conclusiones parciales.	35
CONCLUSIONES.....	36
RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Índice de figuras.

Figura 1. Grafica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados Días y su comportamiento en los meses de enero, abril y septiembre del 2013.	18
Figura 2. Grafica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados días y comportamiento de los Grados Días en los meses de enero, abril y septiembre del 2017.	19
Figura 3. Grafica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados días y comportamiento de los Grados Días en los meses de enero, abril y septiembre del 2008.	19
Figura 4. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 18 °C en Pasacaballo.	22
Figura 5. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 19 °C en Pasacaballo.	22
Figura 6. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 20 °C en Pasacaballo.	23
Figura 7. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 21 °C en Pasacaballo.	23
Figura 8. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 22 °C en Pasacaballo.	24
Figura 9. Diagrama de consumo de del uso de los portadores energéticos en el Hotel Faro Luna.	28
Figura 10. Consumo de energía eléctrica total y habitaciones días ocupadas (HDO) en el año 2012-2017.	29
Figura 11. Gráfico de dispersión de consumo de energía eléctrica vs HDO en el año 2012-2017.	30
Figura 12. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2012 para una temperatura base de 20 °C.	31
Figura 13. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2013 para una temperatura base de 20 °C.	31
Figura 14. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2014 para una temperatura base de 20 °C.	32
Figura 15. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2015 para una temperatura base de 20 °C.	32
Figura 16. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2016 para una temperatura base de 20 °C.	33
Figura 17. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2017 para una temperatura base de 20 °C.	33

Índice de tablas.

Tabla 1. Tabla resumen de los diferentes métodos.	12
Tabla 2. Hoja de resultados de los Grados Días según el método de Erbs.	16
Tabla 3. Hoja de resultados de los Grados Días según el método de Hitchin.	16
Tabla 4. Hoja de resultados de los Grados Días según el método de Schoenau-Kehrig.	17
Tabla 5. Comparación entre el método de Schoenau-Kehrig y Hitchin.	17
Tabla 6. Comparación entre el método de Hitchin y Erbs.	17
Tabla 7. Comparación entre el método de Schoenau-Kehrig y Erbs.	17
Tabla 8. Promedio de Grados Días de enfriamiento a diferentes temperaturas bases.....	20
Tabla 9. Consumos energéticos del hotel Pasacaballo del año 2011-2017.	21
Tabla 10. Grados Días para distintas temperaturas bases del año 2011-2017 para el hotel Pasacaballo.....	21
Tabla 11. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de Pasacaballo a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.....	24
Tabla 12. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de Punta la Cueva a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.....	25
Tabla 13. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de Faro Luna a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.....	25
Tabla 14. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de La Unión a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.....	25
Tabla 15. Coeficientes de correlación E vs HDG.	34

Introducción.

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 [Thom, 1966]. 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» (TB), 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 estadístico-económicos, 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 esta área, o sea, la provincia de Cienfuegos. Además, una revisión regular y poner al día de la información climática son inevitables, teniendo en consideración los panoramas del cambio climático y los futuros acontecimientos demográficos y económicos.

En la literatura se conocen varios métodos para el cálculo de los Grados días (Hitchin, 1983; Schoenau y Kehrigm, 1980; Rodríguez Santos, 2017), la selección de uno de ellos para una aplicación concreta depende de los datos climáticos disponibles de cada ubicación, por ello puede formular el siguiente:

Problema científico.

¿Cuál es el procedimiento de cálculo de los Grados Días de Enfriamiento más conveniente para la ciudad de Cienfuegos en función de los datos climáticos disponibles por el Centro Meteorológico Provincial?

Hipótesis.

Si se realiza un estudio comparativo de los métodos de determinación de los Grados Días en función de los datos disponibles, puede determinarse el más adecuado para los estudios en la ciudad de Cienfuegos.

Objetivo General.

Determinar el procedimiento más adecuado para el cálculo de los Grados Días para la implementación de este en los índices de desempeño energético en instalaciones hoteleras.

Tareas de investigación.

1. Realizar búsqueda bibliografía sobre los métodos de determinación de los Grados Días.
2. Caracterizar los datos meteorológicos disponibles del Centro Meteorológico Provincial.
3. Estudiar comparativamente los Grados Días obtenidos por cada método, realizar análisis de errores entre ellos y definir el más factible.
4. Estudiar el valor de temperatura base más apropiado para las condiciones de Cienfuegos.
5. Aplicar los Grados Días para la obtención de índices de desempeño energético en instalaciones hoteleras.

Capítulo # 1. Estudio sobre el método de los Grados Días.

1.1. Introducción y uso de los Grados Días.

En la literatura se adoptan varios métodos para calcular Grados Días. 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. Con el fin de estimar los Grados Días a partir de un conjunto de datos climáticos reducidos, varios autores han desarrollado en los últimos años numerosos métodos, a menudo basados en datos diarios o de temperatura media mensual. En el presente capítulo se realiza una breve revisión y comparación de los enfoques más comunes.

Los Grados Días son muy importantes para calcular la demanda energética tanto en frío como en calor de un determinado sistema de climatización. Por ello es imprescindible conocer, usar y saber calcular este parámetro climático. (Rodríguez, 2013)

Los Grados Días son esencialmente la suma de las diferencias de la temperatura base de referencia y la temperatura media diaria exterior. Dado que la ganancia de calor de un edificio es directamente proporcional a la diferencia entre la temperatura exterior e interior, se deduce que el consumo energético de un edificio con climatización durante un período de tiempo debe estar relacionado con la suma de estas diferencias de temperatura en este período. (ONE, 2009)

Los Grados Días son un parámetro importante a considerar para la definición de las estrategias de diseño o los requerimientos de climatización (natural o artificial) y, por lo tanto, la demanda de energía de una edificación. Pueden definirse como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento (en grados Celsius o Kelvin), necesarios para alcanzar la zona de confort, acumulados en un cierto período de tiempo (generalmente un mes; aunque podrían ser semanales, o incluso horarios). Esta temperatura de confort es la temperatura base (TB) fijada. (Rodríguez, 2013)

Los Grados Días 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 Grados Días. Su uso en las

edificaciones tiene como principal aporte estimar el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono debido a la calefacción y la refrigeración, para el monitoreo continuo de la energía y el análisis energético de nuevas construcciones y de los edificios existentes, sobre la base de datos históricos. Los primeros pueden ser utilizados con el fin de establecer los presupuestos de energía, y obtener un rendimiento aproximado del edificio con los patrones típicos. Este último puede ser utilizado para evaluar el rendimiento en uso e identificar los cambios en los patrones de consumo, y establecer futuros objetivos de consumo de energía. (CIBSE, 2006)

1.2. Introducción a la temperatura base.

La temperatura base es la temperatura de referencia que se utiliza para el cálculo de los Grados Días. 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 (G. J, 1990). La temperatura base para aplicaciones de refrigeración se puede definir también como la temperatura exterior en que la planta de refrigeración no es necesario operar para satisfacer las necesidades de espacio de refrigeración.

1.3. Métodos para calcular los Grados Días.

Los Grados Días de un período determinado de tiempo (una semana, un mes, etc.) son la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura fija o base de los Grados Días (16, 18, 20, 22, 25°C) y la temperatura media del día. Cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base, obtendremos los Grados Días de calentamiento (HDD); si, por el contrario, esa temperatura media diaria es superior a la base, obtendremos los Grados Días de enfriamiento (CDD). Así que podemos tener dos tipos de Grados Días: de calentamiento o de enfriamiento. (Rodríguez, 2013)

1.4. Modelos para calcular los Grados Días según otros métodos.

1.4.1. Temperatura media diaria.

El estándar (ASHRAE, 2009) define Grados Días adoptando la media temperatura diaria, definida como la media aritmética del máximo y temperaturas mínimas en un día dado, como se muestra en la ecuación (1):

$$\bar{T}_{e,d} = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \quad (1)$$

Por lo tanto, HDD y CDD pueden ser calculados fácilmente de acuerdo con la ecuación (2) y (3):

$$HDD_t = \sum_{d=1}^{D_t} (T_{b,hs} - \bar{T}_{e,d})_d^+ \quad (2)$$

$$CDD_t = \sum_{d=1}^{D_t} (\bar{T}_{e,d} - T_{b,cs})_d^+ \quad (3)$$

Este enfoque permite una reducción significativa de datos, requiriendo solo las temperaturas máximas y mínimas de cada día.

En este proceso no puede haber valores negativos, por ello, cuando en el caso de los CDD, si $\bar{T}_{e,d} \leq T_{b,cs}$, esto implica que $CDD=0$. De manera similar, para el caso de los HDD, si $\bar{T}_{e,d} \geq T_{b,hs}$, entonces esto significa que $HDD=0$. Ahora bien, debido a las características particulares del presente caso de estudio, sólo resulta de interés el cálculo de los CDD, y en ello se centrará el trabajo.

1.4.2. Método para el cálculo de los Grados Días según Erbs.

Una de las vías para calcular los Grados Días mediante las temperaturas promedio mensuales, es el método desarrollado por Erbs en 1983 (ONE, 2009). Este método intenta corregir por debajo y/o por encima los Grados Días de calentamiento o enfriamiento al usar una temperatura media mensual. Típicamente al usar las temperaturas medias mensuales, los Grados Días son calculados como $Dm(T_b - T_m)$ para los Grados Días de calentamiento y $Dm(T_m - T_b)$ para los Grados Días de enfriamiento, donde Dm es el número de días del mes

y T_m es la temperatura media mensual ya que este método no responde a la variabilidad de temperatura dentro del mes, para determinar las necesidades de calefacción y/o climatización. Para compensar esto, el método de Erbs calcula la desviación estándar de la temperatura media mensual alrededor del año (σ_y), y la media diaria alrededor de la media mensual (σ_m). A su vez, se usa la desviación estándar de las temperaturas medias diarias alrededor de la media mensual para estimar la variabilidad de temperatura media diaria dentro del mes. Los Grados Días durante el mes pueden ser entonces calculados como (ecuación 4):

$$GD_m = \sigma_m \cdot (D_m)^{1.5} \cdot \left[\frac{h}{2} + \frac{\ln(e^{-ah} + e^{ah})}{2a} \right] \quad (4)$$

Donde:

$$h = \frac{(T_b - T_m)}{[\sigma_m (D_m)^{1/2}]} \quad (\text{para el cálculo de los Grados Días de calefacción})$$

$$h = \frac{(T_m - T_b)}{[\sigma_m (D_m)^{1/2}]} \quad (\text{para el cálculo de los Grados Días de enfriamiento})$$

$$a = 1.698(D_m)^{1/2}$$

$$\sigma_m = 1.45 - 0.29 \cdot T_m + 0.664 \cdot \sigma_y \quad (\text{Esta fórmula está concebida para las condiciones meteorológicas del Reino Unido})$$

La ecuación para σ_m que se ajuste a las condiciones del Caribe es:

$$\sigma_m = 3.54 - 0.029 \cdot T_m + 0.00644 \cdot \sigma_y$$

Donde:

T_b : temperatura base.

T_m : temperatura media mensual.

σ_m : Desviación estándar de las temperaturas del mes.

D_m : Días del mes.

σ_y : Desviación estándar de las temperaturas medias mensuales de todos los meses del año.

1.4.3. Método para el cálculo de los Grados Días según Hitchin.

Hitchin, 1981 propuso una fórmula relativamente simple para los Grados Días de enfriamiento que mostró una buena correlación con el clima del Reino Unido. La fórmula de Hitchin es:

$$GD_m = \frac{N_m \cdot \Delta T_m}{1 - e^{(-k\Delta T_m)}} \quad (5)$$

$$k = \frac{2.5}{\sigma}$$

$$\Delta T_m = \begin{cases} (T_b - \bar{T}_m) & \text{para HDD} \\ (\bar{T}_m - T_b) & \text{para CDD} \end{cases}$$

Donde:

GD_m : Grados Días mensual.

