



APLICACIONES INDUSTRIALES

Aplicación de Gestión Total Eficiente de Energía en el Centro Internacional de Salud "La Pradera"

Application of Total Management Techniques of Energy Efficiency at the International Health Centre "La Pradera"

Leyat – Fernández Velásquez
Tania – Carbonell Morales

Luis – Aballe Infante

Recibido: abril de 2013

Aprobado: septiembre de 2013

Resumen/ Abstract

En este artículo se presentan los primeros resultados obtenidos de la aplicación de la Metodología de las Técnicas de Gestión Total Eficiente de la Energía en el Centro Internacional de Salud "La Pradera". Se realizó una caracterización energética del Centro, determinándose la estructura de consumo de los portadores energéticos. Se efectuó una investigación estadística de los datos del Centro durante los años 2010 y 2011, obteniéndose que el portador energético más influyente en el consumo de la instalación es la energía eléctrica. Se analizó la relación entre el índice de consumo kilowatt hora vs habitación-día-ocupada (kWh/HDO) para evaluar correctamente la eficiencia energética del centro, determinándose que la temperatura ambiente es un factor significativo en los consumos de electricidad, lo cual conllevó a la obtención de un nuevo índice de consumo que refleja acertadamente el comportamiento del consumo de energía eléctrica en función de los servicios prestados por esta entidad.

Palabras clave: caracterización energética, eficiencia energética, índice de consumo, portadores energéticos.

This article presents the first results of the application of the Methodology for Total Management Techniques of Energy Efficiency at the International Health Centre "La Pradera". It was realized an energetic characterization of the Centre, determining the structure of energy carriers consumption. It was conducted a statistical investigation of the data Centre during the years 2010 and 2011, giving the electricity as the more influential energy consumption of the facility. It was analyzed the relationship between kilowatt hour consumption rate vs day-occupied-room (kWh / HDO) to assess correctly the energy efficiency of the Centre concluding that the room temperature is a significant factor in the consumption of electricity, which led to the award of a new index that accurately reflects the consumption behaviour of electric energy consumption based on the services provided by this entity.

Key words: energetic characterization, energy efficiency, consumption index, energy carriers.

INTRODUCCION

Los estudios realizados en el sistema empresarial a nivel del país ponen de manifiesto el insuficiente nivel de gestión energética existente en muchas de sus empresas [1], así como las posibilidades de detectar las insuficiencias en la reducción de los consumos y costos energéticos, mediante la creación en estas de las capacidades técnicos organizativos que sean capaces de establecer un sistema de gestión eficiente de la energía.

El Centro Internacional de Salud (CIS) "La Pradera" es una instalación ubicada en el polo oeste de la capital. La instalación presenta una capacidad máxima de 160 habitaciones, cada una equipada

con dos camas. Su objeto social lo constituye el mejoramiento de la calidad de vida de los clientes y pacientes que en ella se alojen, manteniendo niveles ocupacionales altos y estables, además de brindar servicios de primera calidad.

Esta instalación es catalogada como alta consumidora de energía y sus características limitan la implementación de los índices de consumo normalmente utilizados siendo necesario obtener un índice de consumo apropiado que pueda contribuir a la correcta administración de la energía y a una mejor eficiencia energético – económica.

GESTION ENERGETICA

La Gestión Energética, como subsistema de la Gestión Empresarial abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas [1].

El ahorro de energía y la eficiencia energética son una oportunidad para la reducción de costos. El primer paso a la hora de implantar una gestión energética sustentable, con el fin de reducir los costos y aumentar la eficiencia, debe ser el análisis de los consumos de energía [2]. Las posibilidades de ahorro energético son muchas, en la iluminación, refrigeración y climatización, agua caliente sanitaria, la cocina y lavandería.

El ahorro de energía es la mejor contribución de una instalación a la ecología, por lo que los principales esfuerzos para realizar inversiones en ahorro energético deben dirigirse a la reducción del consumo en estos procesos, mediante la reducción de la demanda y la utilización de tecnologías más eficientes [3]. En cualquier caso, ninguna medida conseguirá su máxima eficacia sin contar con la colaboración del responsable técnico del centro y de la implicación del personal.

