

IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS PARA EL DISEÑO DE UN PROGRAMA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA INSTALACIÓN HOSPITALARIA

Arocas Sergio M., Coria Hoffmann Geraldine D. y Bosc Cristian

UIDET-IAME, Facultad de Ingeniería UNLP, Calle 1 y 47, La Plata, Argentina,
martin.arocas@ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones hospitalarias requieren suministro energético de forma permanente para su funcionamiento durante las 24 horas de todos los días del año, por lo que la energía representa un importante costo de funcionamiento.

La necesidad de reducir estos costos requiere medidas para el uso racional y eficiente de la energía, cuya implementación puede ser planificada y supervisada a través de un Programa de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE). Adicionalmente estos programas presentan importantes ventajas tales como, el aseguramiento energético en el largo plazo, la ayuda al crecimiento económico y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para la definición de un PAEE es necesario previamente contar con un diagnóstico energético que permita definir la línea base energética y luego, en base a información de uso de las instalaciones, posibilite la identificación de una lista de medidas de mejora que tiendan a disminuir y optimizar el uso de los suministros energéticos (energía eléctrica y gas natural). De todas las posibles mejoras, la identificación de la solución óptima, requiere de una evaluación técnica-económica-ambiental. En el presente trabajo se desarrollan los criterios que ordenan la implementación de las mejoras, en base a indicadores energéticos específicos para hospitales y con ello formular el programa de ahorro y eficiencia energética.

Indicadores energéticos

Los Indicadores Energéticos [1, 2, 3, 4] son la herramienta utilizada para determinar las áreas prioritarias en las cuales se deben aplicar las mejoras de ahorro y eficiencia energética. Asimismo, el valor numérico de los indicadores energéticos genera información que ayudará a los responsables de la toma de decisiones a establecer objetivos de eficiencia energética y al seguimiento de los avances para alcanzar dichos objetivos.

Seleccionar y desarrollar indicadores es el primer paso para analizar la situación energética de un sector particular y poder obtener conclusiones iniciales referidas a interpretar su tendencia pasada e influir en su evolución futura. Cada indicador tiene su propio propósito, y también sus limitaciones respecto a qué puede llegar a explicar. Dar una imagen precisa requiere de varios indicadores, que al ser analizados en conjunto proporcionarán una base más robusta para la formulación de políticas [1].

Para interpretar cabalmente los alcances de las medidas de eficiencia energética, es necesario separar el impacto de los cambios en cada instalación/equipos que influyen en la demanda de energía. El desarrollo de indicadores energéticos debe proporcionar información para comprender la situación actual y permitir evaluar el potencial de ahorro energético [2].

La evaluación de los consumos energéticos de cada instalación y equipos permite el desarrollo de un indicador de consumo específico de energía a), mientras que la cuantificación del impacto que tiene la implementación de medidas de eficiencia energética se realiza mediante el análisis de la evolución de un indicador de eficiencia energética, b).

Indicador de consumo específico de energía

Un indicador energético frecuentemente empleado para los hospitales [1, 4] es el que cuantifica la energía utilizada por cantidad de camas que se encuentran en dicho hospital, es decir:

$$\text{Indicador de consumo específico de energía anual} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{cama}} \right]$$

$$= \frac{\text{Consumo total de energía anual [MWh]}}{\text{Cantidad de camas [cama]}}$$

Otra alternativa para este indicador surge si se tiene en cuenta, en lugar del número de camas la superficie cubierta del establecimiento (MWh/ m²).

A este indicador se lo puede clasificar como “agregado”, ya que proporciona una idea general sobre las tendencias del consumo energético en un determinado sector. Sin embargo, se requiere información más específica para entender las características del consumo energético y para proporcionar un análisis de relevancia respecto al efecto de las mejoras de eficiencia energética cuando se aplican en las principales instalaciones demandantes de energía.