N_m : número de días del mes.

T_b : temperatura base.

$\bar{T}_m$: temperatura promedio mensual.

σ : desviación estándar de la temperatura diaria del mes.

1.4.4. Método para el cálculo de los Grados Días según Thom.

Thom ideó un método para estimar los valores medios de los Grados Días para cualquier temperatura base utilizando medias mensuales y desviaciones estándar de la temperatura del aire. El método se basa en la observación de que las temperaturas medias de un día en particular a través de una serie de años se distribuyen normalmente. La implementación real de la especificación Thom se basa en la construcción de la variante normalizada definida como:

$$GD_{bm} = N \left(T_b - T_m + Y \cdot S_M \cdot N^{\frac{1}{2}} \right) \quad (6)$$

Donde:

GD_{bm} : valor medio mensual de grados días.

T_b : temperatura base.

T_m : temperatura media del mes.

N : número de días del mes.

S_M : desviación estándar de la temperatura media mensual.

Y : el factor empírico

1.4.5. Método para el cálculo de los Grados Días según Schoenau-Kehrig.

El método fue desarrollado por Schoenau y Kehrig, 1980 y es uno de los métodos ampliamente adoptado. Este método utiliza la desviación de las temperaturas medias diarias alrededor de la media mensual, en comparación con el método que utiliza la desviación estándar de las temperaturas medias mensuales de año en año. Se considera la desviación estándar más apropiada para ser utilizada en el cálculo, el único supuesto hecho es que por cada mes las temperaturas medias diarias, T , se dispersan alrededor de la temperatura media mensual con una distribución normal. (G. J, 1990)

$$GD_m = N_m \cdot \sigma_d [Z_b \cdot F(Z_b) + f(Z_b)]$$

Donde Z_b es dado por las siguientes ecuaciones (7) y (8):

$$Z_b = Z_{b,h} = \frac{T_{b,h} - T_m}{\sigma_d} \quad \text{para calcular HDD} \quad (7)$$

$$Z_b = Z_{b,c} = \frac{T_m - T_{b,c}}{\sigma_d} \quad \text{para calcular CDD} \quad (8)$$

La función $f(Z)$ es la función de densidad de probabilidad normal (gaussiana) con 0 de media y desviación típica igual a 1 (ecuación 9), mientras que $F(Z)$ es la función de probabilidad normal acumulativa (ecuación 10).

$$f(Z_b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-Z_b^2}{2}\right)} \quad (9)$$

$$F(Z_b) = \int_{-\infty}^{Z_b} f(Z_b) dZ \quad (10)$$

N_m : número día del mes.

Z_b : diferencia entre la temperatura de base.

T_m : temperatura media mensual.

σ_d : desviación estándar normalizada de las temperaturas medias diarias del mes.

T_b : temperatura base.

$f(Z)$: función acumulativa normal probabilística.

$F(Z_b)$: función probabilística de densidad (se mueve desde 0 a 1 desviación estándar)

Este modelo tiene la ventaja de usar funciones estadísticas fáciles de programar en cualquier tipo de hoja de cálculo. Tiene como desventajas, que se pierde la forma tradicional de la ecuación para el cálculo de los Grados Días y no propone un método para el cálculo de la desviación estándar de las temperaturas medias diarias mensuales.

1.4.6. Método para el cálculo de los Grados Días según Rodríguez Santos.

El modelo que se propone para el cálculo de los Grados Días de enfriamiento y/o calentamiento, establece como variables climatológicas, la temperatura media diaria (t_m), la temperatura media mínima diaria (t_{min}) y la temperatura máxima diaria (t_{max}), todas para un periodo de tiempo de un mes. Con estas variables se define el parámetro adimensional (ϖ).

$$\varpi = \frac{t_m}{t_{max} - t_{min}} \quad (11)$$

Para el cálculo de los Grados Días de enfriamiento y calentamiento mensual con temperatura base variable, tradicionalmente se utilizan las expresiones (12) y (13) respectivamente:

$$GD_{me} = N \cdot (\theta_{mee} - t_b) \quad (12)$$

$$GD_{mc} = N \cdot (t_b - \theta_{mec}) \quad (13)$$

Donde:

GD_{me} : Grados Días mensuales de enfriamiento.

GD_{mc} : Grados Días mensuales de calentamiento.

t_m : temperatura media para el periodo.

t_b : temperatura base.

N : número de días del periodo correspondiente. Se toma $N = N_{mes}$ cuando el periodo se considera por un mes.

Éstas expresiones resultan inexactas, para el caso en que la temperatura base toma valores en el intervalo comprendido entre la temperatura media mínima diaria hasta la temperatura media máxima diaria para el mes. El rango de valores en que la temperatura base toma valores, puede ser incluso mayor, con valores por debajo de la temperatura mínima media o por encima de la máxima media mensual respectivamente.

En función de esto se definen 3 intervalos, los que se explican a continuación.

1.4.6.1. Determinación de θ_{mee} y θ_{mec} para el primer ($t_b \leq t_{min}$) y tercer intervalos ($t_b \geq t_{max}$)

Para todos los valores de t_b en esos intervalos, se cumple, que los valores que toman θ_{mee} y θ_{mec} son constantes e iguales a la temperatura media mensual t_m , los valores de los Grados Días mensuales de enfriamiento (GD_{me}) o calentamiento (GD_{mc}) que resulten negativos se consideran nulos.

1.4.6.2. Determinación de θ_{mee} y θ_{mec} para el segundo intervalo. ($t_{min} \leq t_b \leq t_{max}$).

En ese intervalo los valores de los términos θ_{mee} y θ_{mec} , varían en correspondencia con los valores que tome la temperatura base y se deben calcular siguiendo una determina secuencia de ecuaciones.

Primeramente se definen los términos los términos t_{mee} y t_{mec} , que resultan similares a θ_{mee} y θ_{mec} , radicando la diferencia entre ellos, en que el valor de los parámetros θ_{mee} y θ_{mec} , se definen mediante ecuaciones no lineales.

El cálculo de las variables (t_{mee}) y (t_{mec}) se realiza mediante las ecuaciones (14) y (15):

$$t_{mee} = (t_b - t_{min}) \left(\frac{t_{max} - t_m}{t_{max} - t_{min}} \right) + t_m \quad (14)$$

$$t_{mec} = (t_b - t_{min}) \left(\frac{t_m - t_{min}}{t_{max} - t_{min}} \right) + t_{min} \quad (15)$$

Realizándose el cálculo de θ_{mee} y θ_{mec} , mediante las ecuaciones:

$$\theta_{mee} = (t_{mee} - t_{max}) e^{Z_e(t_{mee} - t_m)} + t_{max} \quad (16)$$

$$\theta_{mec} = (t_{mec} - t_{min}) e^{Z_c(t_m - t_{mec})} + t_{min} \quad (17)$$

Los coeficientes (Z_e) y (Z_c) para enfriamiento y calentamiento respectivamente, tienen valores constantes para todo el intervalo y se calculan por las ecuaciones (18) y (19).

Para un determinado valor de la temperatura base t_b , se propone calcularlos para el punto donde t_b iguala en valor a la temperatura media mensual t_m .

$$Z_e = \frac{\ln \frac{\theta_{mee} - t_{max}}{t_{mee} - t_{max}}}{t_{mee} - t_m} \quad (18)$$

$$Z_c = \frac{\ln \frac{\theta_{mec} - t_{min}}{t_{mec} - t_{min}}}{t_m - t_{mec}} \quad (19)$$

En las ecuaciones (18) y (19) se sustituyen los valores de (t_{mee}) y (t_{mec}) calculados por las ecuaciones (14) y (15) en las cuales, el termino t_b se sustituye por t_m , estos mismos valores de (t_{mee}) y (t_{mec}) se sustituyen en las ecuaciones (20) y (21), para el cálculo de los valores de θ_{mee} y θ_{mec} a sustituir en las ecuaciones (18) y (19).

$$\theta_{mee} = t_{mee} - Z \quad (20)$$

$$\theta_{mec} = t_{mec} + Z \quad (21)$$

El parámetro (Z), que relaciona los parámetros (θ_{mee} y θ_{mec}) con los parámetros (t_{mee} y t_{mec}), depende de las características climatológicas de la región geográfica de cada y se calcula como:

$$Z = A \cdot \varpi^{-B} \quad (22)$$

Dónde el término ϖ fue definido en la ecuación (9) y A y B son coeficientes específicos para la región.

Con los valores determinados de los coeficientes (Z_e) y (Z_c), para las expresiones (18) y (19) se calculan los valores de θ_{mee} y θ_{mec} para todos los valores de t_b en el segundo intervalo y se determinan los Grados Días de enfriamiento (GD_{me}) y calentamiento (GD_{mc}) por las ecuaciones (12) y (13).

El modelo permite determinar los (GD_{mc}) a partir del cálculo de los (GD_{me}) o viceversa, mediante las ecuaciones (23) y (24) y realizar comprobaciones, mediante las ecuaciones (25) y (26).

$$GD_{me} = N(t_m - t_b) + GD_{mc} \quad (23)$$

$$GD_{mc} = GD_{me} - N(t_m - t_b) \quad (24)$$

$$\theta_{mee} + \theta_{mec} = t_m + t_b \quad (25)$$

$$\theta_{mee} + \theta_{mec} = t_{mee} + t_{mec} \quad (26)$$

Con anterioridad se destacó que el procedimiento de cálculo se hace específico en dependencia de que los Grados Días se calculen prioritariamente para enfriamiento o para calentamiento, lo que posibilita que el modelo se pueda sintetizar en dos modelos, uno para el cálculo de los Grados Días de enfriamiento y otro para el cálculo de los Grados Días de calentamiento.

1.5. Comprobación de los diferentes métodos.

Del análisis anterior se evidencia que los métodos de determinación de los Grados Días difieren entre sí por el tipo de información meteorológica que utilizan como datos primarios: temperaturas medias diarias o temperaturas medias mensuales y sus respectivas desviaciones estándar, así como por la complejidad de los cálculos. La tabla 1 resume estas características.

Tabla 1. Tabla resumen de los diferentes métodos.

Método	Variables de entrada (Datos)	Variables de salida (Resultados)	Complejidad calculo (baja, media, alta)
ASHRAE	T_{max}, T_{min}, T_b	GD_d, GD_m	Baja
Erbs	$T_m, T_b, \sigma_y, \sigma_m$	GD_m	Alta
Hitchin	$\bar{T}_m, T_b, \sigma$	GD_m	Media
Schoenau-Kehrig	T_m, T_b	GD_m	Alta
Thom	T_m, T_b, S_M	GD_m	Baja
Rodríguez Santos	T_{max}, T_{min}, T_b	GD_{me}, GD_{mc}	Alta

De ello se deduce que la disponibilidad de los datos meteorológicos confiables es la variable decisiva a la hora de seleccionar un método de cálculo u otro.

1.6. Conclusiones parciales.

1. El método de los Grados Días tiene una gran aplicación en los estudios actuales sobre la interrelación de las condiciones climáticas y diferentes procesos socioeconómicos. Ejemplo de ello son los estudios de evaluación del impacto del cambio climático, el crecimiento de los cultivos o las aplicaciones de cálculos de sistemas energéticos.
2. En el sector de las edificaciones estos métodos resultan de gran utilidad, al permitir estimar el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono debido a la calefacción y la refrigeración, el monitoreo continuo del consumo de energía y el análisis energético de nuevas construcciones y de los edificios existentes, sobre la base de datos históricos.
3. En la literatura científica se encuentran referenciados varios métodos para la determinación de los Grados Días, los que difieren entre sí por el tipo de información meteorológica que utilizan como datos primarios: temperaturas medias diarias o temperaturas medias mensuales y sus respectivas desviaciones estándar, así como por la complejidad de los cálculos.