Un sistema de gestión energética está formado por un conjunto de herramientas que permitan el control de las variables que influyen en el confort y la calidad ambiental de las instalaciones, asegurando al mismo tiempo el mínimo costo. La implantación de un sistema de gestión energética reduce el consumo de energía, con retornos de la inversión relativamente cortos [1].

El control de la gestión energética como cualquier otro sistema de gestión, se hace a través de indicadores los cuales se constituyen en una importante base de comparación y monitoreo para controlar y reducir las pérdidas energéticas en los procesos productivos, evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción de pérdidas de energía [4-5].

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL CIS “LA PRADERA”

Para realizar la caracterización de la empresa se utilizan herramientas estadísticas que permiten analizar el desempeño energético mediante indicadores cuantitativos [6-7].

Situación actual de eficiencia energética en el Centro Internacional de Salud “La Pradera”

El registro de los consumos energéticos es tomado diariamente de forma global; se utiliza un índice de consumo físico: consumo de energía eléctrica en kWh vs. nivel ocupacional en habitación día ocupada (HDO); los puestos claves están definidos aunque no existen índices y normas de consumo en ellos; la instrumentación es insuficiente para el control de la eficiencia energética; no existen mecanismos para lograr la motivación por el ahorro de energía y no existe estructura alguna para el trabajo hacia la eficiencia energética.

Comportamiento de portadores energéticos

Los portadores energéticos sobre los cuales dispone la instalación son: electricidad, diesel, gas licuado (GLP), gasolina.

En la figura 1, se muestra el consumo de los portadores energéticos durante los años 2010 y 2011, expresados en toneladas equivalentes de petróleo (TEP), se muestra además que los principales portadores energéticos en cuanto a consumo en la instalación son la electricidad y el diesel y cómo aumentaron su consumo de un año a otro. La importancia que se le destaca a estos portadores energéticos por encima del gas licuado y la gasolina, está basada en el consumo que representan para el centro, no así en cuanto a los servicios que prestan.

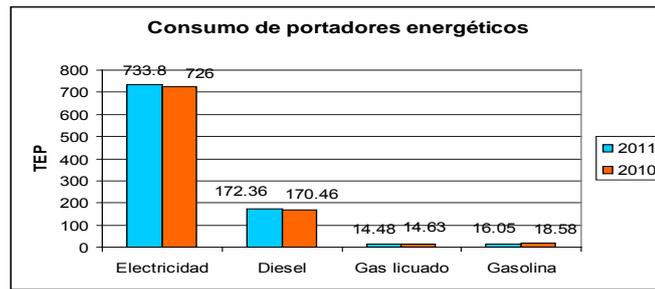


Fig. 1. Comportamientos anuales de los consumos de portadores energéticos, La Pradera.

La figura 2, muestra la comparación entre el consumo de los diferentes portadores energéticos en el año 2011, donde se refleja en toneladas equivalentes de petróleo (TEP) los diferentes valores que alcanzaron estos portadores energéticos y el porcentaje que representaron estos para los consumos de la instalación.

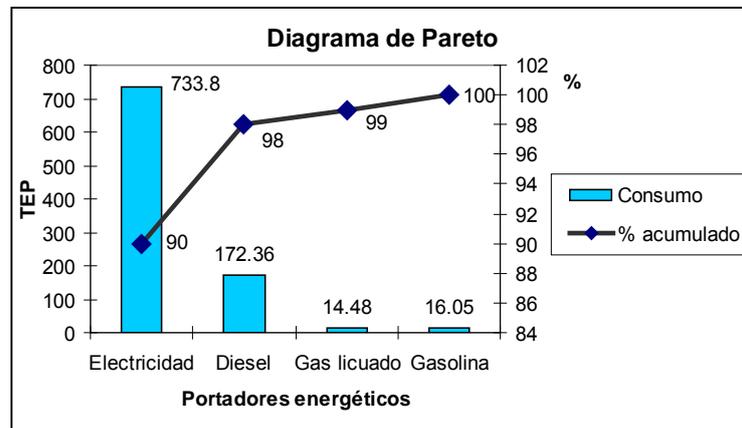


Fig. 2. Comparación entre portadores energéticos durante el año 2011, La Pradera.

