

Propuesta para la obtención de la temperatura base en hoteles mediante datos semanales

Proposal for obtaining the base temperature in hotels using weekly data

Osvaldo Fidel García Morales¹, Gabriel Roque Villalonga^{1,*}, Yanán Camaraza Medina¹

¹Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Matanzas. Autopista a Varadero, km 3¹/₂. Matanzas, Cuba.

*Autor de correspondencia: gabriel.roque@umcc.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 6 julio 2020 **Aceptado:** 23 enero 2021 **Publicado:** 26 enero 2021

Resumen

A pesar de que la temperatura base es un parámetro que cambia con el tiempo y con el edificio, aún es importante su determinación para hallar los días-grados de enfriamiento, parámetro con el que se tiene en cuenta la influencia de la temperatura en el consumo energético de los hoteles. Existen hoteles en los que es difícil determinar dicha temperatura base a partir del método tradicional de la línea de comportamiento (PLM) con datos mensuales. Por esa razón en el presente trabajo se presenta una propuesta para determinar la temperatura base de los hoteles a partir de datos semanales. El análisis se realiza para dos hoteles: El hotel A, en el que existe un nivel de ocupación elevado y poco cambiante y el hotel B, en el que existe un nivel de ocupación bajo y cambiante. Se obtiene la temperatura base para ambos hoteles y se valida la misma a través del gráfico de consumo en función de la variable habitación día ocupada equivalente (HDOeq). Se determinan tres indicadores de la bondad del ajuste de los modelos a los datos medidos, demostrándose la factibilidad de los mismos.

Palabras clave: Días-grados de enfriamiento, temperatura base, consumo eléctrico

Abstract

In spite of base temperature is a parameter that changes in time and with the building, its determination is important in order to find cooling degree-days, parameter that considers temperature influential in energy consumption in hotels. There are hotels in which it is difficult to determine the base temperature through the traditional performance line method (PLM) with monthly data, for that reason; in the present work, a new proposal to determine base temperature from weekly data is presented. The analysis is made for two hotels: hotel A, which a high-level of occupation and almost constant, and a hotel B, in which a changing and low-level occupation takes place. Base temperature is obtained for both hotels and it is validated through the graph of consumption in function of equivalent occupied room per day (HDOeq). Three indicators for goodness of fit of the predicted values against the measured values are determined, and the feasibility of their use is demonstrated.

Keywords: Cooling, degree-day, base temperature, electric consumption

1. Introducción

El sector turístico es uno de los de mayor crecimiento de la economía global, con un estimado de crecimiento de 3,3% hasta 2030. Este es un sector energéticamente intensivo que contribuye en alrededor del 5% de los gases de efecto invernadero. En algunos países los hoteles se encuentran entre los edificios de mayor consumo de energía y consecuentemente el uso eficiente de energía en los hoteles es una oportunidad no sólo para mejorar su desempeño económico, sino para disminuir su impacto ambiental [1]. Con el objetivo de equilibrar los intereses económicos y las preocupaciones ambientales, el sector turístico ha implementado varias estrategias para aumentar la eficiencia energética y reducir la generación de residuos [2].

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, 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 [3]. Por otra parte, emplear indicadores para estimar y evaluar el consumo energético (mensual o anual) sobre la base de las habitaciones/día ocupadas (HDO) como parámetro de referencia no permite detectar y mitigar rápidamente las malas prácticas y los sobreconsumos en las instalaciones del hotel, ni tampoco tienen en cuenta la influencia que ejercen los parámetros físicos como la temperatura exterior, se han desarrollado investigaciones para implementar indicadores más adecuados [1,4].

Según Craig [5] se han desarrollado grandes trabajos empíricos que demuestran que el consumo de electricidad y gas natural están fuertemente relacionados con parámetros climáticos como los días-grados de calentamiento (DGC) y los de enfriamiento (DGE). El indicador de días-grados podría ser uno de los más prácticos y simples para determinar la energía requerida de confort [6].

Convencionalmente los días-grados asumen que, como promedio de largo plazo, las ganancias internas y solares de calor coinciden con las pérdidas cuando la temperatura media diaria iguala la temperatura base y el consumo de energía es proporcional a la diferencia entre la temperatura base y la temperatura media diaria [7]. Por tanto, para la determinación de los días-grados, se necesita determinar la temperatura base. La temperatura base o de balance del edificio representa la temperatura exterior a la cual no se necesita energía auxiliar para alcanzar el confort térmico. Su determinación representa la mayor dificultad al aplicar el método de los días-grados para el enfriamiento de locales, ya que además de depender de las características térmicas del edificio, también depende de las ganancias internas y externas de calor [8].

Los procesos de transferencia de calor en edificaciones, ya sean de calefacción o climatización, aunque son tratados de forma unidimensional y estacionaria, son en realidad procesos de transferencia de calor de carácter no estacionario, y en caso de ser tratado como estacionario, producto de lograr la compensación térmica y estabilización de suministro por operación continuada de los sistemas de calefacción, no deben ser tratados como unidimensionales, porque este elemento genera despreciar importantes elementos en el transporte de calor y que poseen carácter bifásicos, sobre todo en los muros más pequeños, exteriores, y en el caso de los bordes la transmisión de calor es tridimensional. Estos elementos generan índices elevados de incertidumbre en los métodos actualmente empleados. Este elemento es el que realmente genera la dificultad en la obtención de la temperatura base y su uso en el método de los días-grados para el enfriamiento de locales [9].

Los estudios realizados sugieren que la temperatura base es altamente dependiente de las características del edificio y de las condiciones de operación. Aunque la temperatura base está caracterizada por una dependencia multivariable y por distribuciones espaciales y temporales, muy pocos estudios exhaustivos lo han evaluado. La mayoría de los estudios sobre temperatura base se centran en el promedio, con el uso de la condición función media condicional [10].