De esta manera se formula una estructura de indicadores “desagregados” que permiten priorizar las instalaciones y equipos en los cuales deben implementarse las medidas de ahorro y eficiencia.

A los fines de este trabajo, se plantea la siguiente estructura jerárquica para desagregar el indicador de consumo específico de energía:

Nivel 1: Consumo de energía por cama.

Nivel 2: Tipo de energía consumida por cama (Energía Eléctrica y Gas Natural).

Nivel 3: Consumo energético de las instalaciones por cama.

Nivel 4: Consumo energético de los equipos por cama.

Indicador de eficiencia energética

El indicador de eficiencia energética se define como la relación entre el costo de la energía ahorrada anual y la energía ahorrada al año y se determina como:

$$\text{Indicador de eficiencia energética} \left[\frac{\$}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{Costo total anual de la energía ahorrada [\$]}}{\text{Energía ahorrada [kWh]}}$$

Este indicador puede interpretarse como el costo unitario de la energía ahorrada, se utiliza para priorizar las mejoras de ahorro y eficiencia energética que generen el mayor ahorro económico en cada instalación.

Criterios para la definición de un programa de ahorro y eficiencia energética en una instalación hospitalaria.

Las posibilidades de ahorro y eficiencia energética se clasifican en mejoras de costo nulo, mejoras de bajo costo y mejoras que requieren inversión, las últimas son las consideradas para la definición de un PAEE en una instalación hospitalaria.

Con el objetivo de determinar las prioridades de aplicación de mejoras se considerarán los siguientes criterios de evaluación:

1) Cálculo del indicador de consumo específico de energía desagregado.

Se debe obtener y ordenar de mayor a menor el indicador en cada nivel: tipo de energía por cama, consumo de energía por instalación y consumo de energía por equipo.

Las mejoras se deben aplicar prioritariamente en el equipo/instalación para el cual, el valor inicial del indicador sea mayor.

2) Cálculo del indicador de eficiencia energética.

Este indicador considera la tarifa de los suministros energéticos y la inversión necesaria para la aplicación de la mejora. El mayor valor de este indicador prioriza la mejora de ahorro y eficiencia.

En caso de igualdad de indicadores de consumo específico de energía y eficiencia energética la mejora a aplicar quedará definida por el periodo de recupero simple de la inversión y, luego, por el valor máximo de emisiones evitadas.

3) Periodo simple de recuperación de la inversión

Se deben priorizar las mejoras con bajo periodo de recupero simple de la inversión.

4) Emisiones evitadas de dióxido de carbono (CO₂)

Se deben priorizar las mejoras que generen la mayor cantidad de emisiones evitadas de CO₂.

Ejemplo de definición de un programa de ahorro y eficiencia energética específico para una instalación hospitalaria.

De la realización del diagnóstico energético, se tiene que la instalación hospitalaria en estudio cuenta con 11280 m², 40 camas efectivas y se distribuyen instalaciones y equipos concentrando una potencia eléctrica y térmica instalada de 878 kW y 1.117 Mcal/h, respectivamente.

El consumo anual de energía estimado es de 3837 MWh, siendo 2980 MWh de energía eléctrica y 857 MWh de gas natural.

Posteriormente se detectan y analizan energética, económica y ambientalmente las mejoras consideradas para la formulación del PAEE obteniendo los resultados presentados en la siguiente tabla 1.

Tabla 1: Evaluación de las mejoras de eficiencia energética

| <i>Instalación</i> | <i>Mejora</i> | <i>Ahorro electricidad anual [kWh]</i> | <i>Ahorro gas natural anual [m³]</i> | <i>Ahorro económico anual [\$]</i> | <i>Período de recupero simple [años]</i> | <i>Emisiones de CO₂ evitadas al año [ton]</i> |
|--|--|--|---|------------------------------------|--|--|
| Sistema de refrigeración / calefacción | Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH) | 337.000 | 34.900 | 933.000 | 2,8 | 210 |
| | Colocación de cortinas de tela screen | 139.500 | 10.350 | 373.600 | 2,2 | 80 |
| | Pintar la envolvente con pintura aislante térmica | 14.600 | 950 | 38.700 | 0,25 | 8 |