Como se observa en las figuras 1 y 2, el consumo de energía eléctrica es el de mayor peso en la estructura general de consumos de la instalación, por lo tanto, constituye una estrategia importante el estudio para reducir el consumo de electricidad, tomando en consideración su aumento de un año a otro, que los costos energéticos se incrementaron significativamente y que la posibilidad de su reducción está en manos del centro objeto de estudio.

Gráficos de control

Una herramienta útil en estos análisis son los gráficos de control, que no son más que diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable, en este caso el consumo de electricidad en kWh, en función de ciertos límites establecidos [1, 8-9].

Las figuras 3 y 4, muestran los gráficos de control de consumo de electricidad durante los años 2010 y 2011 en el CIS “La Pradera”, mostrando el valor medio M más probable a obtener, así como los límites de control superior (LCS) e inferior (LCI).

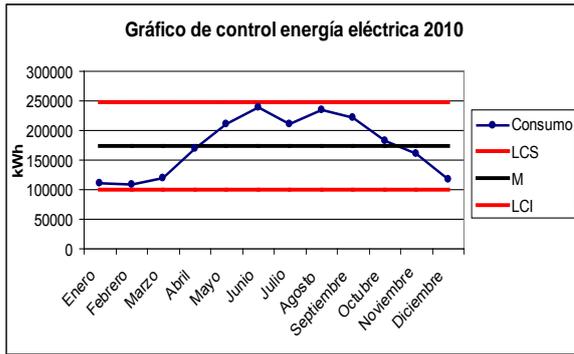


Fig. 3. Gráfico de control del consumo de energía eléctrica, “La Pradera” 2010.

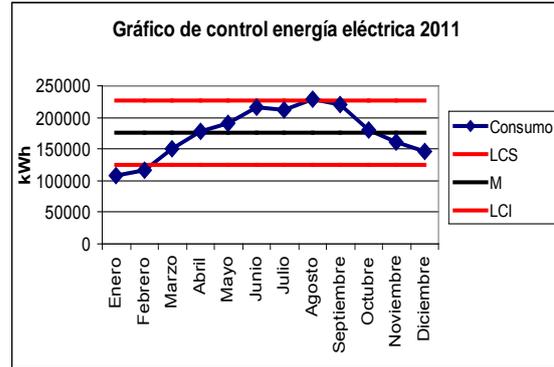


Fig. 4. Gráfico de control de energía eléctrica, “La Pradera” 2011.

La figura 3, muestra que el consumo más probable mensual de energía eléctrica es de 173 801 kWh, mientras que el valor medio o más probable de consumo mensual de energía eléctrica en el año 2011 es de 175 671 kWh, lo que evidencia la tendencia al aumento del consumo de energía eléctrica. Los valores de consumo en el 2010 se mantuvieron dentro de los límites señalados, aunque la mayoría de estos consumos tomaron valores por encima del valor medio, lo que demuestra la presencia de factores que provocan una tendencia al aumento del consumo de energía eléctrica. Para el 2011 existen tres valores de consumo fuera de los límites, alertando hacia la búsqueda de soluciones a las causas que originan estos consumos, además de encontrarse la mayoría de estos valores por encima del valor medio.

Gráficos de consumo y servicio en el tiempo

Las figuras 5 y 6, muestran la variación simultánea de las variables que conforman el índice que valora la eficiencia energética del centro objeto de estudio, el consumo de energía eléctrica en kWh y el nivel ocupacional HDO en el tiempo correspondiente al año 2010 y 2011. De forma general los gráficos permiten identificar períodos en que se producen irregularidades en la variación del consumo de electricidad con respecto a la variación del nivel ocupacional.

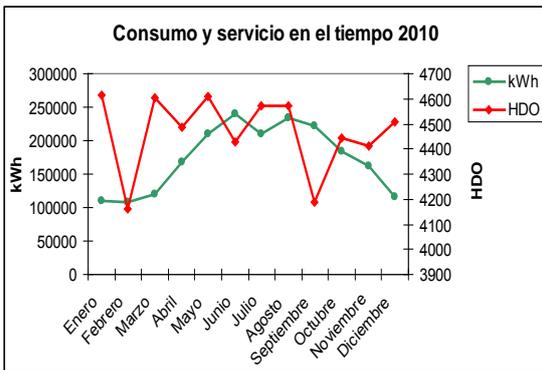


Fig. 5. Consumo (kWh) vs. Nivel ocupacional (HDO), La Pradera 2010.

