



EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN HOSPITALARIA

Geraldine D. Coria Hoffmann ¹, Sergio M. Arocas ² y Cristian Bosc ³

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

² UIDET-IAME, Facultad de Ingeniería UNLP, Calle 1 y 47, La Plata, Argentina,
martin.arocas@ing.unlp.edu.ar

³ UIDET-IAME, Facultad de Ingeniería UNLP, Calle 1 y 47, La Plata, Argentina,
cristian.bosc@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

Los hospitales se caracterizan por ser complejos administrativos donde se prestan múltiples servicios médicos y asistenciales de diferente complejidad, requiriendo de una elevada demanda de energía, con suministros energéticos que deben ser estables e ininterrumpibles las 24 horas los 365 días del año. El principal consumo energético de un hospital se da generalmente en las instalaciones de acondicionamiento de aire, específicamente en la ventilación y climatización, debido al estricto control del aire y a las condiciones de climatización específicas para controlar la propagación de enfermedades.

A partir de realizar un diagnóstico energético al pabellón de Alta Complejidad del HIGA San Martín de la ciudad de La Plata, se estimó que el consumo energético del sistema de climatización es del 65% de la energía anual consumida. También se identificaron posibilidades de mejora de costo nulo, costo bajo y con inversión para el uso racional y eficiente de la energía. Particularmente, las medidas que requieren inversión se analizaron desde los aspectos técnicos, energéticos, económicos y ambientales.

De la evaluación del reemplazo del cerramiento actual por doble vidrio hermético (DVH) se concluyó que es posible alcanzar una reducción de hasta 35% del consumo anual de electricidad y hasta 37% del consumo anual de gas natural. Esto se traduce en un ahorro económico estimado de \$930.000 anuales (valores estimados a mayo de 2017), con un período de recupero simple menor a 3 años. Significando conjuntamente una reducción de 210 toneladas/año de CO₂ liberados al medio ambiente.

Además, se analizó la influencia que tiene en el sistema de refrigeración el reemplazo de luminarias fluorescente e incandescente por tecnología LED. Se arribó a que es factible una disminución del 26% del consumo de energía eléctrica, recuperando la inversión en un período de 2 meses y permitiendo evitar la emisión 107 toneladas/año de CO₂.

Palabras Claves: eficiencia energética, climatización, hospitales.



1. INTRODUCCIÓN

La gran dependencia de Argentina de los combustibles fósiles para satisfacer la demanda energética obliga a establecer acciones que permitan disminuir el consumo de energía, con el fin de realizar un uso racional de estos recursos no renovables y mitigar las consecuencias ambientales relacionadas con su utilización. En este sentido se dirige la aplicación de medidas de eficiencia energética, que permiten a un equipo y/o instalación entregar más servicios consumiendo la misma cantidad de energía, o los mismos servicios consumiendo menos energía [1].

El tipo de instalación que se analiza es un hospital, el cual por el servicio que presta, debe estar en operación las 24 horas, los 365 días del año, implicando un elevado consumo energético. Particularmente, los sistemas de acondicionamiento de aire, que incluyen la climatización y la ventilación, representan en conjunto el mayor porcentaje de energía consumida, promediando en general el 45% [2]. Esto se debe a que todas aquellas locaciones en donde se desarrollan servicios de salud deben tener un control estricto de la calidad del aire y mantener condiciones medioambientales específicas con el fin de controlar la propagación de enfermedades [3]. Por esta razón, el marco normativo y las normas técnicas establecen requerimientos de temperatura, humedad relativa y renovación de aire. Por ejemplo, las áreas de cirugía deben mantenerse durante todo el año a una temperatura entre 20°C y 24°C, una humedad relativa entre 45% y 55% y con un mínimo de 20 renovaciones por hora con 100% de aire exterior [4-6].

El gran consumo energético que significa la climatización conlleva a enfocar los esfuerzos en esa instalación con el fin de lograr una reducción de los costos asociados a los suministros energéticos del edificio con el mayor impacto posible, siendo la aplicación de criterios de eficiencia energética la principal medida para lograr la mencionada reducción y mantenerla en el tiempo. En experiencias realizadas en hospitales públicos en Alemania [7] al integrar acciones de eficiencia energética en distintas áreas, se logró un ahorro entre el 25% y el 40% en el gasto en energía de la unidad.

En nuestro país, las acciones tendientes a la eficiencia energética tomaron relevancia a partir del Decreto N°140 del año 2007 [8], en el que se incluye, entre otros ítems, un Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía para Edificios Públicos, aunque las medidas a corto, mediano y largo plazo allí presentadas están restringidas únicamente a los edificios de la Administración Pública Nacional.