Tabla 1: Evaluación de las mejoras de eficiencia energética (continuación)

| <i>Instalación</i> | <i>Mejora</i> | <i>Ahorro electricidad anual [kWh]</i> | <i>Ahorro gas natural anual [m³]</i> | <i>Ahorro económico anual [\$]</i> | <i>Período de recupero simple [años]</i> | <i>Emisiones de CO₂ evitadas al año [ton]</i> |
|---------------------------|--|--|---|------------------------------------|--|--|
| Otros equipos energéticos | Reemplazo de heladeras con etiquetado F por heladeras con etiquetado A | 15.200 | 0 | 37.000 | 3,1 | 6,6 |
| Agua caliente sanitaria | Instalar termotanques industriales | 0 | 6.260 | 19.500 | 7,7 | 11 |
| Iluminación | Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED* | 984.000 | 0 | 2.409.000 | 0,13 | 433 |
| | Control y seccionamiento de la iluminación | 106.200 | 0 | 260.000 | 0,12 | 47 |
| Motores | Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia | 56.500 | 0 | 138.000 | 1,8 | 25 |

Nota: *Se tiene en cuenta el ahorro que se genera en el sistema de refrigeración.

Los resultados de aplicación de los criterios definidos para formular el programa de ahorro y eficiencia energética de la instalación hospitalaria en cuestión son:

1) Cálculo del indicador de consumo específico de energía

El valor del indicador energético agregado, energía por cama, para un total de 40 camas efectivas del pabellón resulta:

$$\frac{\text{Consumo total de energía anual}}{\text{Cama}} = \frac{3837}{40} = 95,9 \frac{\text{MWh}}{\text{cama}}$$

Los resultados del indicador de consumo específico de energía desagregado por nivel se resumen en la tabla 2.

En la misma tabla, en el segundo nivel del indicador de consumo energético se observa que se deben priorizar las instalaciones y equipos que demandan energía eléctrica respecto a las que utilizan gas natural.

Al desagregar el indicador de consumo específico de energía en instalaciones, se observa que debe priorizarse la instalación de refrigeración, seguida por las instalaciones de calefacción, iluminación, otros equipos energéticos y por último la instalación para la producción de Agua Caliente Sanitaria.

Al desagregar el indicador de consumo específico de energía en equipos, se observa que debe priorizarse las enfriadoras. Luego, con el siguiente orden, se deben considerar las mejoras en las luminarias, calderas, UTAs, equipamiento médico, electrodoméstico y por último los equipos ofimáticos.

Tabla 2: Resultados del indicador de consumo específico de energía desagregado por nivel

| Nivel 2: Tipo de energía consumida por cama [MWh-año/cama] | | |
|---|-------|---|
| Energía eléctrica | 74,5 | 1 |
| Gas natural | 21,4 | 2 |
| Nivel 3: Consumo energético de las instalaciones por cama [MWh-año/cama] | | |
| Refrigeración | 38,5* | 1 |
| Calefacción | 26,5 | 2 |
| Iluminación | 20,9 | 3 |
| Otros equipos energéticos | 8,9 | 4 |
| ACS | 1,1 | 5 |
| Nivel 4: Consumo energético de los equipos por cama [MWh-año/cama] | | |
| Enfriadoras | 32,4 | 1 |
| Iluminación | 20,9 | 2 |
| Calderas | 20,3 | 3 |
| UTAs | 12,3 | 4 |
| Eq. Médicos | 6,4 | 5 |
| Electrodomésticos | 1,9 | 6 |
| Termotanque | 1,1 | 7 |
| Eq. Ofimáticos | 0,6 | 8 |

**Nota:* El cálculo del consumo energético en la instalación de refrigeración considera el consumo de las enfriadoras y de las UTAs durante los seis meses de refrigeración.