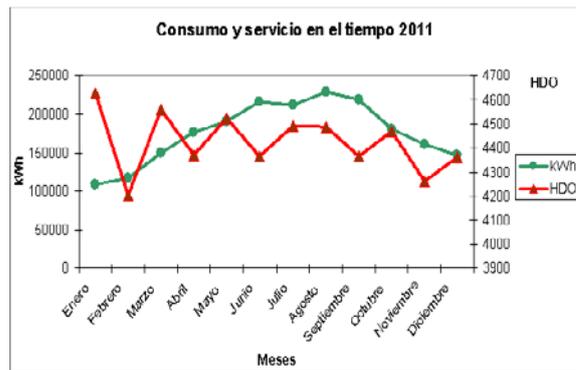


Fig. 6. Consumo (kWh) vs. Nivel ocupacional HDO, La Pradera 2011.

En las figuras 5 y 6, se aprecia que existen comportamientos anómalos en cuanto a la variación del consumo de energía eléctrica en función de la variación del nivel ocupacional, siendo necesario identificar los factores reales que están influyendo en las variaciones del consumo de energía eléctrica.

Diagramas de dispersión y correlación

A continuación se brindan las figuras 7 y 8, que representan diagramas de dispersión y correlación entre el consumo de electricidad en kWh y el nivel ocupacional HDO, además de las figuras 9 y 10, que muestran la comparación entre los valores predichos del modelo y los observados.

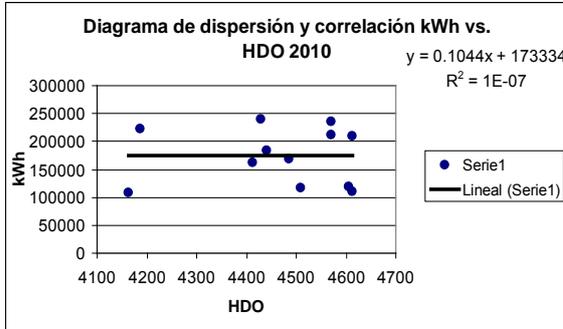


Fig. 7. Correlación entre el consumo de energía eléctrica en kWh y nivel ocupacional en HDO, La Pradera 2010.

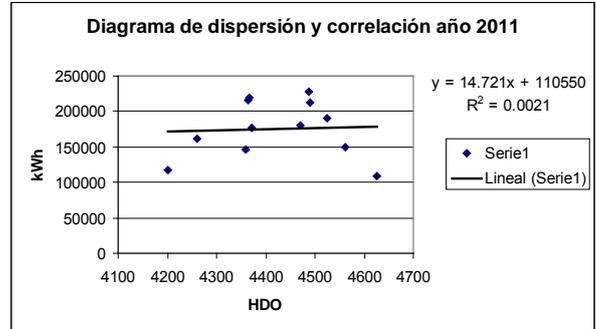


Fig. 8. Correlación entre el consumo de energía eléctrica en kWh y nivel ocupacional en HDO, La Pradera. 2011.

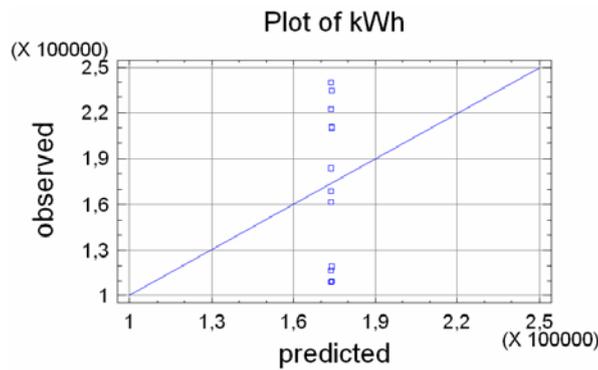


Fig. 9. Comparación de valores de consumo de electricidad observados y predichos por el modelo, La Pradera 2010.