Capítulo # 2. Desarrollo del procedimiento de cálculo, materiales y métodos.

2.1. Caracterización de los datos climáticos de Cienfuegos.

La provincia de Cienfuegos cuenta con 2 estaciones meteorológicas: Estación Meteorológica Cienfuegos (22° 11' 10") (80° 26' 40") y Estación Meteorológica Aguada de Pasajero (22° 22' 25") (80° 49' 35"), de las que se escoge la estación Meteorológica de Cienfuegos por la asequibilidad de los datos. Se consideraron para el estudio las temperaturas máximas, temperaturas mínimas y temperaturas medias diarias desde el 2005 al 2017.

Es importante destacar que ambas estaciones de Cienfuegos recopilan variables en régimen tri-horario y diarios. Las variables que se toman una sola vez al día son la temperatura máxima y mínima, todas las otras se toman con régimen tri-horario.

Las variables se clasifican de la siguiente manera: variables medibles, variables calculadas y variables observables.

- Variables medibles:

1. Temperatura máxima.
2. Temperatura mínima.
3. Temperatura seca.
4. Temperatura húmeda.
5. Presión atmosférica.
6. Precipitación.
7. Evaporación.
8. Dirección del viento.
9. Velocidad del viento.
10. Humedad relativa.

- Variables calculadas:

1. Humedad relativa.

- Variables observables:
 1. Nubosidad (cobertura total).
 2. Nubosidad baja, media y alta.
 3. Altura nubes bajas.
 4. Visibilidad.
 5. Fenómenos atmosféricos.

2.2. Selección y aplicación de los métodos de cálculo.

De los métodos expuestos en el capítulo anterior se proponen para el desarrollo de la investigación los métodos Hitchin, Erbs y Schoenau-Kehrig en función de la disponibilidad de los datos meteorológicos para la ciudad de Cienfuegos ofertados por el Centro Meteorológico Provincial.

Para el cálculo de los Grados Días de enfriamiento se confeccionó una aplicación en Microsoft Excel con los tres métodos seleccionados, obteniéndose los valores diarios y mensuales de dicha variable en función de una temperatura base especificada.

Los epígrafes siguientes muestran los resultados obtenidos, ejemplificando a partir de una muestra de enero del año 2013.

2.2.1. Aplicación del método de Erbs.

Tabla 2. Hoja de resultados de los Grados Días según el método de Erbs.

Día	T min	T max	T _{ed}	Tb	T _v	Dm	a	h	Z _m	GDm	T _v	1.24
1	19.7	29.1	25.70	20	1.24	30	1.70	2.03	2.80	5.70		
2	18	30	25.70	20	1.24	30	2.40	1.44	2.80	11.41		
3	19.4	30.1	25.70	20	1.24	30	2.94	1.17	2.80	17.11		
4	20	30.4	25.70	20	1.24	30	3.40	1.02	2.80	22.82		
5	21	31	25.70	20	1.24	30	3.80	0.91	2.80	28.52		
6	21	30	25.70	20	1.24	30	4.16	0.83	2.80	34.22		
7	19	29	25.70	20	1.24	30	4.49	0.77	2.80	39.93		
8	21	32	25.70	20	1.24	30	4.80	0.72	2.80	45.63		
9	22	32	25.70	20	1.24	30	5.09	0.68	2.80	51.34		
10	21.7	31	25.70	20	1.24	30	5.37	0.64	2.80	57.04		
11	21	30	25.70	20	1.24	30	5.63	0.61	2.80	62.74		
12	20.5	30	25.70	20	1.24	30	5.88	0.59	2.80	68.45		
13	19.7	30	25.70	20	1.24	30	6.12	0.56	2.80	74.15		
14	17	30	25.70	20	1.24	30	6.35	0.54	2.80	79.86		
15	18.6	29.4	25.70	20	1.24	30	6.58	0.53	2.80	85.56		
16	18.9	30	25.70	20	1.24	30	6.79	0.51	2.80	91.26		
17	18	30	25.70	20	1.24	30	7.00	0.49	2.80	96.97		
18	20	25	25.70	20	1.24	30	7.20	0.48	2.80	102.67		
19	17.9	29.1	25.70	20	1.24	30	7.40	0.47	2.80	108.38		
20	19.9	29	25.70	20	1.24	30	7.59	0.46	2.80	114.08		
21	19	29	25.70	20	1.24	30	7.78	0.44	2.80	119.79		
22	20.5	29	25.70	20	1.24	30	7.96	0.43	2.80	125.49		
23	18.8	28	25.70	20	1.24	30	8.14	0.42	2.80	131.19		
24	18.6	27	25.70	20	1.24	30	8.32	0.42	2.80	136.90		
25	16.5	27	25.70	20	1.24	30	8.49	0.41	2.80	142.60		
26	20	27	25.70	20	1.24	30	8.66	0.40	2.80	148.31		
27	21	29.1	25.70	20	1.24	30	8.82	0.39	2.80	154.01		
28	21.9	30	25.70	20	1.24	30	8.98	0.38	2.80	159.71		
29	21	29	25.70	20	1.24	30	9.14	0.38	2.80	165.42		
30	17.9	30	25.70	20	1.24	30	9.30	0.37	2.80	171.12		
31	17.8	30	25.70	20	1.24	30	9.45	0.37	2.80	176.83		

Según el método de Erbs el valor de Grados Días de enfriamiento para este mes de enero del 2013 fue de 176.83.

2.2.2. Aplicación del método de Hitchin.

Tabla 3. Hoja de resultados de los Grados Días según el método de Hitchin.

Mes	Día	T min	T max	T _{ed}	Tb	Desviacion	k	ΔT_m	Nm	GDm
1	1	19.7	29.1	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	5.70
1	2	18	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	11.41
1	3	19.4	30.1	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	17.11
1	4	20	30.4	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	22.81
1	5	21	31	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	28.52
1	6	21	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	34.22
1	7	19	29	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	39.92
1	8	21	32	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	45.63
1	9	22	32	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	51.33
1	10	21.7	31	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	57.03
1	11	21	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	62.74
1	12	20.5	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	68.44
1	13	19.7	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	74.14
1	14	17	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	79.85
1	15	18.6	29.4	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	85.55
1	16	18.9	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	91.25
1	17	18	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	96.96
1	18	20	25	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	102.66
1	19	17.9	29.1	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	108.36
1	20	19.9	29	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	114.07
1	21	19	29	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	119.77
1	22	20.5	29	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	125.47
1	23	18.8	28	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	131.18
1	24	18.6	27	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	136.88
1	25	16.5	27	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	142.58
1	26	20	27	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	148.29
1	27	21	29.1	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	153.99
1	28	21.9	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	159.69
1	29	21	29	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	165.40
1	30	17.9	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	171.10
1	31	17.8	30	25.70	20	1.24	2.01	5.70	30	176.80

Según el método de Hitchin el valor de Grados Días de enfriamiento para este mes de enero del 2013 fue de 176.80

2.2.3. Aplicación del método de Schoenau-Kehrig.

Tabla 4. Hoja de resultados de los Grados Días según el método de Schoenau-Kehrig.

Día	T max	Tm	T min	Tb	od	Zb,c	F(Z _b)	F(Z _p)	GDm
1	29.1	25.70	19.7	20	1.24	4.59	1.00	1	6.95
2	30	25.70	18	20	1.24	4.59	1.00	1	13.89
3	30.1	25.70	19.4	20	1.24	4.59	1.00	1	20.84
4	30.4	25.70	20	20	1.24	4.59	1.00	1	27.78
5	31	25.70	21	20	1.24	4.59	1.00	1	34.73
6	30	25.70	21	20	1.24	4.59	1.00	1	41.68
7	29	25.70	19	20	1.24	4.59	1.00	1	48.62
8	32	25.70	21	20	1.24	4.59	1.00	1	55.57
9	32	25.70	22	20	1.24	4.59	1.00	1	62.51
10	31	25.70	21.7	20	1.24	4.59	1.00	1	69.46
11	30	25.70	21	20	1.24	4.59	1.00	1	76.41
12	30	25.70	20.5	20	1.24	4.59	1.00	1	83.35
13	30	25.70	19.7	20	1.24	4.59	1.00	1	90.30
14	30	25.70	17	20	1.24	4.59	1.00	1	97.24
15	29.4	25.70	18.6	20	1.24	4.59	1.00	1	104.19
16	30	25.70	18.9	20	1.24	4.59	1.00	1	111.14
17	30	25.70	18	20	1.24	4.59	1.00	1	118.08
18	25	25.70	20	20	1.24	4.59	1.00	1	125.03
19	29.1	25.70	17.9	20	1.24	4.59	1.00	1	131.98
20	29	25.70	19.9	20	1.24	4.59	1.00	1	138.92
21	29	25.70	19	20	1.24	4.59	1.00	1	145.87
22	29	25.70	20.5	20	1.24	4.59	1.00	1	152.81
23	28	25.70	18.8	20	1.24	4.59	1.00	1	159.76
24	27	25.70	18.6	20	1.24	4.59	1.00	1	166.71
25	27	25.70	16.5	20	1.24	4.59	1.00	1	173.65
26	27	25.70	20	20	1.24	4.59	1.00	1	180.60
27	29.1	25.70	21	20	1.24	4.59	1.00	1	187.54
28	30	25.70	21.9	20	1.24	4.59	1.00	1	194.49
29	29	25.70	21	20	1.24	4.59	1.00	1	201.44
30	30	25.70	17.9	20	1.24	4.59	1.00	1	208.38
31	30	25.70	17.8	20	1.24	4.59	1.00	1	215.33
	od	1.24							

Según el método de Schoenau-Kehrig el valor de Grados Días de enfriamiento para este mes de enero del 2013 fue de 215.33.

2.2.4. Comparación de los tres métodos según el error.

Tabla 6. Comparación entre el método de Hitchin y Erbs.

Hitchin	Erbs	
DDm	GDme	Diferencias
5.70	5.70	0.00
11.41	11.41	0.00
17.11	17.11	0.00
22.81	22.82	0.00
28.52	28.52	0.00
34.22	34.22	0.00
39.92	39.93	0.01
45.63	45.63	0.01
51.33	51.34	0.01
57.03	57.04	0.01
62.74	62.74	0.01
68.44	68.45	0.01
74.14	74.15	0.01
79.85	79.86	0.01
85.55	85.56	0.01
91.25	91.26	0.01
96.96	96.97	0.01
102.66	102.67	0.01
108.36	108.38	0.01
114.07	114.08	0.02
119.77	119.79	0.02
125.47	125.49	0.02
131.18	131.19	0.02
136.88	136.90	0.02
142.58	142.60	0.02
148.29	148.31	0.02
153.99	154.01	0.02
159.69	159.71	0.02
165.40	165.42	0.02
171.10	171.12	0.02
176.80	176.83	0.02

Tabla 7. Comparación entre el método de Schoenau-Kehrig y Erbs.

Sch-Keh	Erbs	
DDm	GDme	Diferencias
6.95	5.70	1.24
13.89	11.41	2.48
20.84	17.11	3.73
27.78	22.82	4.97
34.73	28.52	6.21
41.68	34.22	7.45
48.62	39.93	8.69
55.57	45.63	9.94
62.51	51.34	11.18
69.46	57.04	12.42
76.41	62.74	13.66
83.35	68.45	14.90
90.30	74.15	16.15
97.24	79.86	17.39
104.19	85.56	18.63
111.14	91.26	19.87
118.08	96.97	21.11
125.03	102.67	22.36
131.98	108.38	23.60
138.92	114.08	24.84
145.87	119.79	26.08
152.81	125.49	27.32
159.76	131.19	28.57
166.71	136.90	29.81
173.65	142.60	31.05
180.60	148.31	32.29
187.54	154.01	33.53
194.49	159.71	34.78
201.44	165.42	36.02
208.38	171.12	37.26
215.33	176.83	38.50

Tabla 5. Comparación entre el método de Schoenau-Kehrig y Hitchin.