A partir del análisis precedente se define el orden de prioridad para la ejecución de las mejoras, de acuerdo al tipo de energía, instalación y equipos detallado en la Tabla 3.

Tabla 3: Prioridad de aplicación de mejoras de ahorro y eficiencia energética.

| Tipo de energía | Instalación | Equipos | Prioridad |
|------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|
| Energía Eléctrica | Refrigeración | Enfriadoras | 1 |
| | | UTAs (Motores) | 2 |
| | Calefacción | Iluminación | 3 |
| | Otros Equipos energéticos | Eq. Médicos | 4 |
| | | Electrodomésticos | 5 |
| | | Eq. Ofimáticos | 6 |
| Gas Natural | Calefacción | Calderas | 7 |
| | ACS | Termotanques | 8 |

2) Cálculo del indicador de eficiencia energética

Las medidas de mejora para el PAEE son analizadas a partir del indicador de eficiencia energética (costo unitario de la energía ahorrada). En la tabla 4 se muestra la información necesaria para la determinación del indicador, el resultado del mismo y se ordenan las mejoras por prioridad.

En el caso de mejoras que impliquen dispositivos únicamente eléctricos, el valor de este indicador corresponderá al valor de la tarifa eléctrica en costo por unidad de energía, análogamente para mejoras que impliquen sistemas únicamente a gas natural corresponderá con la tarifa de gas. En los casos en que la mejora impacte sobre el consumo de energía eléctrica y gas natural el valor de este indicador se encontrará en un rango definido por una cota superior dada por la tarifa eléctrica y una inferior dada por la tarifa de gas natural (tarifa mayor y menor respectivamente).

Tabla 4: Determinación del indicador de eficiencia energética

| <i>Mejora</i> | <i>Instalación en la que impacta</i> | <i>Ahorro de electricidad anual [kWh]</i> | <i>Ahorro gas natural anual [kWh]</i> | <i>Costo total anual de la energía ahorrada* / Energía ahorrada [\$/kWh]</i> | <i>Prioridad</i> |
|--|--------------------------------------|---|---------------------------------------|--|------------------|
| Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED | Iluminación/ Refrigeración | 984.000 | 0 | 2,448 | 1 |
| Control y seccionamiento de la iluminación | Iluminación | 106.200 | 0 | 2,448 | 2 |
| Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia | Refrigeración/ Calefacción | 56.500 | 0 | 2,448 | 3 |
| Reemplazo de heladeras con etiquetado F por heladeras con etiquetado A | Otros equipos energéticos | 15.200 | 0 | 2,448 | 4 |
| Pintar la envolvente con pintura aislante térmica | Refrigeración/ Calefacción | 14.600 | 9.300 | 1,62 | 5 |
| Colocación de cortinas de tela screen | | 139.500 | 101.000 | 1,55 | 6 |
| Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH) | | 336838 | 341.000 | 1,38 | 7 |
| Instalación de termotanques industriales | ACS | 0 | 61.000 | 0,317 | 8 |

Notas:* Tarifa fija Energía Eléctrica Mayo 2017: 2,448 [\$/kWh] - Tarifa fija Gas Natural – Mayo 2017: 0,317 [\$/kWh]

En la tabla 5 se resume el ordenamiento de las mejoras para cada instalación, teniendo en cuenta en primer término el orden de prioridad surgido de la tabla 3 y, seguidamente, contemplando el orden surgido de la tabla 4. Se incluye también el periodo de recupero simple y las emisiones de CO₂ evitadas al año.