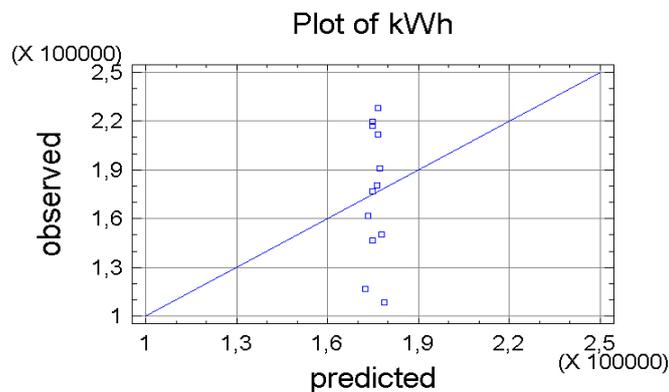


Fig. 10. Comparación de valores de consumo de electricidad observados y predichos por el modelo, La Pradera 2011.

A continuación se muestran en las tablas 1 y 2, los resultados a partir de la utilización de otros modelos para analizar la relación entre el consumo de energía eléctrica y el nivel ocupacional.

Modelo	Correlación	R ²
Double recíprocal	0,0308	0,09%
Recíprocal-Y	-0,0207	0,04%
S-curve	-0,0186	0,03%
Multiplicative	0,0142	0,02%
Exponential	0,0098	0,01%
Recíprocal-X	-0,0078	0,01%
Square root-Y	0,0049	0,00%
Logarithmic-X	0,0041	0,00%
Square root-X	0,0022	0,00%
Linear	0,0003	0,00%
Logistic	<no fit>	
Log probit	<no fit>	

Modelo	Correlación	R ²
Recíprocal-X	-0,0694	0,48%
Logarithmic-X	0,0576	0,33%
Square root-X	0,0517	0,27%
S-curve	-0,0512	0,26%
Linear	0,0457	0,21%
Multiplicative	0,0388	0,15%
Square root-Y	0,0367	0,13%
Double recíprocal	0,0278	0,08%
Exponential	0,0264	0,07%
Recíprocal-Y	-0,0022	0,00%
Logistic	<no fit>	
Log probit	<no fit>	

Del análisis de las figuras y datos anteriores se aprecia que existe una baja correlación en todos los casos, entre el consumo de electricidad y la ocupación habitacional. Esto indica que no hay dependencia directa entre estas dos variables, lo que demuestra lo inapropiado de utilizar este índice de consumo para evaluar la eficiencia energética de este centro. Los resultados anteriores evidencian que otros factores están influyendo con mayor peso sobre el consumo de energía eléctrica en función del nivel ocupacional en la instalación objeto de estudio.

Análisis entre consumo de electricidad en kWh y el servicio prestado en HDO

Los elementos principales que afectan la validez del actual índice de consumo son la no toma en consideración en el índice de la influencia de la temperatura ambiente sobre el consumo de electricidad del sistema de climatización.

Esta variable es la más importante en el consumo de energía eléctrica, el consumo en climatización puede representar más del 60 % del consumo total de electricidad [10]. La temperatura y la humedad del aire ambiente son determinantes en la carga térmica que debe vencer el equipo de climatización e influyen además en su eficiencia.

Considerar que habitaciones de diferentes tamaños tienen consumos energéticos iguales a los efectos del índice, es otro error que también se comete. Las cargas de enfriamiento pueden ser muy diferentes entre habitaciones, en dependencia de su tamaño, características constructivas y su orientación. No considerar en el índice de consumo la influencia de otros servicios prestados y que tienen alto consumo energético, como son los salones de eventos, tiendas, etc. y que estos servicios representan una demanda adicional de energía, en muchos casos elevada, es también una consideración errónea, que falsea la información pues no se reflejan en la variable que rige nivel ocupacional.

Efecto de la temperatura ambiente

De forma general, en las instalaciones se consume entre un 60 y 70 % de la energía eléctrica en satisfacer las demandas de climatización, principalmente en las áreas habitacionales [10-11]. El período de funcionamiento de los equipos de climatización, tanto individual como los sistemas centralizados, para la obtención de la temperatura de confort en locales depende de la carga térmica, dentro de la cual desempeña un papel fundamental la temperatura ambiente exterior.