Hitchin	Sch-Keh	
DDm	DDm	Diferencias
5.70	6.95	1.24
11.41	13.89	2.49
17.11	20.84	3.73
22.81	27.78	4.97
28.52	34.73	6.21
34.22	41.68	7.46
39.92	48.62	8.70
45.63	55.57	9.94
51.33	62.51	11.19
57.03	69.46	12.43
62.74	76.41	13.67
68.44	83.35	14.91
74.14	90.30	16.16
79.85	97.24	17.40
85.55	104.19	18.64
91.25	111.14	19.88
96.96	118.08	21.13
102.66	125.03	22.37
108.36	131.98	23.61
114.07	138.92	24.86
119.77	145.87	26.10
125.47	152.81	27.34
131.18	159.76	28.58
136.88	166.71	29.83
142.58	173.65	31.07
148.29	180.60	32.31
153.99	187.54	33.56
159.69	194.49	34.80
165.40	201.44	36.04
171.10	208.38	37.28
176.80	215.33	38.53

En las tablas 5, 6 y 7 se muestra el análisis comparativo entre los tres métodos, donde se puede mostrar claramente que los dos métodos que presentan menos diferencia entre sí son los de Hitchin y Erbs.

2.2.4.1. Comparación gráfica entre los diferentes métodos.

La figura 1 muestra una comparación entre los resultados obtenidos por los métodos seleccionados en tres meses diferentes (enero, abril y septiembre), representativos de diferentes condiciones climáticas.

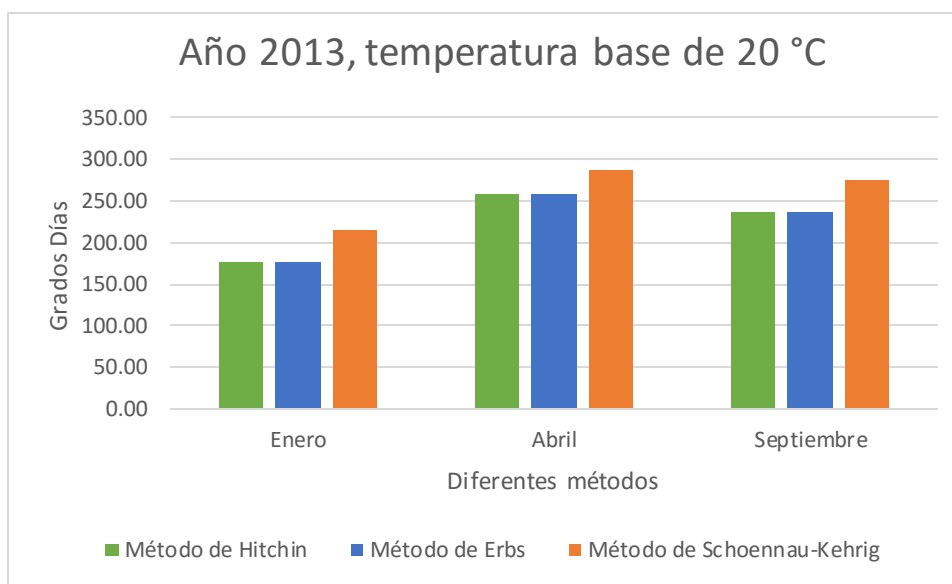


Figura 1. Gráfica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados Días y su comportamiento en los meses de enero, abril y septiembre del 2013.

Como era previsible en la gráfica puede apreciarse que los mayores valores de Grados Días corresponden a los meses de abril y septiembre.

En cuanto a los resultados obtenidos por los tres métodos objetos de estudio, se corrobora que los de Hitchin y Erbs son los que presentan menor diferencia entre sí y por tanto resultan más adecuados.

Para comprobar si este comportamiento ha sido estable en el tiempo, se muestran a continuación gráficas obtenidas para los años 2008 y 2017, considerando de igual manera como referencia los meses de enero, abril y septiembre.

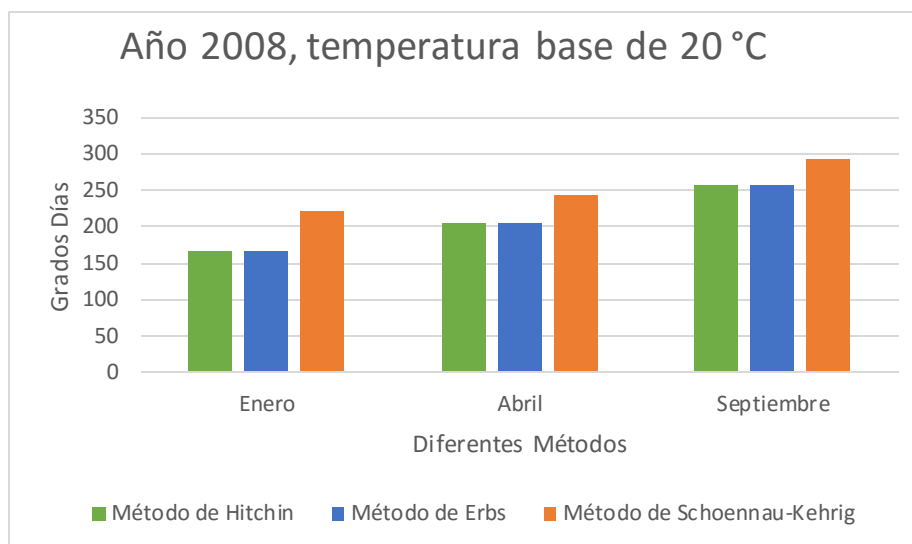


Figura 3. Grafica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados días y comportamiento de los Grados Días en los meses de enero, abril y septiembre del 2008.

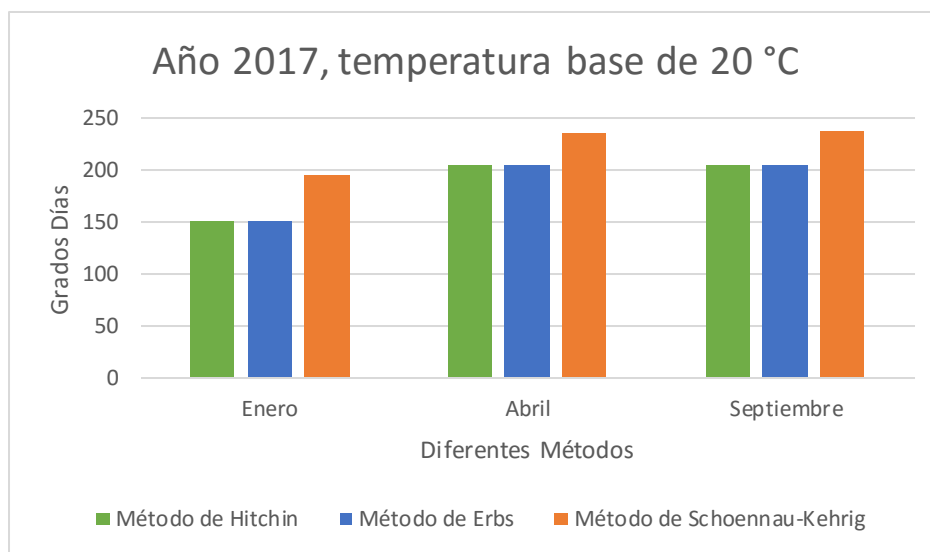


Figura 2. Grafica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados días y comportamiento de los Grados Días en los meses de enero, abril y septiembre del 2017.

2.3. Influencia de la temperatura base.

En el capítulo I se refiere que la temperatura base es la temperatura de referencia que se utiliza para el cálculo de los Grados Días y se define como aquella la temperatura exterior a la que los sistemas de calentamiento (o enfriamiento), no necesitan utilizarse con el fin de mantener condiciones de confort (G. J, 1990).

En la literatura especializada pueden encontrarse estudios que utilizan diferentes temperaturas base para el cálculo de los Días Grado de enfriamiento, que generalmente varían en un rango entre 18 y 22 °C, considerando una temperatura de confort en los locales climatizados de 24 °C.

Para analizar la influencia de esta variable en los resultados obtenidos se realizaron cálculos para la ciudad de Cienfuegos en el periodo 2005-2017, los que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Promedio de Grados Días de enfriamiento a diferentes temperaturas bases.

Promedio de los Grados Días del periodo 2005-2017					
Meses \ TB	18 °C	19 °C	20 °C	21 °C	22 °C
DG enero	175.9	146.6	118.4	91.6	66.4
DG febrero	166.2	139.8	114.2	90.0	66.8
DG marzo	215.2	184.9	154.6	124.8	96.1
DG abril	260.7	231.4	202.1	173.4	143.4
DG mayo	280.0	250.9	221.8	192.7	163.6
DG junio	312.8	282.8	252.2	223.0	193.1
DG julio	314.1	284.7	255.4	226.9	197.8
DG agosto	318.3	288.4	258.7	230.1	200.8
DG septiembre	294.4	265.6	237.2	207.3	179.0
DG octubre	273.1	242.3	211.6	180.1	150.3
DG noviembre	189.6	161.7	133.8	106.7	80.2
DG diciembre	196.1	167.1	138.8	110.7	83.6

Como puede apreciarse la influencia de la temperatura base es notable, un cambio de solo 1 °C en la misma provoca una variación de los GD calculados en más de 20 unidades en todos los meses.

De ello se infiere la necesidad de establecer la temperatura base más adecuada para la región de Cienfuegos.

2.4. 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 ello se utilizan diferentes métodos, entre ellos el método gráfico-analítico que consiste en determinar la misma mediante la relación que existe entre los consumos de energía y los Grados Días por medio de 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.).

El coeficiente (α') determina cual es la temperatura base real, porque a medida que dicho coeficiente se acerque más a cero, más exacta será dicha temperatura, siempre y cuando exista una alta correlación entre los consumos de energía y los Grados Días. (Broche, 2016)

En este estudio se utilizan datos de 4 instalaciones del municipio de Cienfuegos con alto consumo energético debido a la climatización, los hoteles Pasacaballo, Punta La Cueva, Faro Luna y La Unión, cuyos resultados se muestran a continuación.

2.4.1. Determinación de la temperatura base para el hotel Pasacaballo.

Tabla 9. Consumos energéticos del hotel Pasacaballo del año 2011-2017.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Consumo (Kw*h)	67101.29	68894.43	78810.85	95777.86	94318.71	94912.43	109688.71	129544.57	93625.29	92768.14	84749.71	81693.43

Tabla 10. Grados Días para distintas temperaturas bases del año 2011-2017 para el hotel Pasacaballo.

Tb (°C)	18	19	20	21	22
Meses	GD (K*día)	GD (K*día)	GD (K*día)	GD (K*día)	GD (K*día)
Enero	180.54	150.47	121.66	94.21	68.26
Febrero	173.10	145.79	119.53	94.67	70.84
Marzo	218.14	187.29	156.43	125.79	96.40
Abril	270.71	240.71	210.71	181.84	150.71
Mayo	290.61	259.61	228.53	197.61	166.61
Junio	305.47	275.47	244.23	215.47	185.47
Julio	329.96	298.96	266.83	236.96	205.96
Agosto	331.60	300.60	268.09	238.60	207.60
Septiembre	292.69	263.54	234.40	203.86	176.11
Octubre	261.67	230.81	199.96	168.40	138.61
Noviembre	190.91	161.20	131.19	102.41	74.16
Diciembre	186.94	157.64	128.87	100.60	73.14

Estos consumos energéticos del hotel Pasacaballo desde el 2011 al 2017 son los promedios para estos meses durante estos años. Al igual se calculó los promedios de Grados Días desde el 2011 al 2017 por diferentes temperaturas bases en todos los meses.