El objetivo del presente trabajo es identificar y evaluar criterios técnicos, energéticos, económicos y ambientales de medidas de mejora que contribuyan al uso racional y eficiente de la energía en los sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación de un hospital público.

2. DESARROLLO

La instalación hospitalaria en estudio es el Pabellón de Alta Complejidad “Alberto O. Bossio” del Hospital Interzonal General de Agudos (HIGA) “Gral. José de San Martín”, ubicado en la ciudad de La Plata, en la Provincia de Buenos Aires.

Este pabellón es un edificio de 6 plantas, inaugurado en el año 2008, con una superficie cubierta de 11.280 m², en el que se brindan servicios de guardia, emergencias, diagnóstico por imágenes, terapia intermedia e intensiva y cirugía. Cuenta con un total de 40 camas efectivas, que se utilizan para internación de pacientes, además de 8 camas no efectivas en funcionamiento correspondientes a los quirófanos.

Para la obtención de la información necesaria sobre el funcionamiento y el consumo de energía actual del pabellón, se llevó a cabo un diagnóstico energético de primer grado [9] de las instalaciones, que consistió en la inspección visual de su estado de conservación, la obtención de las características constructivas del edificio, de las características técnicas de los equipos y de información acerca de las condiciones de operación y mantenimiento de los mismos.

Del relevamiento de la instalación de climatización se establece que la misma es llevada adelante a través de un sistema todo-aire centralizado, controlado de manera manual. El sistema está formado por Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs) que acondicionan el aire en lugares alejados de los espacios a climatizar, llegando a los mismos a través de conductos. Estos conductos y las UTAs se utilizan tanto para realizar la refrigeración, calefacción y ventilación de cuatro plantas del edificio (las dos restantes no se encuentran climatizadas). El pabellón cuenta con 25 UTAs con una potencia eléctrica instalada total de 104 kW.

A su vez, para refrigerar o calefaccionar el aire en las UTAs, se utiliza de manera alternativa agua fría o caliente, respectivamente, que se hace circular por los serpentines en las distintas unidades. Para la producción de agua fría se utilizan enfriadoras (chillers) y para agua caliente, calderas. Las enfriadoras disponibles en el pabellón presentan una potencia frigorífica total de 396 TR, con una potencia eléctrica nominal absorbida de 465 kW. En tanto que las calderas instaladas son pirotubulares a gas natural, con una potencia térmica total de 900.000 kcal/h.

Por su parte, la potencia instalada de iluminación en el pabellón es 120 kW (sin balastos), de los cuales el 58% corresponde a luminarias del tipo fluorescentes y el 40% a luminarias

www.aim2018.com.ar



incandescentes. Esta información resulta relevante debido a la influencia de la iluminación en la carga térmica.

En cuanto a las características constructivas del pabellón, que tienen implicancia directa en la climatización debido a las pérdidas/ganancias de energía térmica a través de sus componentes, se observó que la envolvente está construida con hormigón, pintada en el exterior con pintura epoxi sin capa aislante y superficies vidriadas de simple cristal con lámina reflectante externa y cerramientos de aluminio. El área vidriada corresponde al 30% de los 3.900 m² que posee la envolvente de los espacios climatizados.

En base a los datos relevados, se efectuó el cálculo de las cargas de refrigeración y calefacción, para luego estimar el consumo de energía eléctrica y gas natural destinado al funcionamiento de la instalación de climatización.

Para el cálculo de carga térmica de refrigeración [10] se contempló la ganancia térmica por conducción, convección y radiación a través de los vidrios, las ganancias internas (personas, iluminación, equipamiento) y el aporte necesario para el acondicionamiento del aire exterior de renovación. Se despreció la transferencia de calor a través de muros.

Teniendo en cuenta las cargas mencionadas, se obtuvo el consumo de energía para la refrigeración del pabellón, correspondiente al periodo noviembre – abril, proponiendo un valor de temperatura exterior obtenido como el promedio entre la temperatura media y la máxima de cada mes [11]. De la proyección realizada se estima que el pabellón consume 1.200 MWh de energía eléctrica anuales para el funcionamiento del sistema de refrigeración, que representa alrededor del 50% de la electricidad total anual demandada en el edificio.

En cuanto a la carga térmica de calefacción [12], la misma incluyó las pérdidas de energía térmica por conducción y convección a través de muros y vidrios y el calor que se debe aportar para acondicionar el aire de renovación proveniente desde el exterior, incluyendo factores que consideran la orientación del edificio y las pérdidas por conductos y cañerías.