Estudios realizados en las condiciones climáticas de Cuba han demostrado que el consumo de energía eléctrica destinado a la climatización puede elevarse un 40 % en los meses de mayor temperatura ambiente (julio y agosto principalmente) con relación a los meses de menor temperatura, siendo la diferencia de temperatura entre los meses fríos y cálidos de aproximadamente 13°C [10].

Producción Equivalente

En el caso en que la correlación entre dos variables sea débil, dado si el coeficiente de determinación $R^2 < 0.75$, se emplea el método de la Producción Equivalente[10], que se basa en incorporar al parámetro que caracteriza el nivel de actividad de los servicios, factores y actividades que tienen una influencia significativa sobre el consumo de energía y que no son normalmente considerados.

Para establecer un nuevo índice que refleje adecuadamente el comportamiento de la eficiencia energética se introduce el concepto de “Habitación Día Ocupada Equivalente (HDOeq)” [10], el cual toma en consideración tres factores que deben permitir una mejor correlación entre el consumo de energía eléctrica y la ocupación habitacional.

Este método propone utilizar factores de corrección que logren linealizar la influencia de las variables que influyen sobre el consumo de energía, logrando una evaluación adecuada del indicador propuesto.

La Habitación – Día – Ocupada Equivalente queda definida por la ecuación (1), según criterios del Equipo de Trabajo de Gestión de Energía del CEEMA [1]:

$$HDOeq = HDO \cdot Fc \cdot Ft + Fs \quad (1)$$

Donde:

HDOeq: Habitaciones-días-ocupadas-equivalentes.

HDO: Cantidad de habitaciones-días-ocupadas-reales.

Fc: Factor de carga (diferencias en carga de enfriamiento en las habitaciones).

Ft: Factor de temperatura (influencia temperatura ambiente).

Fs: Factor de servicios (consumos no asociados con la ocupación).

Para el caso del Centro objeto de estudio sólo es posible analizar el factor temperatura, dada la falta de control de los servicios prestados individualmente por bloques habitacionales y salones de eventos, lugares que intervienen en el factor de carga y de servicios respectivamente, esto evidencia la necesidad de controlar la variable de servicio habitación día ocupada de manera particular para cada bloque habitacional así como el nivel ocupacional en los salones de eventos. Por lo que la ecuación 1 quedará simplificada de la siguiente manera en la ecuación (2):

$$HDOeq = HDO \cdot Ft \quad (2)$$

Donde:

Ft: Factor de temperatura.

Para obtener el factor de temperatura se calcula la carga térmica para cada habitación con diferentes temperaturas y la carga térmica máxima [1] y se aplica la ecuación (3):

$$FTi = \frac{CT_T}{CT_{25^\circ C}} \quad (3)$$

Donde:

FTi: factor de temperatura inicial a una temperatura y habitación dadas.

CT_T : Carga térmica a la temperatura determinada T.

CT_{25°C}: Carga térmica a la temperatura de 25°C.

Con este factor se halla el factor de temperatura media (FTm), que no es más que la suma de todos los factores iniciales calculados para cada temperatura dividida entre el número de habitaciones, relación que se muestra en la ecuación (4):

$$FTm = \frac{\sum FTi}{n} \quad (4)$$

Con el factor de temperatura media y las temperaturas analizadas se procede a la construcción de un gráfico de FTm vs. T. Se obtiene una ecuación de tipo exponencial ($y=ae^{bx}$), el cual se muestra en la figura 11.

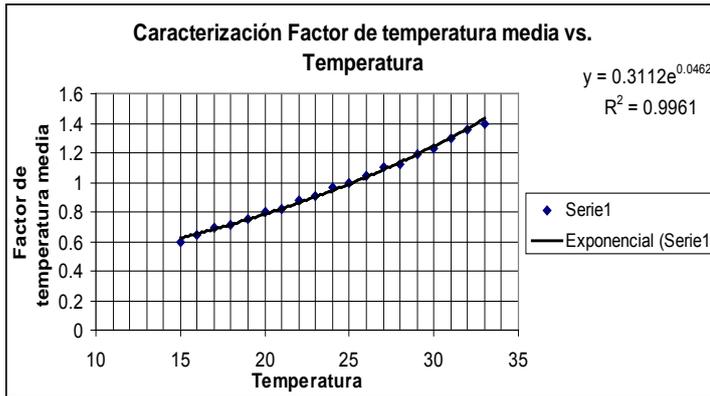


Fig. 11. Factor de temperatura media vs. Temperatura.