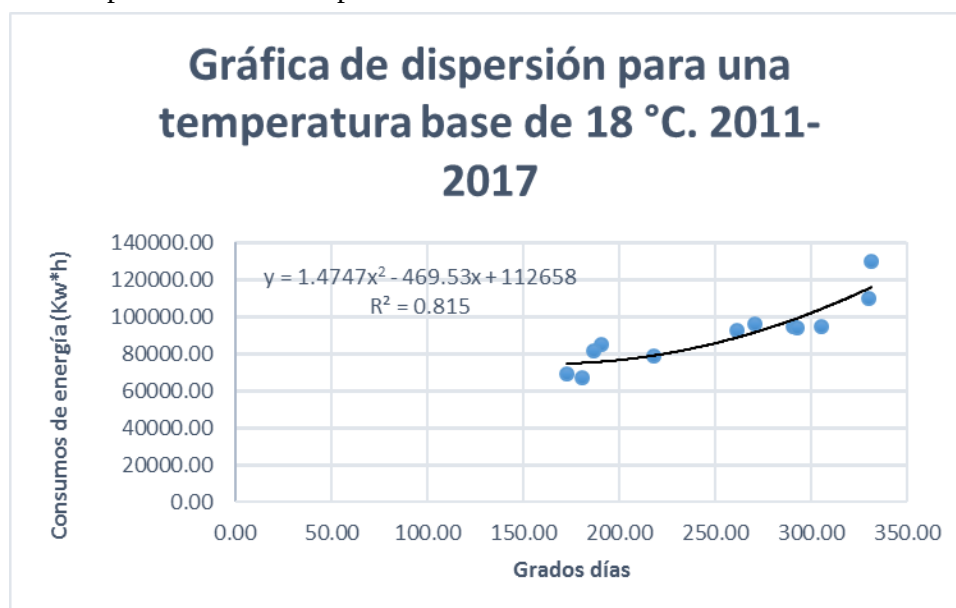


Figura 4. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 18 °C en Pasacaballo.

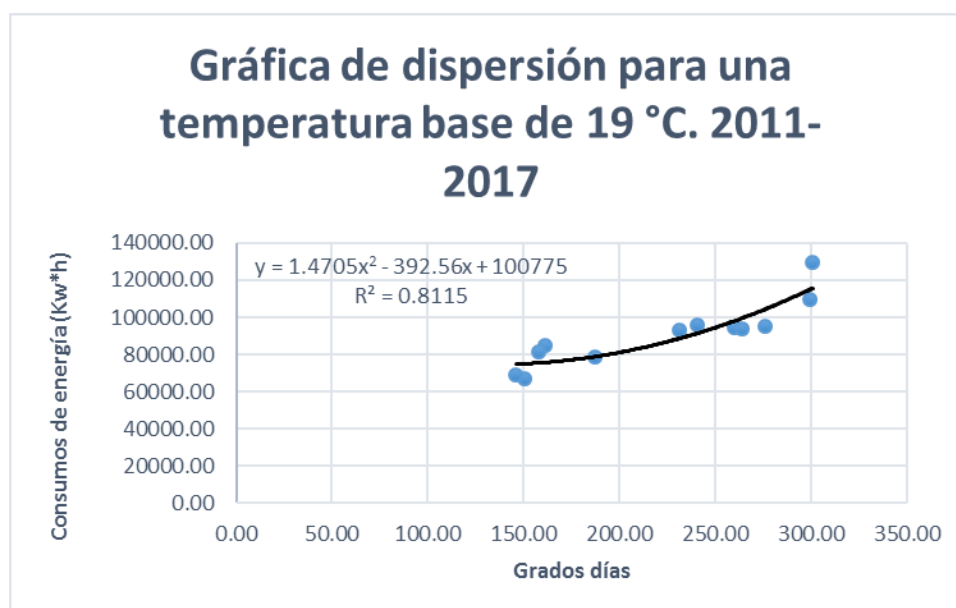


Figura 5. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 19 °C en Pasacaballo.

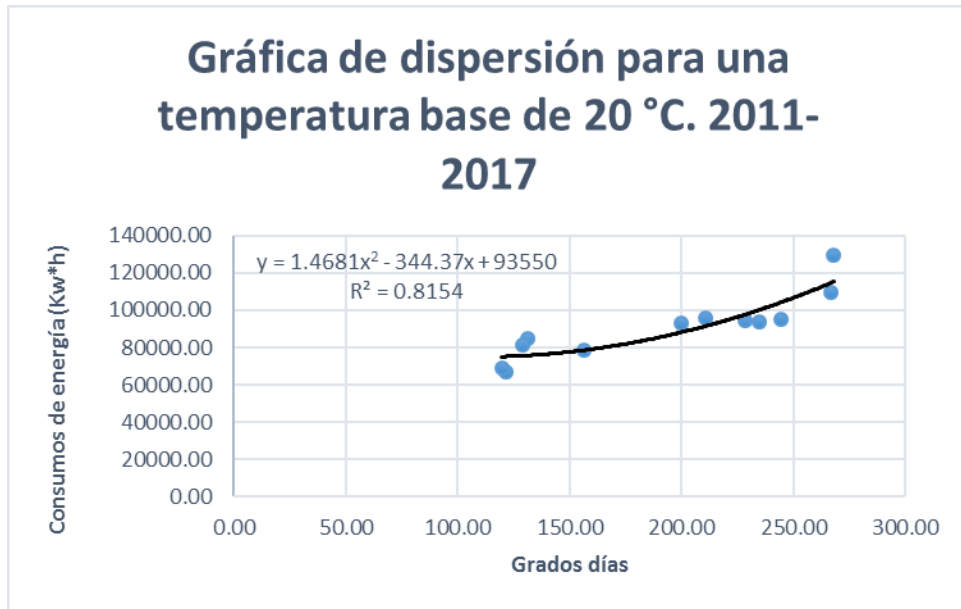


Figura 6. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 20 °C en Pasacaballo.

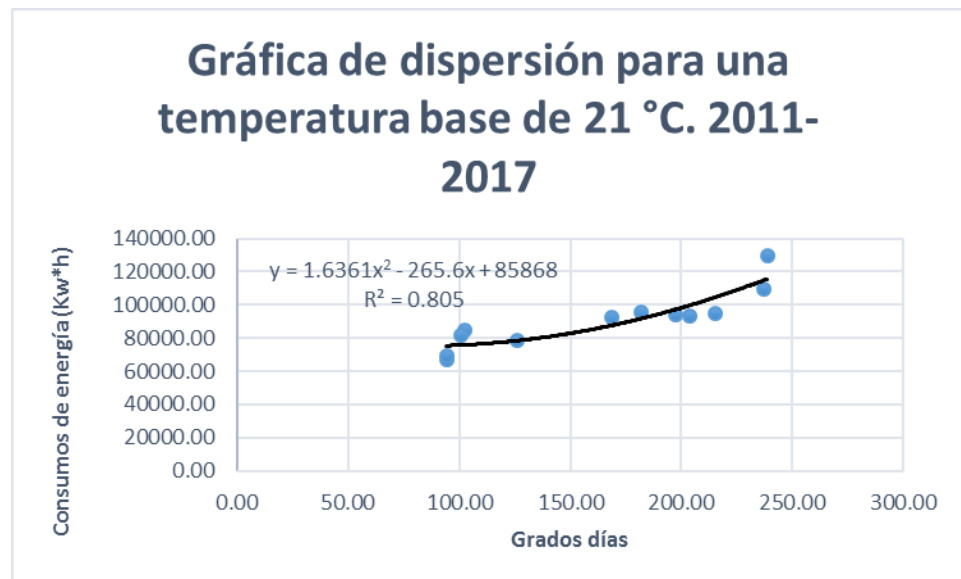


Figura 7. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 21 °C en Pasacaballo.

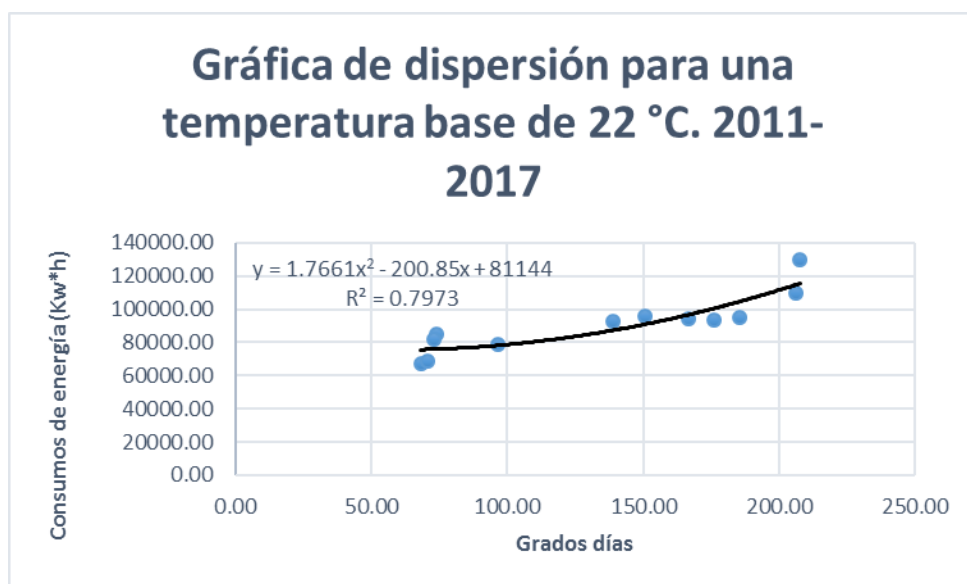


Figura 8. Gráfico de dispersión para una temperatura base de 22 °C en Pasacaballo.

Según las ecuaciones siguientes de los diferentes gráficos de dispersión de las temperaturas bases escogidas se llega a la conclusión de que la temperatura base ideal para la región de Pasacaballo es de 20 °C ya que este tiene el coeficiente (α') de menor valor y están en correspondencia con el R_2 calculado.

Tabla 11. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de Pasacaballo a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.

Temp. Bases	Ecuaciones Polinómicas	R^2
18 °C	$y = 1.4747x^2 - 469.53x + 112658$	0.815
19 °C	$y = 1.4705x^2 - 392.56x + 100775$	0.8115
20 °C	$y = 1.4681x^2 - 344.37x + 93550$	0.8154
21 °C	$y = 1.6361x^2 - 265.6x + 85868$	0.805
22 °C	$y = 1.7661x^2 - 200.85x + 81144$	0.7973

2.4.2. Determinación de la temperatura base para el resto de los hoteles.

Algo similar ocurre para los hoteles Punta la Cueva, Faro Luna y La Unión, cuyas ecuaciones polinómicas resultantes se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 12. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de Punta la Cueva a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.

Temp. Bases	Ecuaciones Polinómicas	R^2
18 °C	$y = -0.1904x^2 + 238.28x - 17591$	0.9811
19 °C	$y = -0.1671x^2 + 214.06x - 8897.8$	0.9768
20 °C	$y = -0.0749x^2 + 166.49x + 1162.6$	0.9696
21 °C	$y = -0.1235x^2 + 175.68x + 5193$	0.9659
22 °C	$y = -0.115x^2 + 166.07x + 10443$	0.9593

Tabla 13. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de Faro Luna a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.