Aunque Anjomshoa [11] propone un método para la determinación de la temperatura base, basado en el ajuste de un polinomio de sexto grado y Lindelöf [12] propone un método basado en teoría de probabilidades, por lo general, en la literatura se emplean fundamentalmente dos métodos para la determinación de la temperatura base: el método de la huella energética y el método de la línea de comportamiento (PLM). Debido a que el método de la huella energética requiere contar con al menos datos diarios, el método de la línea de comportamiento es más simple y consiste en un gráfico de consumos mensuales de energía en función de los días-grados de enfriamiento. El método asume que el uso de la energía del edificio es una función lineal de los días-grados a la temperatura base correcta [8]. Este método ha sido utilizado por varios autores para la determinación de la temperatura base y sus análisis [1, 4, 13]. Sin embargo, en los hoteles no siempre existe el mismo nivel de ocupación y por tanto los sistemas de aire acondicionado estarán trabajando a cargas parciales y se afectará el consumo de energía; por esa razón hay autores que han utilizado el consumo de energía térmica obtenido por simulación [13]. Es cierto que cuando lo anterior ocurre se podrían filtrar los datos para obtener una mejor correlación, pero hay que tener en cuenta que solamente se tienen doce pares de datos.

Considerando los aspectos anteriores, en este trabajo se investiga el uso de los datos semanales para obtener la temperatura base, con el mismo método de la línea de comportamiento, pero trabajando solamente con datos donde el nivel de ocupación (HDO) sea similar.

2. Materiales y Métodos

Las HDO en un hotel es uno de los datos estadísticos que se manejan diariamente, porque son un reflejo de la intensidad del servicio que se debe prestar. Representa las habitaciones que están ocupadas cada día. Al finalizar el mes también habrá una cantidad de HDO, que serán la sumatoria de las habitaciones ocupadas que hubo cada día del mes. Los días-grados de enfriamiento o climatización (DGE) se definen como la suma de diferencias positivas entre la temperatura ambiente y una temperatura de referencia, en un período determinado.

$$DGE = \sum_1^n (\overline{T_o} - Tb) \quad (1)$$

Donde $\overline{T_o}$ es la temperatura de bulbo seco media del período y Tb la temperatura base o de referencia. Se cuenta con los datos de temperatura de bulbo seco media diaria y de consumo de electricidad diario en dos hoteles, con cuyos datos se determinaron los DGE para cada mes. Se ha aplicado el método PLM tradicional con datos mensuales para determinar la temperatura base de ambos hoteles y también aplicando los datos semanales.

En la Tabla 1 se muestran los datos que se emplearon para determinar la temperatura base con datos mensuales en ambos hoteles. Se observa que el hotel A mantiene casi constante su nivel de ocupación y el B presenta cambios importantes del mismo.

Con el empleo del Microsoft Excel, se conformó un grupo de datos de consumo de electricidad mensual y de días-grados mensuales para diferentes temperaturas base, por lo que se tiene un conjunto de días-grados por cada temperatura base. Después se ajustaron los consumos de

electricidad mensuales en función de los días-grados mensuales a un polinomio de segundo grado, repitiéndose el procedimiento para cada temperatura base. Finalmente, se seleccionó la temperatura base del polinomio que presentó el valor del término cuadrático más cercano a cero. Los resultados fueron comprobados por regresión polinómica, con el empleo del software Statgraphics Centurion V15.

Tabla 1. Datos para el método de los días-grados mensuales

Meses	Hotel A			Hotel B		
	Consumo de electricidad (kW-h)	Tam media (°C)	HDO	Consumo de electricidad (kW-h)	Tam media (°C)	HDO
Enero	438302	22,5	11922	494246	22,0	14773
Febrero	384299	23,4	11156	573875	24,8	17657
Marzo	480562	24,8	12030	638260	23,8	22724
Abril	535256	25,8	11670	695697	26,3	22256
Mayo	576891	27,3	12058	537234	25,9	11222
Junio	643514	28,3	11474	501089	28,4	8563
Julio	679279	29,3	11806	642764	29,3	9572
Agosto	706133	29,2	11153	643407	29,1	8001
Septiembre	657401	28,7	10834	566286	28,7	4933
Octubre	636481	27,5	11353	507015	27,9	5928
Noviembre	502661	25,0	11138	573549	26,7	12731
Diciembre	520863	25,7	10625	549059	24,4	16303

Con los datos diarios de consumo de electricidad, las HDO y los DGE, se determinaron los valores semanales en ambos hoteles. A los datos de HDO de ambos hoteles se le realizó un estudio de comportamiento de una variable a partir de Statgraphics y solamente se tomaron como datos las clases cuyos valores fueran cercanos con el objetivo de independizar el consumo de electricidad de esta variable y que solamente fuera dependiente de los DGE. En el hotel A no fue necesario filtrar los valores de HDO pues se comporta casi constante y en el hotel B se filtraron los valores menores a 2500 y mayores a 4000. En la Tabla 2 se presentan los datos semanales con los que se trabajó en el hotel A y en la Tabla 3 se presentan los del hotel B.

3. Resultados y Discusión

En las Figuras 1 y 2 se presentan muestras de los análisis para el hotel A. En el caso del método de los días-grados mensuales tradicional en la Figura 1 y el método aplicado a los días-grados semanal en la Figura 2.

Siguiendo las recomendaciones de varios de los autores que han trabajado el método PLM [1, 4, 8, 13], para determinar la temperatura base se ajusta un polinomio de segundo grado para los valores de consumo vs. días-grados, obtenidos para cada valor de temperatura y se escoge aquel valor de temperatura, cuyo polinomio tenga el menor coeficiente que acompaña a la variable cuadrática, ya que el método asume que el uso de la energía del edificio es una función lineal de los días-grados a la temperatura base correcta [8]. En este caso para los datos mensuales se escoge el valor de 22°C y para los datos semanales el valor de 20,8°C. Como se observa, las temperaturas base determinadas