Las figuras 12 y 13, muestran la correlación entre el consumo de energía eléctrica y el nivel ocupacional una vez añadido el factor de temperatura en la ecuación (2). Dichas figuras muestran la influencia del Factor de Temperatura en los consumos de energía eléctrica con respecto al nivel ocupacional, expresándose en el alto nivel de correlación presente, de esta manera se demuestra como la temperatura ambiente influye sensiblemente sobre el consumo de energía en las instalaciones con un peso determinante en el consumo de sistemas de refrigeración y climatización.

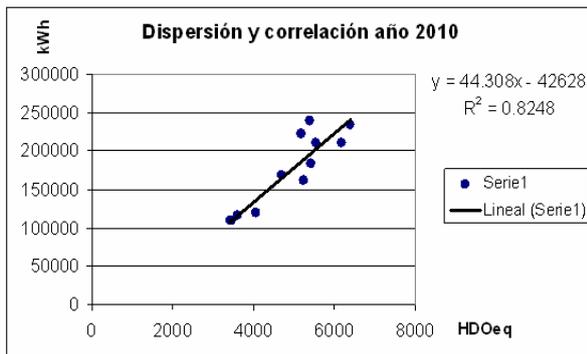


Fig. 12. Correlación entre consumo de energía eléctrica (kWh) vs HDO introduciendo el Factor de Temperatura, La Pradera 2010.

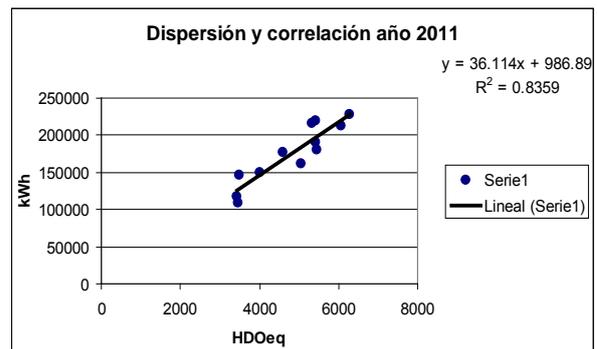


Fig. 13. Correlación entre consumo de energía eléctrica (kWh) vs. HDO introduciendo el Factor de Temperatura, La Pradera 2011.

Se observa además como disminuyó la energía no asociada a los servicios, aunque es necesario implementar medidas que permitan conocer el consumo de los diferentes puestos claves, que intervienen en los Factores de Carga y de Servicios, para continuar optimizando el índice de eficiencia energética.

La obtención de este índice de eficiencia energética, que refleja el comportamiento del consumo de energía eléctrica (kWh) en función del nivel ocupacional equivalente del Centro (HDOeq), permite caracterizar la situación del consumo de electricidad, permite establecer metas y planes de consumo de energía eléctrica y reducción de la energía no asociada a los servicios, así como mayor claridad para identificar los factores que provocan algún comportamiento anómalo y su influencia en los consumos del Centro.

CONCLUSIONES

Con la aplicación de la Metodología de las Técnicas de Gestión Total Eficiente de la Energía se estableció la estructura de portadores energéticos en el Centro Internacional de Salud "La Pradera", determinándose que la electricidad es el portador energético más significativo en los consumos de la instalación, representando el 90% de los consumos energéticos en el centro con un valor de 733 toneladas de petróleo equivalente (TEP), se analizó este portador en varios periodos donde se observó la tendencia al sobreconsumo. Se detectó que el índice de consumo que valora la eficiencia energética del centro, kWh/HDO, no era adecuado pues no tenía en cuenta todos los factores que inciden o influyen en el consumo energético de la instalación objeto de estudio, por lo que se obtuvo un nuevo índice de consumo, el cual considera la influencia de la temperatura ambiente en el consumo de energía eléctrica y se estableció el término de ocupación equivalente, elevando el índice de correlación R^2 a valores por encima de 0.8.