Temp. Bases	Ecuaciones Polinómicas	R^2
18 °C	$y = -0.486x^2 + 251.66x - 14497$	0.671
19 °C	$y = -0.5016x^2 + 230.45x - 8372.5$	0.6715
20 °C	$y = -0.4793x^2 + 240.52x - 5982.3$	0.6772
21 °C	$y = -0.5332x^2 + 182.62x + 2489.7$	0.6712
22 °C	$y = -0.5531x^2 + 157.58x + 6905.9$	0.6703

Tabla 14. Ecuaciones polinómicas resultantes de los gráficos de dispersión de La Unión a diferentes temperaturas bases para el 2011-2017.

Temp. Bases	Ecuaciones Polinómicas	R^2
18 °C	$y = 0.3922x^2 - 169.78x + 76388$	0.777
19 °C	$y = 0.393x^2 - 146.03x + 71554$	0.7706
20 °C	$y = 0.39x^2 - 170.09x + 72112$	0.7872
21 °C	$y = 0.3961x^2 - 99.086x + 64143$	0.7562
22 °C	$y = 0.4001x^2 - 76.313x + 61581$	0.7481

2.5. Conclusiones parciales.

1. A partir de la información meteorológica disponible para la provincia de Cienfuegos se seleccionaron los datos de la Estación Meteorológica de Cienfuegos, en particular las temperaturas máximas y temperaturas mínimas diarias en el periodo 2005 al 2017.
2. Para el cálculo de los Grados Días de enfriamiento de la ciudad de Cienfuegos se confeccionó una aplicación en Microsoft Excel con 3 métodos distintos: Hitchin, Erbs y Schoenau-Kehrig.
3. La comparación de los resultados obtenidos para los Grados Días de enfriamiento permitió seleccionar el método de Hitchin por su efectividad y facilidades para el cálculo.
4. Se determinaron los Grados Días promedio mensuales para el municipio de Cienfuegos para un rango de temperaturas base desde 18°C hasta 22 °C (valores referidos en la tabla 8).
5. Aplicando el método gráfico analítico se estableció como temperatura base más adecuada para los análisis energéticos en hoteles del municipio de Cienfuegos la de 20 °C.

Capítulo # 3. Utilización de los Grados Días para la definición de IDEn en instalaciones hoteleras. Caso de estudio Hotel “Faro Luna”

Este capítulo tiene como objetivo el validar la utilización de los Grados Días de enfriamiento en la definición de un indicador de desempeño energético (IDEn) que permita evaluar, controlar y gestionar el consumo de electricidad en los hoteles a través de la implementación de sistemas de gestión energética (SGE) acordes con la NC ISO 50001: 2011.

3.1. Indicadores de desempeño energético (IDEn).

ISO 50004 y 50006 (ISO, 2012, ISO, 2014) proponen una guía para la implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión energética (SGE), y para el uso de líneas base de energía e indicadores de desempeño energético como una medida del desempeño energético.

Este estudio sigue las directrices de la etapa de planificación energética, incluidos en la implementación de un SGE en la norma ISO 50001 (ISO 2011), para definir el o los indicadores de desempeño energético (IDEn).

Para ello el estudio se desarrolla en dos etapas:

Etapas I:

Objetivo: Evaluar la eficacia del sistema actual para controlar y planificar el consumo total de energía.

Etapas II

Objetivo: Proponer un IDEn efectivo 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.

3.2. Particularidades del Hotel ‘Faro Luna’.

El Hotel Faro Luna, es una instalación perteneciente al Complejo Rancho Luna-Faro Luna de la cadena hotelera Gran Caribe. El mismo se encuentra situado a 19 km de la ciudad de Cienfuegos, Cuba y cuenta con 46 habitaciones divididas en tres módulos: A, B, C, las que cuentan con servicios climatización, con televisión por cable, mini bar y agua caliente.

Entre los principales servicios que ofrece la entidad se encuentran: restaurante buffet, snack bar, clases de buceo, buró de turismo, tienda, renta de autos y piscina. Además, el hotel posee un área recreativa y de estudio para estudiantes extranjeros.

3.2.1. Características energéticas del Hotel ‘Faro Luna’.

En el Hotel Faro Luna los principales portadores energéticos son la electricidad, el gas licuado y el diésel.

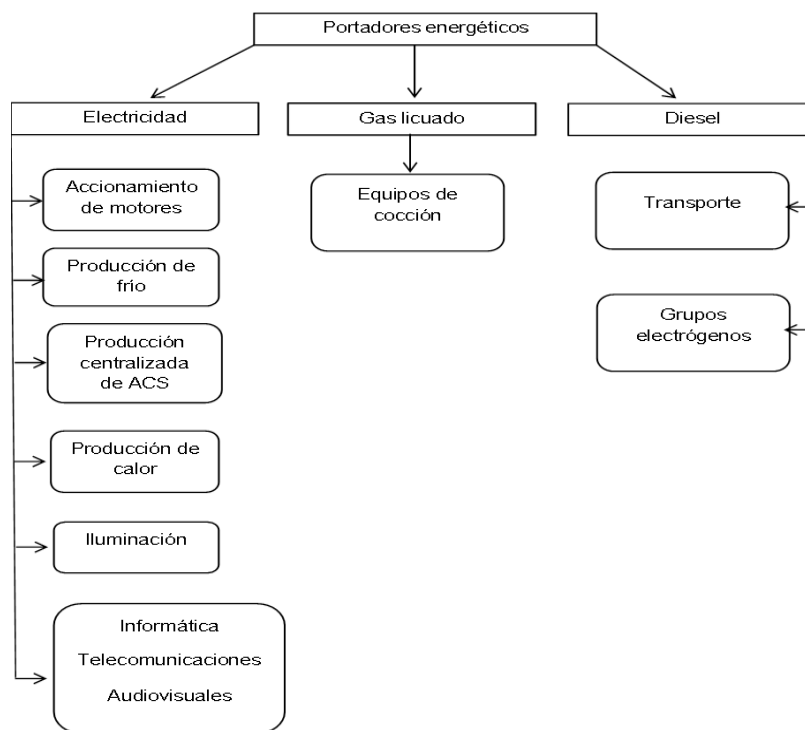


Figura 9. Diagrama de consumo de del uso de los portadores energéticos en el Hotel Faro Luna.

A partir de los datos suministrados por la gerencia del hotel, correspondientes a los años 2012-2017 se comprueba que el portador energético más importante del hotel es la electricidad (88.2 % del total), por lo tanto, se decide trabajar únicamente con este portador.

3.2.2. Análisis de los consumos de energía eléctrica y la producción en el tiempo.

Según lo establecido por el MINTUR la producción del hotel se mide como habitaciones días ocupadas, por lo que se utiliza este parámetro para el análisis siguiente.

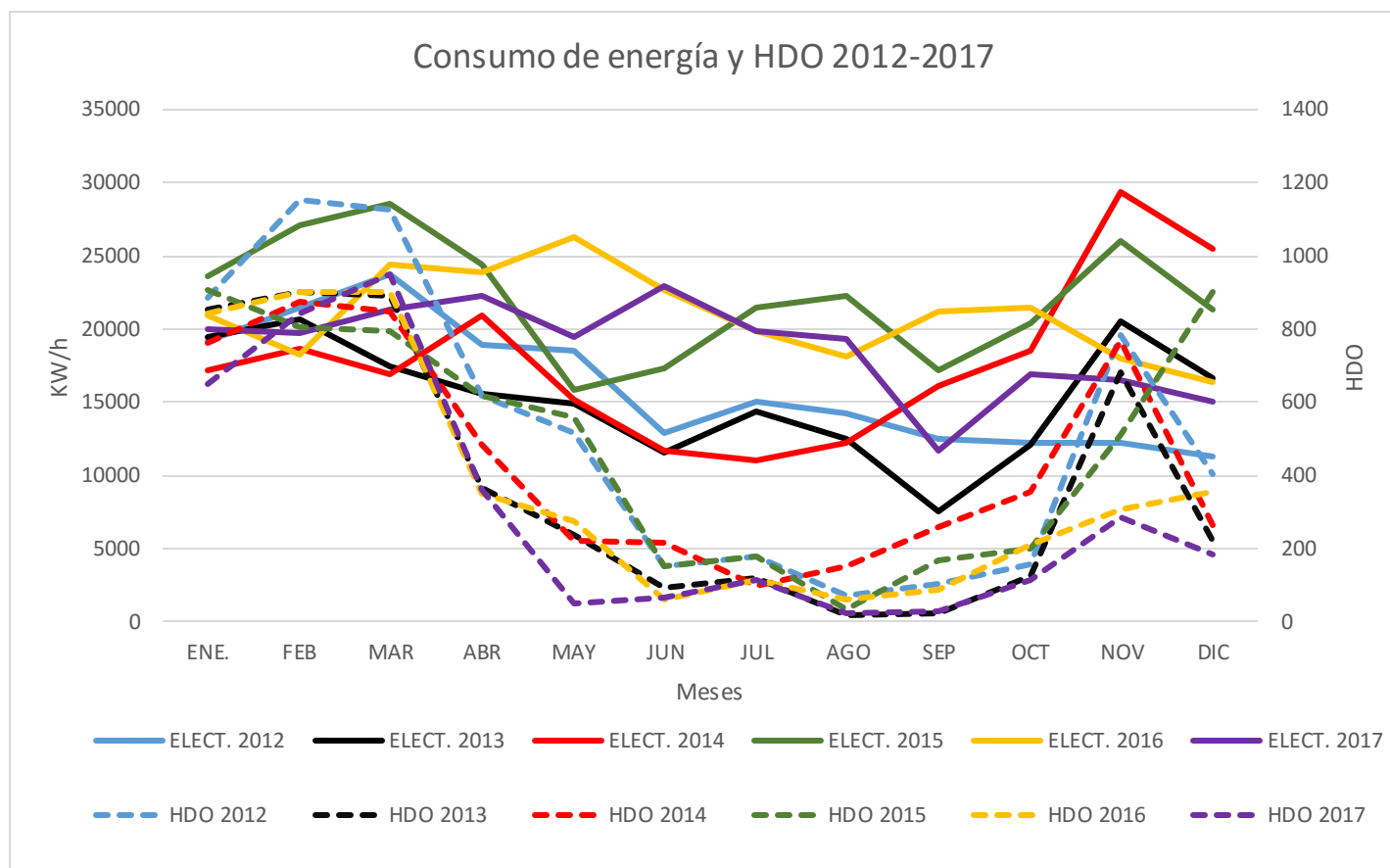


Figura 10. Consumo de energía eléctrica total y habitaciones días ocupadas (HDO) en el año 2012-2017.

3.2.3. Gráfico de dispersión de consumo de energía eléctrica vs HDO.

En el gráfico de dispersión se observa que el coeficiente de correlación entre las habitaciones días ocupadas y el consumo de energía eléctrica de modo general no cumple con las exigencias requeridas por un sistema de gestión ($R^2 > 0,75$).