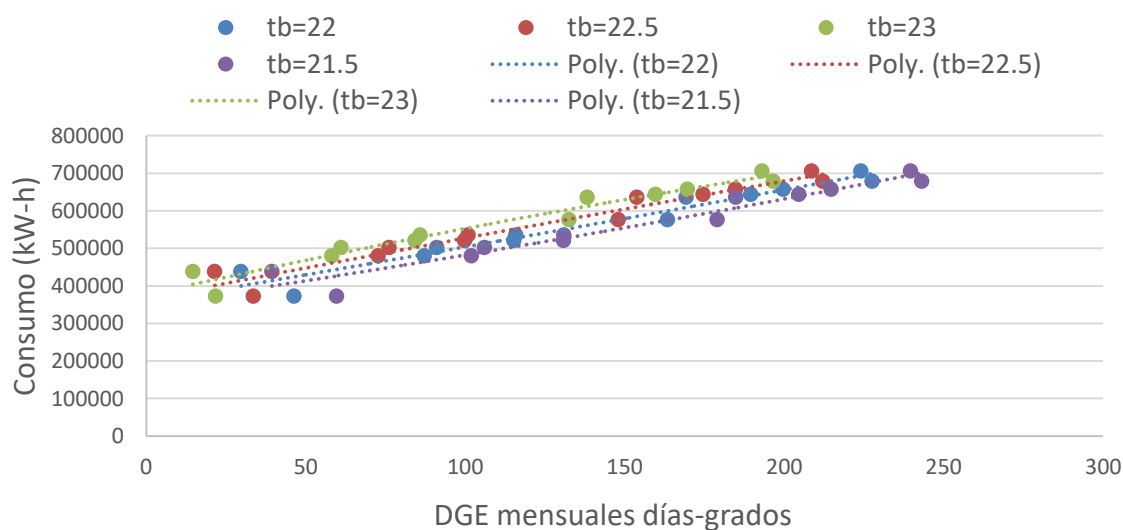
son diferentes en $1,2^{\circ}\text{C}$, lo cual se debe a inexactitudes del método que se repiten en las dos formas: Primero, se trabaja con datos empíricos de consumos y días-grados y cualquier desviación en el cálculo se refleja en el gráfico obtenido, en la correlación y por tanto en el coeficiente que acompaña a la variable cuadrática. Segundo, las semanas tomadas no fueron naturales, sino las correspondientes a los primeros 28 días de cada mes, por lo que se quedaron algunos datos fuera del análisis semanal. De todos modos, las semanas naturales tampoco se encuentran completas siempre dentro del mes. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para este hotel se puede plantear que la temperatura base se encuentra entre $20,8^{\circ}\text{C}$ y 22°C ; valores estos que se encuentran entre 19°C y 24°C , como obtuvo Wang [14], a pesar de que señala que este es un factor que varía durante el día. También Sha [15] señala que cambia de edificio a edificio y es difícil de calcular.

Tabla 2. Datos para el método de los días-grados semanales hotel A

Consumo semanal de electricidad (kW-h)	HDO semanal	Tbs media semanal ($^{\circ}\text{C}$)	Consumo Semanal de electricidad (kW-h)	HDO semanal	Tbs media semanal ($^{\circ}\text{C}$)
116424	2629	23,6	156481	2685	29,5
101729	2705	23,5	147278	2729	29,6
93522	2739	21,9	155045	2654	29,1
85285	2721	21,4	151351	2635	29,0
106463	2769	24,4	153945	2625	29,2
81618	2713	22,3	157307	2642	29,3
92791	2678	23,6	165824	2483	29,7
92336	2698	23,4	168112	2356	29,7
101349	2637	23,9	150891	2541	29,2
105305	2767	24,2	151963	2565	27,7
117790	2735	25,1	154100	2483	29,2
106236	2745	25,0	156511	2356	28,4
132276	2729	26,4	155785	2368	28,8
120285	2762	25,5	148145	2516	28,1
120216	2748	25,3	145158	2653	27,1
124736	2663	26,0	129297	2677	26,2
131908	2734	26,4	132260	2342	25,9
122188	2752	26,6	116724	2613	25,1
138511	2760	28,1	111217	2716	24,6
128185	2696	27,5	110247	2686	24,4
145893	2528	28,1	122188	2695	26,3
150330	2739	28,1	121448	2653	25,7
152550	2760	27,9	117650	2404	25,9
148936	2677	28,8	111328	1882	25,4

Tabla 3. Datos para el método de los días-grados semanales hotel B

Consumo semanal de electricidad (kW-h)	HDO semanal	Tbs media semanal (°C)	Consumo semanal de electricidad (kW-h)	HDO semanal	Tbs media semanal (°C)
117227	3953	20,8	151750	2703	29,0
124646	2661	22,2	142132	2903	27,8
91679	3054	21,4	140358	3244	26,5
110807	3675	23,6	137920	3597	25,8
136754	3894	24,9	130678	3550	25,7
147813	3608	26,3	123105	3384	24,0
134626	2708	26,2	123024	3476	23,9

**Fig.1** Método PLM tradicional para datos mensuales**Tabla 4.** Ecuaciones y coeficientes para diferentes temperaturas con datos mensuales

Temperatura	Ecuación	R ²
21,5	$y = -1,5133 \cdot x^2 + 1918,4 \cdot x + 376063$	0,9453
22,0	$y = 0,2731 \cdot x^2 + 1441,3 \cdot x + 356897$	0,9482
22,5	$y = -0,4789 \cdot x^2 + 1664,8 \cdot x + 365567$	0,952
23,0	$y = 0,7903 \cdot x^2 + 1254,7 \cdot x + 348877$	0,9563

Tabla 5. Ecuaciones y coeficientes para diferentes temperaturas con datos semanales

Temperatura	Ecuación	R ²
20,3	$y = 0,821 \cdot x^2 + 1326,5 \cdot x + 70087$	0,9297
20,8	$y = -0,0356 \cdot x^2 + 1405,9 \cdot x + 73313$	0,9305
21,6	$y = -1,9234 \cdot x^2 + 1549,6 \cdot x + 78761$	0,9327
22,0	$y = -4,0925 \cdot x^2 + 1695 \cdot x + 80860$	0,9343