En el estudio se demostró la importancia de la temperatura ambiente en el consumo de energía eléctrica de la instalación, principalmente por la incidencia de esta en la carga térmica a vencer por los equipos que se encargan del acondicionamiento de aire en los locales. El nuevo indicador obtenido, kWh/HDOeq, evalúa el comportamiento de la eficiencia energética de la instalación, permite caracterizar la situación del consumo de energía eléctrica determinando el servicio asociado significativo, así como establecer metas de consumo en función de un servicio predeterminado; permite determinar la energía no asociada al servicio y los problemas que afecten estos parámetros, estableciendo metas y planes para reducir esta energía no asociada al servicio. Los resultados obtenidos a partir de las tareas realizadas evidencian el poco uso racional de la energía en el centro objeto de estudio y la necesidad de tomar medidas que minimicen los consumos energéticos de la instalación.

REFERENCIAS

- [1]. BORROTO, A.; *et al.*, "Gestión energética empresarial". [Realizado por el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente], Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos, 2002, ISBN 959-257- 040-X.
- [2]. GRIBINCEA, C., "Energy efficiency policy in moldova". Scientific Papers Series Management , Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. 2013, vol.13, n.1, ISSN 2285-3952.
- [3]. ITSKOVICH, L., "Energy Management in Christchurch". Australian Civil Engineering Transactions. 1999, vol. 41, p. 39-45, ISSN 0819-0259.
- [4]. PÉREZ, C.A.; VERA, F., "Fundamentos para la administración energética en la industria Colombiana a través de indicadores de gestión". Scientia et Technica. 2012, vol.17, n.50, ISSN 0122-1701.
- [5]. PERCEBOIS, J., "Energy vulnerability and its management". International Journal of Energy Sector Management. 2007, vol.1, n.1, p. 51-62, ISSN 1750-6220.
- [6]. ALLER, J; *et al.*, "Metodología para la Implantación de un Sistema Integral de Gestión de la Energía". IX Congreso de Instalaciones Electricas. Caracas, Venezuela. Octubre 2010, p. 1-8, [consulta: 7 de octubre de 2012], Disponible: http://prof.usb.ve/jaller/PPI_papers/Codelectra2010.pdf.

- [7]. IULIA, G.S.; *et al.*, "Dynamic Management Techniques for Increasing Energy Efficiency within a Data Center". Proc. of the 1st UNITE Doctoral Symposium, Bucharest, Romania, 27-28 June, 2011, p. 129-133, PRINTECH, ISSN 2247-6040.
- [8]. MONTEAGUDO, J.P.; *et al.*, "Herramientas para la gestión energética empresarial". Redalyc. 2005, vol.11, n.29, p. 169-174, ISSN 0122-1701.
- [9]. SERNA, C.A., "Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía". Revista Producción + Limpia. 2010, vol.5, n.2, p. 107-126, ISSN 1909-0455.
- [10]. CABRERA, O.; *et al.*, "Evaluación del indicador KWH/HDO de eficiencia eléctrica en instalaciones hoteleras cubanas". Revista Retos Turísticos. 2004, vol.3, n.2, RNPS No. 0411, Folio: 137, Tomo I, ISSN 1681-9713.
- [11]. BORGES, D., *et al.*, "Hacia un indicador de consumo de energía eléctrica más efectivo en hoteles del grupo Cubanacán de la provincia de Camagüey". Revista Ingeniería Energética. 2011, vol.32, n.1, p. 35-42, ISSN 1815-5901.

AUTORES

Leyat Fernández Velázquez

Ingeniero Mecánico, Facultad de Mecánica. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
e-mail: leyat@mecanica.cujae.edu.cu

Tania Carbonell Morales

Ingeniera Química, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables.(CETER), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
e-mail: taniac@ceter.cujae.edu.cu

Luis Aballe Infante

Ingeniero Mecánico, Profesor Asistente, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables. (CETER), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
e-mail: laballe@ceter.cujae.edu.cu