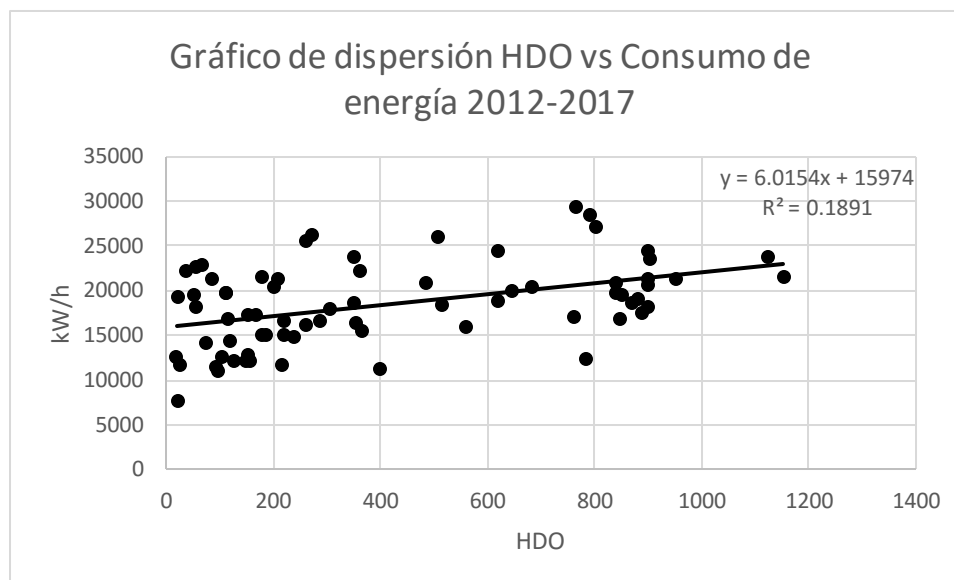


Figura 11. Gráfico de dispersión de consumo de energía eléctrica vs HDO en el año 2012-2017.

3.2.4. Propuesta del indicador de desempeño energético.

Investigaciones previas del CEEMA establecieron un nuevo indicador de desempeño energético (IDEn) para hoteles (Cabello, 2017), definido utilizando la normalización propuesta en las normas ISO 50001 y 50006 (ISO, 2011, ISO, 2014), que recomienda la introducción de variables que afectan al consumo de energía y que no están directamente relacionadas con la producción. Una de las variables recomendadas para este fin es los grados días de enfriamiento (ISO, 2011; ISO, 2014; Styles et al, 2013).

Para ello en ese estudio, el producto de las habitaciones ocupadas por los Grados Días de enfriamiento (DG) se introduce como valor de referencia para calcular el IDEn, de forma que se considera tanto la ocupación hotelera como la temperatura exterior:

$$HDG = HDD \cdot DG$$

El IDEn para este estudio es:

$$\eta_{HDG} = \frac{E}{HDG} (kWh/HDG)$$

Donde E representa el consumo de electricidad.

3.2.5. Validación del indicador utilizando los Días Grado de Cienfuegos calculados.

Para la validación del indicador en este caso se utiliza los valores de Grados Días de Cienfuegos determinados en el capítulo anterior calculados con la temperatura base de 20 °C.

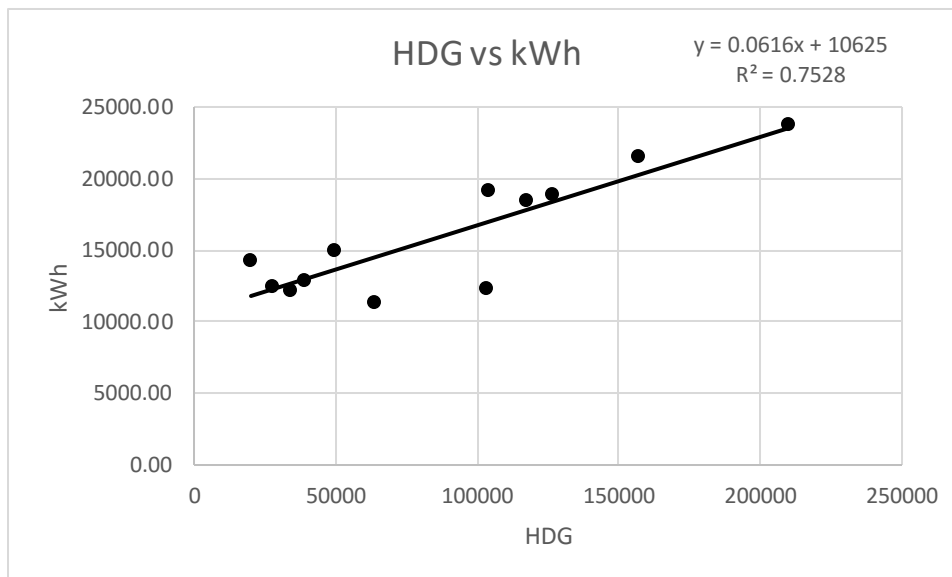


Figura 12. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2012 para una temperatura base de 20 °C.

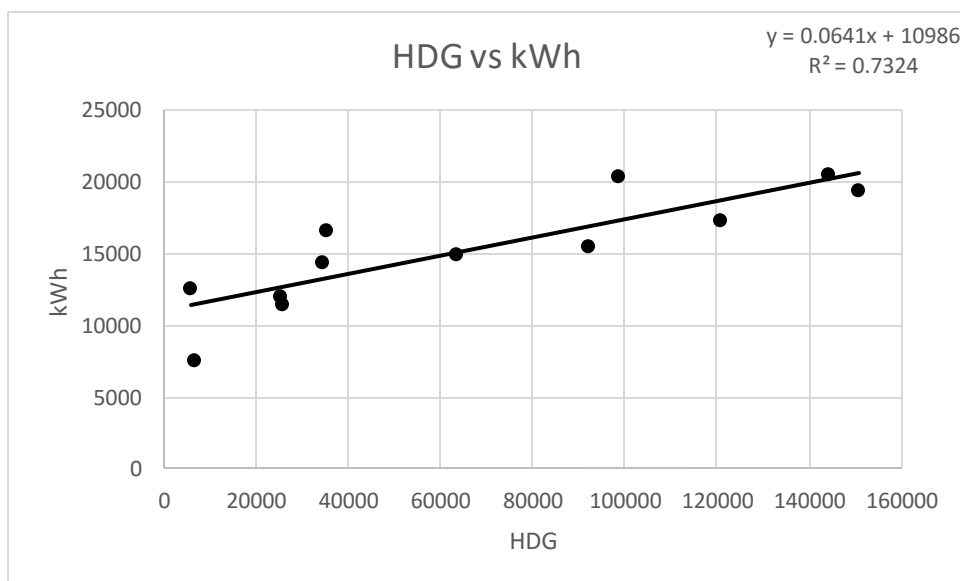


Figura 13. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2013 para una temperatura base de 20 °C.

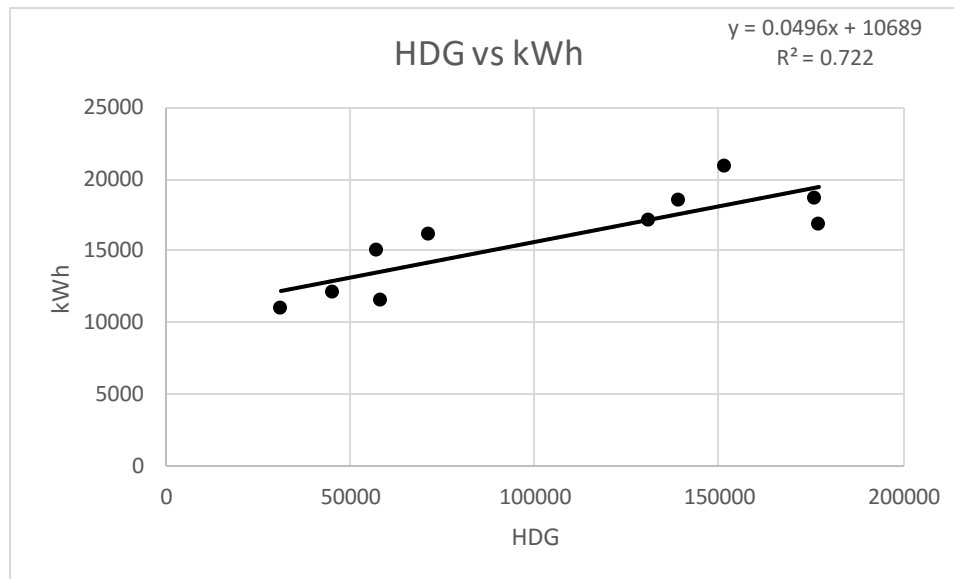


Figura 14. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2014 para una temperatura base de 20 °C.

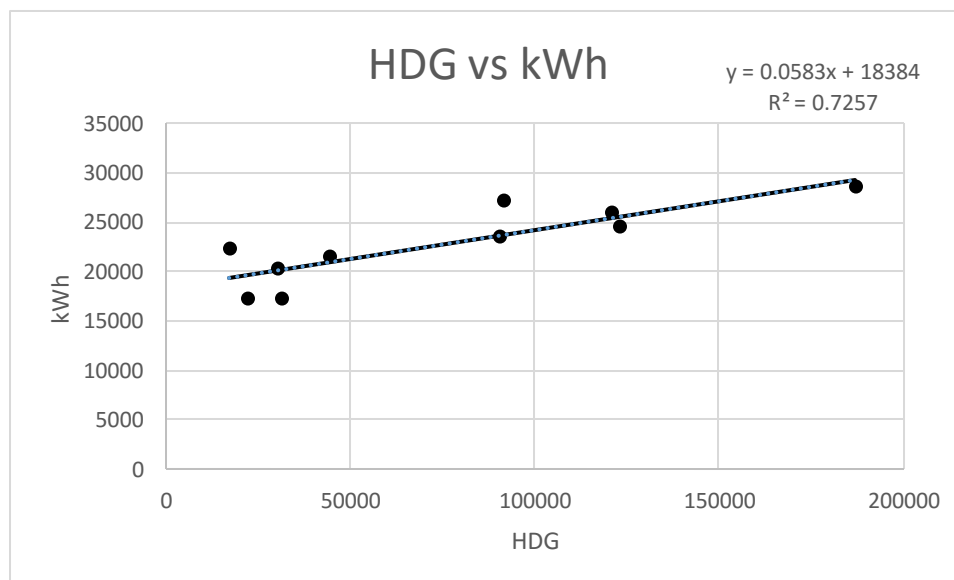


Figura 15. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2015 para una temperatura base de 20 °C.

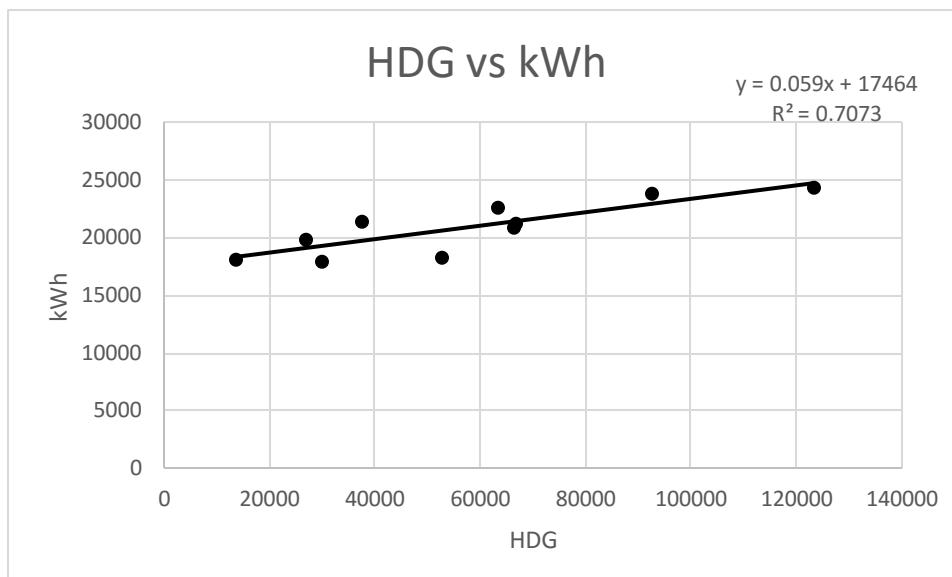


Figura 16. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2016 para una temperatura base de 20 °C.