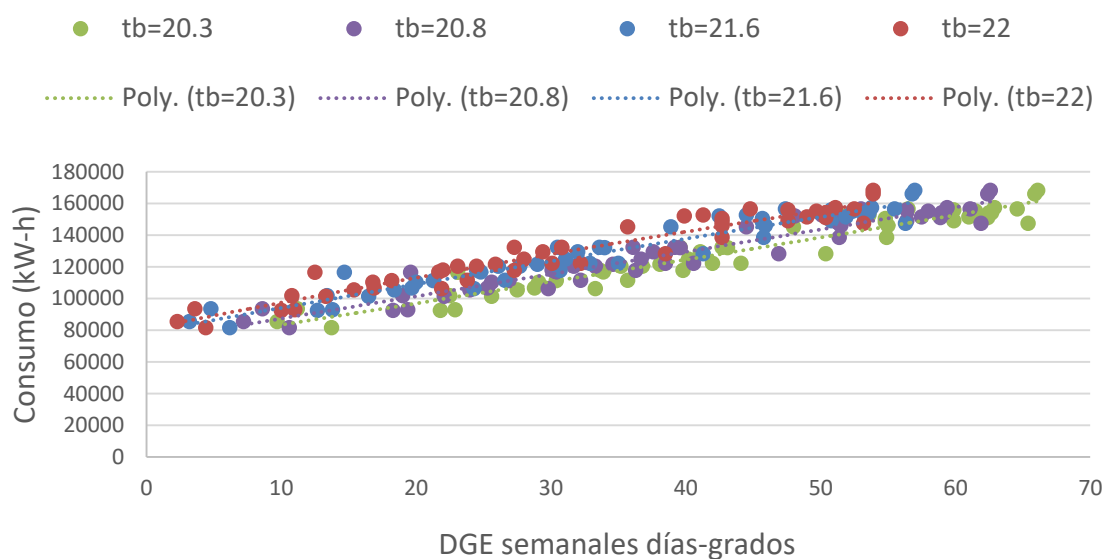


Fig.2 Método PLM aplicado a datos semanales

Como los modelos anteriores no se emplearán en la gestión de energía del hotel, sino aquellos que tienen en cuenta el nivel de ocupación y la temperatura, el resultado de la temperatura base se usará en la determinación del gráfico de consumo de energía en función de dichas variables y se obtendrán modelos a los que se le realizará el análisis estadístico. Para ello, en este caso se definió la variable habitación día ocupada equivalente (HDOeq), aspecto que han tratado algunos autores [16,17]. En este se realiza una correlación múltiple entre el consumo eléctrico, como variable dependiente y las HDO y los DGE para la temperatura base determinada, como variables independientes. Es bueno señalar que esta correlación múltiple se realiza con todos los datos mensuales o semanales, según sea el caso. Con los datos que arroja la correlación múltiple se determina la variable HDOeq, como:

$$HDOeq = HDO + (b/a)DGE \quad (2)$$

Donde:

b es el coeficiente que acompaña a los DGE en la correlación múltiple.

a es el coeficiente que acompaña la variable HDO en la correlación múltiple.

Con los valores obtenidos de HDOeq y los valores de consumo eléctrico se realiza una correlación. Se calculan tres indicadores estadísticos para analizar la bondad del ajuste de los valores predichos por el modelo a los valores medidos, al igual que Meng [18]: El coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de variación del error medio cuadrático (CV-RMSE) y el coeficiente medio normalizado del error (NMBE).

Los modelos se presentan para el hotel A en las Figuras 3 y 4, en las que se refleja para las dos formas de aplicación del método: por datos mensuales y por datos semanales. Es lógico que los coeficientes numéricos cambien, por cuanto se refieren a valores mensuales en un caso y a semanales en el otro. De todos modos, a través de ambos gráficos se puede analizar el consumo que predice el modelo en función de las habitaciones-día ocupados equivalentes, variable modificada que ya han aplicado otros autores en sus análisis.

Para el caso de los datos mensuales la ecuación de modelo obtenida es:

$$y = 2,361x + 325948 \text{ con un valor de } R^2=0,9482.$$

Para los datos semanales, la ecuación obtenida es:
 $y = 4,0776x + 62312$ con un valor de $R^2=0,9282$.