Tabla 5: Ordenamiento de las mejoras

| <i>Tipo de energía</i> | <i>Instalación</i> | <i>Mejoras ordenadas a partir de los indicadores de consumo específico de energía y eficiencia energética por instalación</i> | <i>Período de recupero simple [años]</i> | <i>Emisiones de CO2 evitadas al año [ton]</i> | |
|------------------------|---------------------------|---|--|---|-----|
| Energía Eléctrica | Refrigeración | Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED | 1 | 0,13 | 433 |
| | | Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia | 2 | 1,8 | 25 |
| | | Pintar la envolvente con pintura aislante térmica | 3 | 0,25 | 8,1 |
| | | Colocación de cortinas de tela <i>screen</i> | 4 | 2,2 | 80 |
| | | Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH) | 5 | 2,8 | 210 |
| | Calefacción | Reemplazo de motores por motores de alta eficiencia* | 1 | 1,8 | 25 |
| | Iluminación | Reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por LED | 1 | 0,13 | 433 |
| | | Control y seccionamiento de la iluminación | 2 | 0,12 | 47 |
| | Otros Equipos energéticos | Reemplazo de heladeras con etiquetado F por heladeras con etiquetado A | 1 | 3,1 | 6,6 |
| Gas natural | Calefacción | Pintar la envolvente con pintura aislante térmica | 1 | 0,25 | 8,1 |
| | | Colocación de cortinas de tela <i>screen</i> | 2 | 2,2 | 80 |
| | | Colocación de carpintería con doble vidrio hermético (DVH) | 3 | 2,8 | 210 |
| | ACS | Instalación de termotanques industriales | 1 | 7,7 | 11 |

*Nota: se refiere a los motores eléctricos instalados en las UTAs

Para la instalación en estudio es posible formular el programa de ahorro y eficiencia energética en función al ordenamiento de las mejoras detallado en la tabla 5.

CONCLUSIONES

Los indicadores energéticos son utilizados para tener una mejor comprensión del impacto que tiene la aplicación de mejoras y del potencial de eficiencia energética. Los indicadores energéticos definidos para instalaciones hospitalarias son el indicador de consumo específico de energía por cama [MWh/cama] y el indicador de eficiencia energética (costo unitario de la energía ahorrada) [\$/kWh]. El primero se utiliza para evaluar las instalaciones y equipos en los cuales priorizar la aplicación de mejoras y el segundo permite definir el impacto de la mejora en cada instalación o equipo.

La aplicación de estos indicadores junto con el análisis económico (período de recupero simple) y ambiental (cantidad de emisiones de CO₂ evitadas) de cada mejora, permiten definir el siguiente orden de criterios de evaluación:

- 1º) Mayor valor del indicador de consumo específico de energía desagregado.
- 2º) Mayor valor del indicador de eficiencia energética.

3º) Menor período de recupero simple.

4º) Mayor cantidad de emisiones de CO₂ evitadas.

A partir de éstos se formula un Programa de Ahorro y Eficiencia Energética específico para instalaciones hospitalarias que permite a los responsables tomar decisiones para establecer objetivos de eficiencia energética y realizar el seguimiento de su implementación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas. International Energy Agency. OCDE/AIE (2015).

[2] Marta López Cristià Hospitales Eficientes: Una Revisión del Consumo Energético Óptimo. Tesis Doctoral Universidad de Salamanca (2011).

[3] A. S. Szklo, J. BorghettiSoares, M. T. Tolmasquim. Energy consumption indicators and CHP technical potential in the Brazilian hospital sector. Energy Conversion and Management 45 (2004) 2075–2091

[4] R. van Heur. Power Quality Utilization Guide- Hospitals energy efficiency Leonardo Energy (European Copper Institute, 2008), pp. 1–24.

[5] Arocas S., Coria Hoffmann G., Bosc C. “Estrategias metodológicas para la realización de un diagnóstico energético de instalaciones hospitalarias como información preliminar para la definición de un programa de ahorro y eficiencia energética. Aplicación en el pabellón de alta complejidad del higa”. Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica 2018. ISBN 978-987-46987-0-4

[6] Coria Hoffmann G., Arocas S., Bosc C. “Evaluación de medidas de eficiencia energética en el sistema de climatización de una instalación hospitalaria”. Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica 2018. ISBN 978-987-46987-0-4