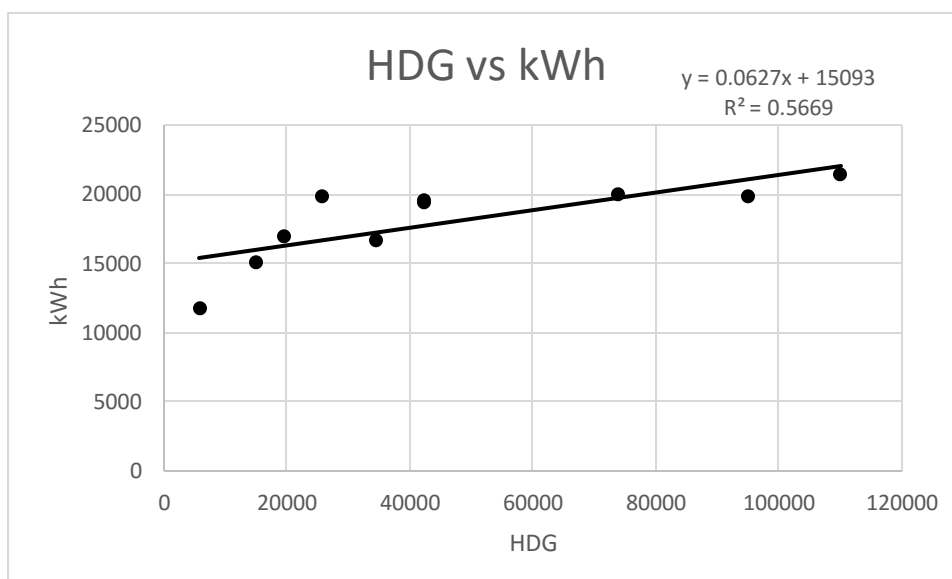


Figura 17. Muestra el análisis de correlación entre las variables que intervienen en el IDEn descrito del año 2017 para una temperatura base de 20 °C.

La tabla 15 resume los valores del coeficiente de correlación r^2 para los diferentes años. Puede observarse que en la mayoría de los años el coeficiente de correlación muestra un valor relativamente alto (r^2 muy cerca de 0,75), excepto para el año 2017 donde habría que profundizar en las causas de este deterioro del indicador.

Tabla 15. Coeficientes de correlación E vs HDG.

Años	R^2
2012	0.7528
2013	0.7324
2014	0.722
2015	0.7257
2016	0.7073
2017	0.5669

Esto corrobora la validez del cálculo el indicador de desempeño energético utilizando los Grados Días con temperatura base 20 °C calculados en este trabajo.

3.3. Conclusiones parciales.

1. Se evaluó la utilización del indicador propuesto por Cabello et al. (kWh/HGD) utilizando los Días Grado con temperatura base 20 °C calculados en este trabajo en un estudio de caso en el Hotel Faro Luna.
2. Los resultados del análisis de correlación en las condiciones del caso de estudio demuestran la validez de su utilización con estos fines.

Conclusiones.

1. En el sector de las edificaciones los estudios energéticos incluyendo los Días Grado resultan de gran utilidad, al permitir estimar el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono debido a la calefacción y la refrigeración, el monitoreo continuo del consumo de energía y el análisis energético de nuevas construcciones y de los edificios existentes, sobre la base de datos climáticos históricos.
2. Se confeccionó una aplicación en Microsoft Excel para el cálculo de los Grados Días de enfriamiento de la ciudad de Cienfuegos incorporando 3 métodos de cálculo distintos: Hitchin, Erbs y Schoenau-Kehrig, y la información meteorológica disponible de la Estación Meteorológica de Cienfuegos en el periodo 2005 al 2017.
3. Se determinaron los Grados Días promedio mensuales para el municipio de Cienfuegos para un rango de temperaturas base desde 18°C hasta 22 °C. Aplicando el método gráfico analítico se estableció como temperatura base más adecuada para los análisis energéticos en hoteles del municipio de Cienfuegos la de 20 °C.
4. El estudio de caso realizado en el Hotel Faro Luna demostró la validez de la utilización del indicador propuesto por Cabello et al. (kWh/HGD) utilizando los Días Grado con temperatura base 20 °C calculados en este trabajo.

Recomendaciones.

1. Divulgar estos resultados a los energéticos de los hoteles de la provincia para su utilización en la práctica diaria.
2. Realizar comparaciones de los resultados obtenidos con otras fuentes de información: estación meteorológica del aeropuerto, de la agricultura, etc.

Bibliografía

- Acosta. (2011). Modelo para la Predicción Energética de una Instalación Hotelera. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*(8), 309–322.
- Al-Hadhrani, L. (2013). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Saudi Arabia: Department of Mechanical Engineering and Center for Engineering Research, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia.
- Borges, D. (2011). Hacia un indicador de consumo de energía eléctrica más efectivo en hoteles del grupo Cubanacán de la provincia de Camagüey. *Ingeniería Energética*, XXXII(1), 35-42.
- Broche, R. L. (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.
- Cabello. (2016). Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. *Journal of Cleaner Production*, 803-812.
- Cabrera, O. B. (2004). *Indicadores de Eficiencia Energética en Hoteles Turísticos en Cuba*. Obtenido de <http://revistas.mes.edu.cu:9900/eduniv/03-Revistas-Cientificas/Retos-Turísticos/2004/2/41104203.pdf>
- Cabrera, O. B. (2012). *Evaluation of KWh/HDO electrical efficiency indicator in Cuban hotels facilities* (Vol. 3). Matanzas: Retos Turísticos.
- Cabrera, O. P. (2004). *Reflexiones sobre el consumo energético en el sector hotelero cubano*. Scientia et Technical, 29, 169 1 174.
- Cadars o, M. G. (s.f.). Calculating tourism's carbon foot print: meas uring the impact of investments. Obtenido de <http://dx.doi .org/10.1016/j.jcl epro.2014.09.019>.
- Freixanet, V. A. (s.f.). *Los Grados-días como herramienta de diseño bioclimático para el ahorro de energía en edificaciones*.
- Hernandez, A. F. (2005). *Métodos de los grados días. Determinación de la temperatura base para la provincia de Camaguey*. Camaguey.

- Hitchin. (1981). *Building services Engineering research and technology*. Londres.
- (2014). *implementación de un sistema de gestión de la energía con base a la norma NC ISO 50001*. Cienfuegos, Hotel la Unión.
- Kevin Baumeit and Mindy Selma. (2003). *World Resources Institute, Heating and Cooling Degree Days*.
- Landa, G. J. (2005). Correlación lineal entre el consumo de energía eléctrica y parámetros climatológicos y ocupacionales. *Revista Retos turísticos.*, 3(2), 3.
- M.J. OrtizBeviá, G. Sánchez-López, F.J. Alvarez-García, A. RuizdeElvira. (2012). *Global and Planetary Change*. Dpto Física, Edificio Ciencias, Campus, Universidad de Alcalá, Madrid, Spain: Contents lists available at SciVerse ScienceDirect.
- Mattia De Rosa, Vincenzo Bianco, Federico Scarpa, Luca A. Tagliafico. (2015). *Energy Conversion and Management*. AugERE Team, Augmentation techniques for Energy, Refrigeration and Environment, University of Genoa, DIME/TEC, Division of Thermal Energy and Environmental Conditioning.: Contents lists available at ScienceDirect.
- Molina. (septiembre/diciembre de 2017). Nuevos índices de consumo energético para hoteles tropicales. *Revista Ingeniería Energética*, XXXVIII(3), 198-207.
- Ovidio Rodríguez Santos, Oscar Cruz Fonticiella, Alfredo Leyva Céspedes. (2018). Modelo de cálculo de grados-día mensuales de enfriamiento y calentamiento con temperatura base variable, para aplicaciones energéticas. *Revista Centro Azúcar*, 94-100.
- Rodríguez, M. (2013). *gestión integrada. Aprendemos el concepto, uso y cálculo de los grados días*.
- Sánchez Ávila, J. L. (2009). Gestión integral de la Energía en un Hotel de Varadero. *Retos Turísticos.*, 8(3), 3-9.

Anexos.

Anexo 1.

	Consumo de Electricidad Pasacaballo											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2011	51140	56714	64539	95513	71630	76652	98805	109240	70131	60416	66383	61613
2012	54312	61448	72131	79560	71871	70729	93023	119107	65849	61670	53528	71794
2013	74805	59633	66379	93696	94852	87197	88598	122640	79144	73003	84979	84577
2014	46920	71842	85485	95964	86499	85607	106095	153448	92223	104408	82992	72624
2015	75261	65836	95150	87087	70426	83713	117437	115285	121311	121263	110173	97962
2016	80314	74882	107907	116869	131821	119576	142060	139149	132263	112967	90069	93549
2017	86957	91906	93110	101756	133132	140913	121803	147943	94456	115650	105124	0
	Consumo de Electricidad Punta la cueva											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2011	31263	29563	26270	30240	32246	33672	42306	40051	32786	28581	24900	21198
2012	19121	24841	29038	35030	32518	34413	35650	43932	36791	31902	24696	24565
2013	28193	25019	25313	35862	36903	40647	40920	43625	36596	37954	30412	33139
2014	26090	30057	34684	37367	39425	41074	46624	44305	39351	37813	29110	26115
2015	28098	24848	36008	41813	40424	46237	49456	47648	44154	40274	36045	38076
2016	29292	26780	34777	38226	46213	43750	41227	47031	47045	37868	30077	35666
2017	29859	32445	34718	39349	46764	47890	47302	52260	37996	35351	40126	0

Anexo 2.

	Gráfica Kwh y HDO Pasacaballo											
	Ene	feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	7480.5	5963.3	6637.893	9370	9485	8720	8860	12264	7914	7300	8498	8458
HDO	2629	1949	3389	3037	2390	1826	1212	2223	1606	1639	2392	2272
2014	4692	7184.2	8548.5	9596	8650	8561	10610	15345	9222	10441	8299	7262
HDO	1161	2363	2524	2649	2429	1944	2057	3209	1763	2688	2832	2271
2015	7526.1	6583.6	9515	8709	7043	8371	11744	11529	12131	12126	11017	9796
HDO	2585	3046	3457	2446	1703	2011	2906	2871	3352	3738	3739	2679
2016	8031.4	7488.2	10790.7	11687	13182	11958	14206	13915	13226	11297	9007	9355
HDO	3387	3810	4077	3464	3012	2776	2663	2823	3174	2772	3216	2037
2017	8695.7	9190.6	9311	10176	13313	14091	12180	14794	9446	11565	10512	0
HDO	2677	2874	3590	2806	3645	3133	2754	3155	2157			
	Gráfica Kwh y HDO Punta la cueva											
	Ene	feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	2819.3	2501.9	2531.3	3586	3690	4065	4092	4362.5	3660	3795	3041	3314
HDO	1091	1106	1209	1257	1245	1280	1263	1217	1147	1159	1195	1177
2014	2609	3005.7	3468.4	3737	3943	4107	4662	4430.5	3935	3781	2911	2612
HDO	1067	1259	1306	1302	1041	1164	1156	1174	1307	1275	1275	1224
2015	2809.8	2484.8	3600.8	4181	4042	4624	4946	4764.8	4415	4027	3605	3808
HDO	1054	1263	1418	1358	1186	1352	1423	1394	1340	1392	1328	1311
2016	2929.2	2678	3477.7	3823	4621	4375	4123	4703.1	4705	3787	3008	3567
HDO	1057	1177	1301	1284	1278	1247	1128	1354	1415	1046	1064	1104
2017	2985.9	3244.5	3471.8	3935	4676	4789	4730	5226	3800	3535	4013	0
HDO	993	1189	1478	1345	1334	1374	1200	1353	1128			