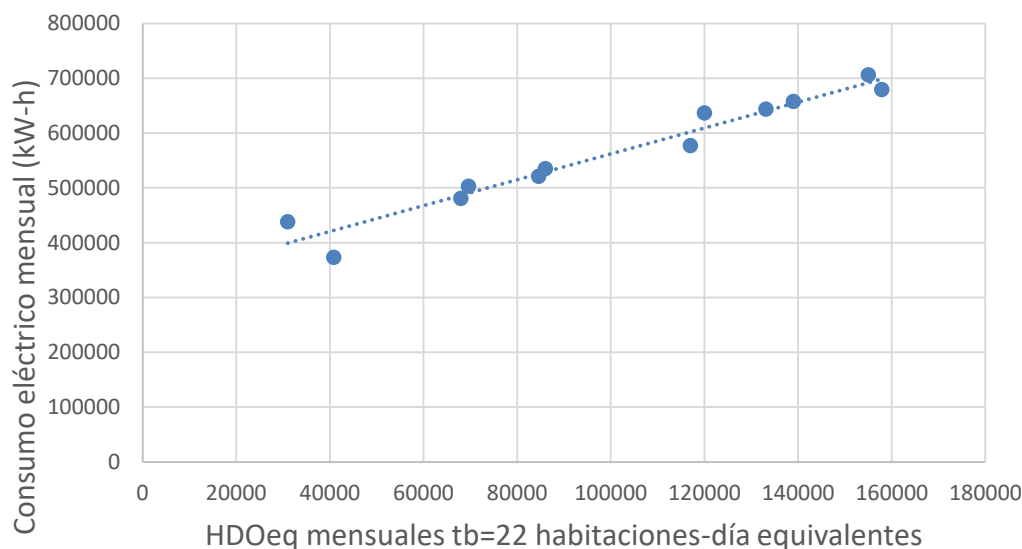


Fig.3 Consumo vs. HDOeq para datos mensuales

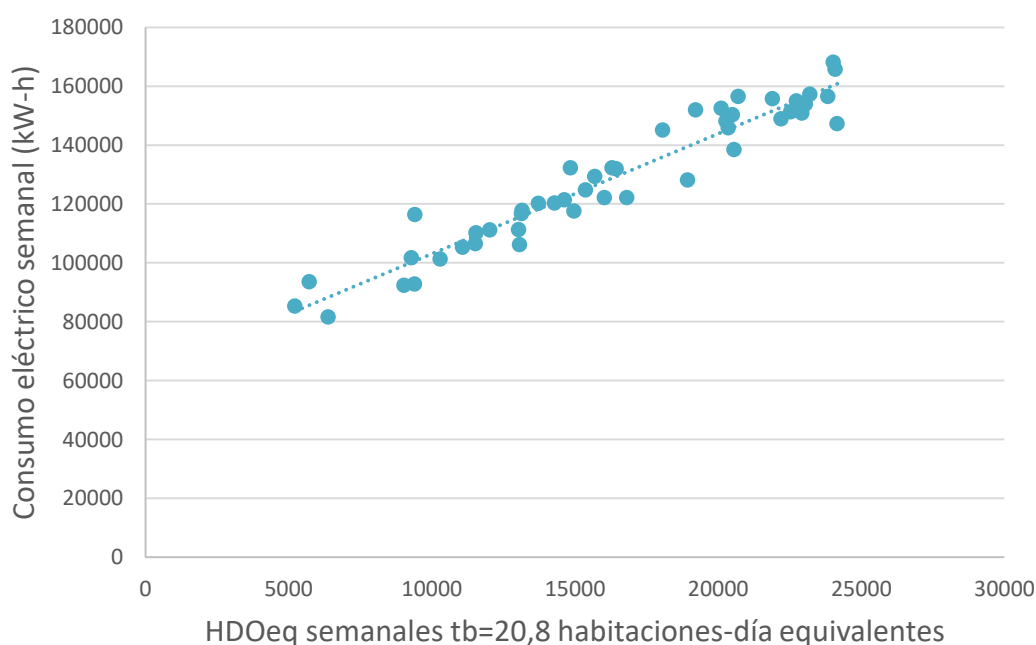


Fig.4 Consumo vs. HDOeq para datos semanales

En el caso de los datos mensuales, el modelo explica el 94,82% de la variabilidad del consumo eléctrico. En el caso de los datos semanales, el modelo explica el 92,82% de la variabilidad del consumo eléctrico; es decir, que presentan coeficientes R^2 similares a los obtenidos por otros autores [16,17]. En cuanto a los otros dos indicadores, se presentan en la Tabla 5. Como se observa, los indicadores se encuentran entre los valores aceptados por la literatura [10]. Por tanto, se puede plantear que ambos modelos son válidos para predecir el consumo en función de las HDOeq obtenidas y que en los hoteles se puede aplicar el método de obtención de la temperatura base para datos semanales, lo cual no aparece reflejado en la literatura revisada sobre el tema hasta el

momento. Tanto la determinación de la temperatura base, como el modelo de comportamiento de consumo en función de HDOeq deben realizarse para cada hotel en particular, pues es un modelo específico. En este hotel no existían grandes variaciones del nivel de ocupación y se podía obtener la temperatura base a partir de los datos mensuales sin dificultad.

Tabla 6. Índices de los modelos hotel A

Indicador	Datos mensuales	Rango aceptado	Datos semanales	Rango aceptado
CV-RMSE	4,04%	15%	4,7%	18,75%
NMBE	0,00033%	5%	0,000338%	6,25%

Para el caso del hotel B, en el que sí existen grandes variaciones del nivel de ocupación, se presentan en las Figuras 5 y 6 muestras de los análisis realizados para obtener la temperatura base. En la Figura 5 se muestra para los datos mensuales y en la Figura 6 para los datos semanales.

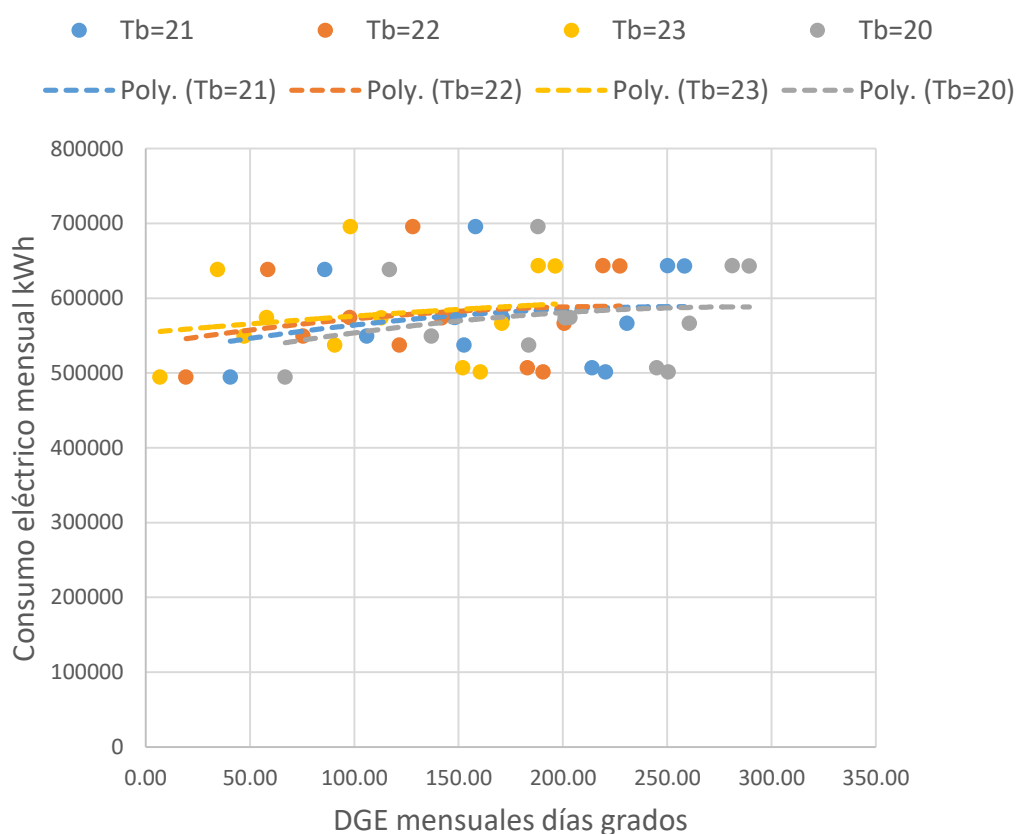


Fig.5 Método PLM tradicional para datos mensuales

Tabla 7. Ecuaciones y coeficientes para diferentes temperaturas con datos mensuales

Temperatura	Ecuación	R ²
20	$y = -0,966 \cdot x^2 + 560,26 \cdot x + 507294$	0,0509
21	$y = -0,9571 \cdot x^2 + 499,88 \cdot x + 523698$	0,0484
22	$y = -0,9339 \cdot x^2 + 439,76 \cdot x + 537719$	0,0445
23	$y = -0,2778 \cdot x^2 + 249,97 \cdot x + 553849$	0,0355

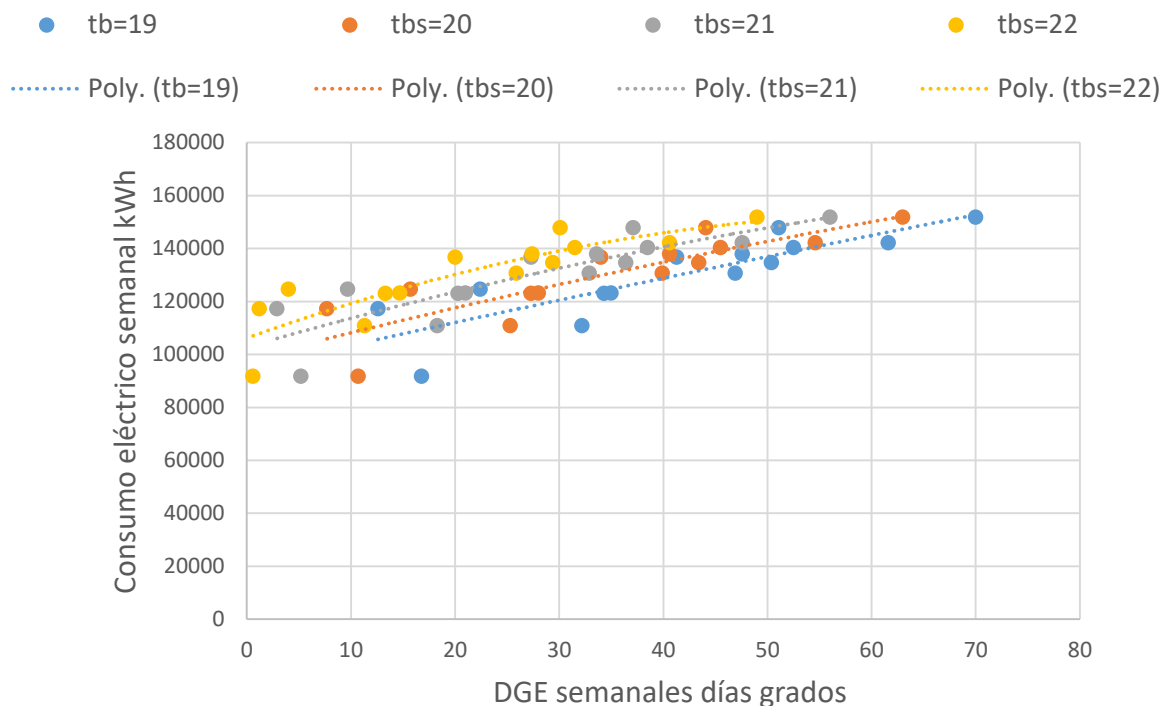


Fig.6 Método PLM aplicado a datos semanales

Tabla 8. Ecuaciones y coeficientes para diferentes temperaturas con datos semanales

Temperatura	Ecuación	R ²
19	$y = -0,7601 \cdot x^2 + 882,61 \cdot x + 94709$	0,7305
20	$y = -0,7601 \cdot x^2 + 871,97 \cdot x + 100850$	0,7305
21	$y = -4,537 \cdot x^2 + 1126,4 \cdot x + 102836$	0,7429
22	$y = -14,873 \cdot x^2 + 1245,6 \cdot x + 114905$	0,5237

En la Figura 5 y en la Tabla 6 se observa que no existe una buena correlación de los consumos mensuales en función de los DGE mensuales, lo que se refleja en los bajos coeficientes de determinación que se presentan en la muestra y en similares valores de las demás temperaturas para las que se realizó el análisis y por tanto el método no da los resultados esperados en este caso. La causa fundamental de ello radica en que los valores de consumo están influenciados por la variación del grado de ocupación (HDO), que es muy variable en este hotel, a diferencia de lo que ocurre en el hotel A. Esta es una de las razones que conllevaron a realizar el análisis con datos semanales, pues se da con frecuencia una variación grande del grado de ocupación en diversos hoteles y al ser las semanas una cantidad mayor, se podría trabajar con valores de HDO que no fueran muy variables y por tanto, el consumo fuera dependiente solamente de los días-grado.

En la Figura 6 y Tabla 7 se presenta una muestra del análisis realizado con datos semanales donde se observa que existe una correlación adecuada, según [1, 10, 18, 19], y que el menor valor que acompaña a la variable cuadrática se alcanza en 20°C y después este valor se mantiene constante a medida que continúa bajando la temperatura, es decir que se puede tomar la temperatura de 20°C como la temperatura base para este hotel. Este valor está en el rango de 10°C a 25°C obtenido por otros autores [13].

De igual forma que en el caso del hotel A, en las Figuras 7 y 8 se presentan los gráficos de consumo vs. HDOeq para el hotel B, obtenidos a partir de los días-grados mensuales y los días-grados semanales, con la particularidad que los días-grados corresponden a temperatura base de 20°C, la

cual se determinó a partir del método PLM aplicado a los datos semanales, ya que con datos mensuales no se pudo determinar.

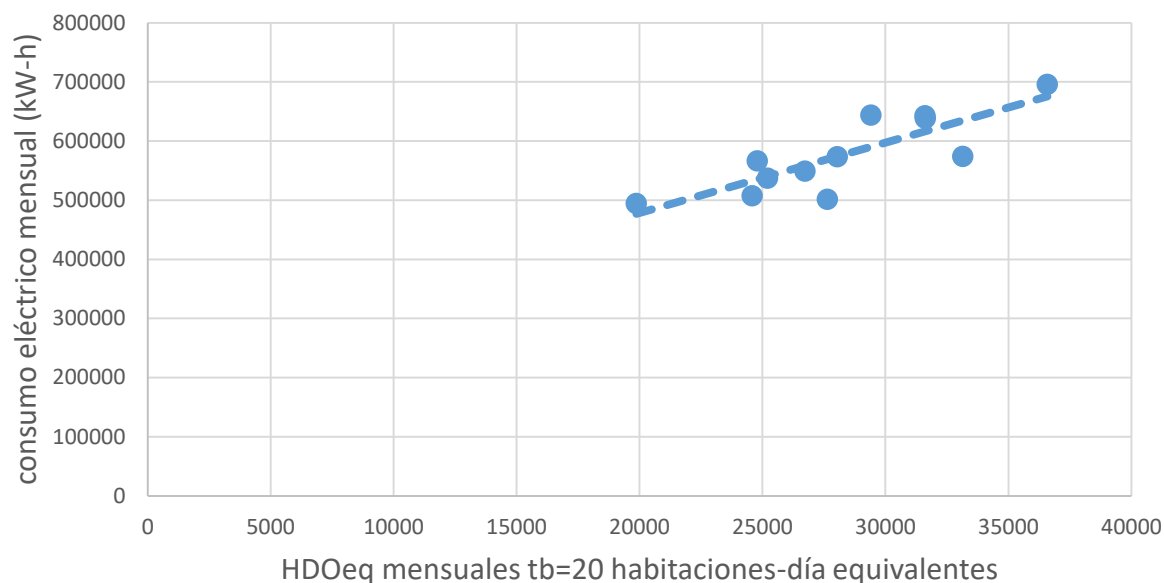


Fig.7 Consumo vs. HDOeq para datos mensuales

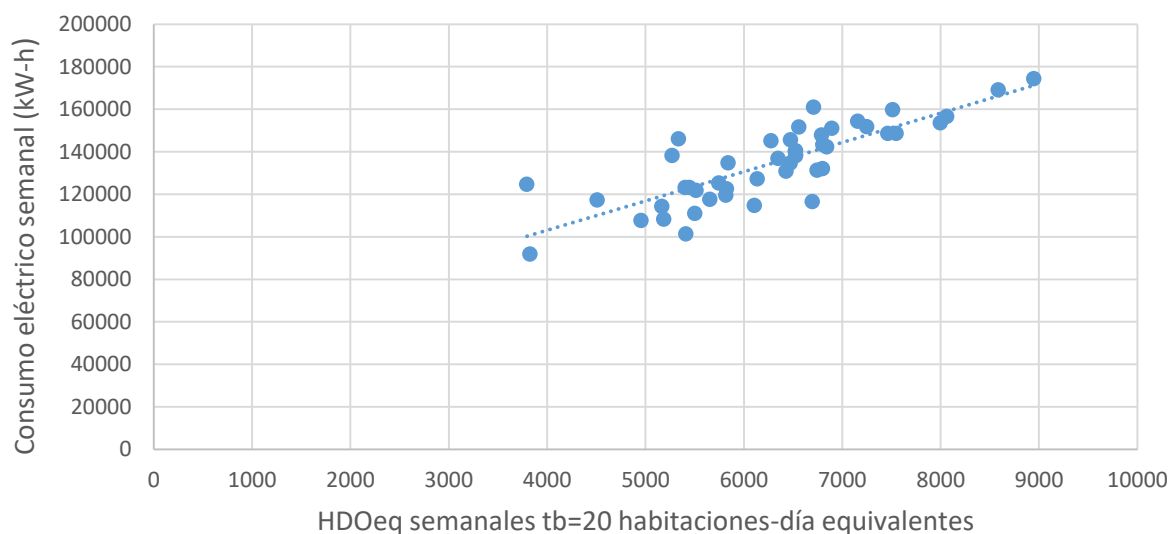


Fig.8 Consumo vs. HDOeq para datos semanales

Para el caso de los datos mensuales la ecuación de modelo obtenida es:

$$y = 11,89x + 240736 \text{ con un valor de } R^2=0,6832.$$

Para los datos semanales, la ecuación obtenida es:

$$y = 13,621x + 48971 \text{ con un valor de } R^2=0,706.$$

En ambos casos se observa una correlación de moderada a fuerte, en los que el modelo explica el 68,32% y el 67,06% de la variabilidad del consumo, lo cual es adecuado para este tipo de estudio, según Prias [19] y Molina [17], aunque Cabello [1] y Meng [10] consideran que debía llegar a 0,7. En cuanto a los otros dos indicadores, se presentan en la Tabla 8.

Tabla 9. Índices de los modelos hotel B

Indicador	Datos mensuales	Rango aceptado	Datos semanales	Rango aceptado
CV-RMSE	6,08%	15%	7,7%	18,75%
NMBE	0,00082%	5%	0,000838%	6,25%

Es decir que los indicadores se encuentran entre los valores aceptados por la literatura, al igual que en el caso del hotel A y, por tanto, se puede plantear que ambos modelos desarrollados para el hotel B son válidos para predecir el consumo en función de las HDOeq obtenidas.

Además, para mejorar la correlación del modelo se podrían filtrar valores, sobre todo en el caso de los datos semanales, en el cual existen mayores posibilidades por la cantidad de datos que se manejan, lo cual se muestra en la Figura 9.

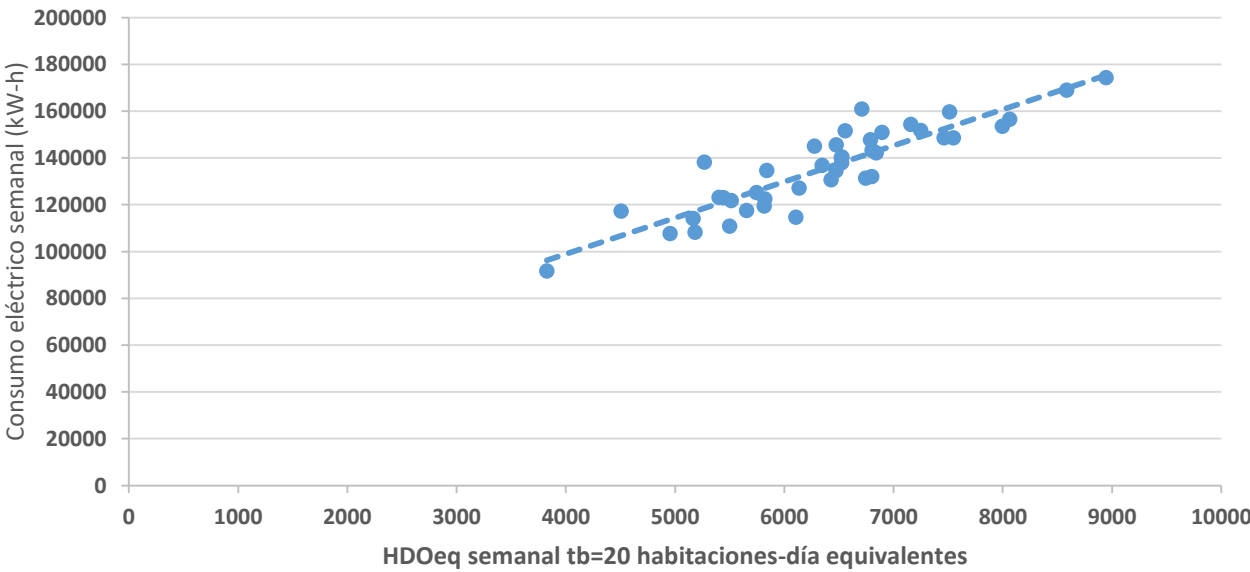


Fig.9 Consumo vs. HDOeq para datos semanales con datos filtrados

En la Figura 9 se muestra el modelo de consumo de electricidad en función de HDOeq semanales que responde a la ecuación:

$$y = 15,452x + 37173, \text{ con } R^2=0,8057$$

Para confeccionar la misma se han filtrado los datos correspondientes a cuatro semanas, que se encuentran por encima de las líneas superior e inferior de filtrado dadas por las ecuaciones:

$$L_s = E + Z \cdot S_e \quad L_i = E - Z \cdot S_e$$

Donde Z es la franja de filtrado y S_e es el error estándar de estimación.

Este procedimiento podría realizarse también para los datos mensuales, con la dificultad de que solamente podrán filtrarse los datos correspondientes a dos meses, ya que el valor mínimo obtenido de la muestra es de 10. Para este caso se obtiene un modelo que cumple con la ecuación:

$$y = 15,452x + 37173 \text{ con } R^2=0,895$$

Es decir, que con el método de los datos semanales se puede obtener la temperatura base del hotel, la cual puede usarse después en obtener tanto el modelo de consumo mensual como el de consumo semanal.

4. Conclusiones

En el presente trabajo se presentó el método PLM para la determinación de la temperatura base de hoteles con datos semanales, aspecto no encontrado en la literatura revisada sobre el tema. Esta es una solución surgida de la necesidad de la determinación la temperatura base, que es un parámetro difícil de hallar pues cambia con el edificio y durante el tiempo. Sin embargo, su determinación se hace necesaria para hallar los días- grados y establecer el modelo de comportamiento del consumo de los hoteles. El método fue aplicado en dos hoteles, uno con muy poca y otro con mucha variación de la ocupación y en ambos se encontró la temperatura base y se establecieron los modelos de comportamiento y se determinó la bondad del ajuste, siendo estos satisfactorios. En el último caso, que sucede en variadas ocasiones, no existe una buena correlación de los días-grados y consumo mensuales y no es factible determinar la temperatura base a través del método PLM tradicional.

Referencias

1. Cabello, J.J., Sousa, V., Sagastume, A., Guerra, M., Haeseldonckx, D., Vandecasteele, C., *Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels*. Journal of Cleaner Production, 2016. **137**: p. 803-812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.192>.
2. Mihalic, T., *Sustainable-responsible tourism discourse-Towards 'responsustable' tourism*. Journal of Cleaner Production, 2016. **111**: p. 461-470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.062>.
3. Cabrera, O., Borroto, A., *Evaluación del indicador KWH/HDO de eficiencia eléctrica en instalaciones hoteleras cubanas*. Retos Turísticos, 2004. **3**: p. 38-41.
4. Pazo, L., García, O., Dobarganes, O., *Propuesta y validación de indicador de desempeño energético en un hotel de Varadero*. Retos Turísticos, 2018. **17** (2).
5. Craig, C.A., *Energy consumption, energy efficiency, and consumer perceptions: A case study for the Southeast United States*. Applied Energy, 2016. **165**: p. 660-669. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.069>.
6. Roshan, G.R., Ghanghermeh, A.A., Attia, S., *Determining new threshold temperatures for cooling and heating degree day index of different climatic zones of Iran*. Renewable Energy, 2017. **101**: p. 156-167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.053>.
7. Indraganti, M., Boussaa, D., *A method to estimate the heating and cooling degree-days for different climatic zones of Saudi Arabia*. Building Services Engineering Research and Technology, 2016. **38**(3): p. 327-350. DOI: <https://orcid.org/10.1177/0143624416681383>.
8. Krese, G., Lampret, Ž., Butala, V., Prek, M., *Determination of a Building's balance point temperature as an energy characteristic*. Energy, 2018. **165**: p. 1034-1049. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.025>.
9. Grenfell-Gravies, M., *Building heat transfer*, 2020. New York: John Wiley and Sons.

10. Meng, Q., Mourshed, M., *Degree-day based non-domestic building energy analytics and modelling should use building and type specific base temperatures*. Energy and Buildings, 2017. **155**: p. 260-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.034>.
11. Anjomshoa, A., Salmanzadeh, M., *Estimation of the changeover times and degree-days balance point temperatures of a city using energy signatures*. Sustainable Cities and Society, 2017. **35**: p. 538-543. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.028>.
12. Lindelöf, D., *Bayesian estimation of a building's base temperature for the calculation of heating degree-days*. Energy and Buildings, 2017. **134**: p. 154-161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.038>.
13. Bhatnagar, M., Mathur, J., Garg, V., *Determining base temperature for heating and cooling degree-days for India*. Journal of Building Engineering, 2018. **18**: p. 270-280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.020>.
14. Wang, Y., Bielicki, J.M., *Acclimation and the response of hourly electricity loads to meteorological variables*. Energy, 2018. **142**: p. 473-485. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.037>.
15. Sha, H., Xu, P., Hu, C., Li, Z., Chen, Y., Chen, Z., *A simplified HVAC energy prediction method based on degree-day*. Sustainable Cities and Society, 2019. **51**: p. 101698. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101698>.
16. Fernández, L., Carbonell, T., Aballe, L., *Aplicación de Gestión Total Eficiente de Energía en el Centro Internacional de Salud "La Pradera"*. Ingeniería Energética, 2014. **35**: p. 112-121.
17. Molina, A., Velarde, H., Borroto, A., Santiesteban, C., Monteagudo, J.P., *Nuevos índices de consumo energético para hoteles tropicales*. Ingeniería Energética, 2017. **38**: p. 198-207.
18. Meng, Q., Xiong, C., Mourshed, M., Wu, M., Ren, X., Wang, W., Li, Y., Song, H., *Change-point multivariable quantile regression to explore effect of weather variables on building energy consumption and estimate base temperature range*. Sustainable Cities and Society, 2020. **53**: p. 101900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101900>.
19. Prias, O.F., Campos, J.C., *Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*, 2013. Bogotá: Colombia. ISBN: 978-958-761-597-5.

Conflicto de Intereses

No existe conflicto de intereses

Contribución de los autores

Oswaldo Fidel García Morales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5895-8033>

Conceptualización de la investigación, tratamiento de los datos y elaboración del manuscrito.

Gabriel Roque Villalonga. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8120-7200>

Análisis de la bibliografía y revisión del manuscrito.

Yanán Camaraza Medina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2287-7519>

Análisis de la bibliografía, de datos experimentales y revisión del manuscrito.