La proyección realizada estima que el consumo requerido para calefacción, considerando que la misma funciona en el período mayo - octubre, asciende a 93.200 m³ de gas natural para el funcionamiento de las calderas y 247 MWh de electricidad por parte de las UTAs.

Totalizando, las instalaciones de climatización y ventilación para el acondicionamiento de aire del pabellón presentan un consumo anual estimado de 1447 MWh de energía eléctrica y 93.000 m³ de gas natural, representando en su conjunto cerca del 65% del consumo energético total del establecimiento.



La estimación de los consumos permite establecer una línea base de referencia para caracterizar cuantitativamente el potencial de ahorro energético luego de la aplicación de medidas de eficiencia energética. Además, permite identificar la relevancia de las medidas en cada uno de los factores contemplados en la carga térmica.

Estas medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía pueden ser divididas entre aquellas que tienen un costo de implementación nulo o bajo, que mayoritariamente están relacionadas con tareas de revisión y mantenimiento periódicas, y aquellas que presentan una inversión asociada, requiriendo un análisis económico preliminar para establecer la viabilidad de su implementación.

Del análisis de los factores que influyen en la carga térmica surge que el mayor gasto energético se utiliza para acondicionar el volumen de aire impuesto por las condiciones de renovaciones de aire exterior de cada área sanitaria del pabellón. El segundo factor relevante es la carga térmica de radiación que ingresa al pabellón a través de los vidrios, específicamente en la refrigeración. Por último, en cuanto a la refrigeración, influye la potencia instalada en el sistema de iluminación.

En base a esto, las mejoras en eficiencia energética propuestas para el pabellón con costo nulo o bajo de implementación son:

- Realizar una revisión visual periódica de los conductos y cañerías, con el propósito de reconocer posibles averías en el aislamiento de los mismos. En caso de hallarlas, es menester reparar estas roturas para evitar pérdida de energía.

Los conductos para el transporte de aire presentes en el pabellón totalizan aproximadamente 800 m lineales, por lo que es muy importante mantener el aislamiento en buenas condiciones para evitar el aumento del consumo de energía.

- Realizar el mantenimiento de las enfriadoras al menos una vez al año, preferentemente en la época del año en que no son utilizadas, con el objetivo de evitar que su COP (coeficiente de performance) disminuya y lograr que todas las enfriadoras se encuentren disponibles para funcionar cuando sean requeridas.
- Realizar el mantenimiento para el correcto funcionamiento del proceso de ablandamiento del agua que circula por las UTAs, con el propósito de prevenir depósitos e incrustaciones en los serpentines. Esto permite evitar la disminución de la eficiencia de la transferencia de energía térmica del agua al aire, lo que impacta en el consumo energético de la instalación.

En tanto que las medidas que tienen asociado un costo de implementación a considerar son:

- Reemplazar la carpintería con vidrio simple y film reflectante por carpintería con doble vidrio hermético.

www.caim2018.com.ar



- Reemplazar las luminarias existentes (incandescentes y fluorescentes) por luminarias de tecnología LED, con el propósito de disminuir la carga térmica interna producida por la iluminación.

Las mejoras que requieren inversión se analizaron desde los aspectos técnicos, energéticos, económicos y ambientales.

Energéticamente, para la obtención del ahorro de energía producido por cada mejora introducida, no se tuvo en cuenta el consumo de energía de las UTAs ya que el mismo será igual en todas las condiciones (actual y con mejora). Esto se debe a que la energía consumida por las UTAs está asociada al funcionamiento de los ventiladores que manejan el aire requerido por las condiciones de ventilación, el cual se tendrá que mantener constante. Por lo tanto, el ahorro energético del período de refrigeración se debe exclusivamente al ahorro de electricidad por la disminución del uso de las enfriadoras y en el período de calefacción al ahorro de gas natural de las calderas.

En el aspecto económico, teniendo en cuenta las características del pabellón, la tarifa considerada para la electricidad corresponde a la establecida en mayo del 2017 [13] para un gran usuario menor -GUME- (Tarifa T3) en media tensión, más un 40% correspondiente a los impuestos (IVA, Contribución Provincial, Contribución Municipal, Fondo Provincial), totalizando un valor promedio de 2,448 \$/kWh. En tanto que para el gas natural se consideró la tarifa vigente en mayo del 2017 para un usuario de categoría Servicio General P3 con un 30% estimado de impuestos, representando un valor total de 3,10 \$/m³.

En el análisis económico se incluyó el período de recupero simple de la inversión, obtenido como la relación entre el costo de la inversión de la mejora y el ahorro económico anual producido por la misma, considerando que el valor de la tarifa no varía con el tiempo.

Desde el punto de vista ambiental se analizaron las emisiones evitadas de CO₂ en el caso de implementación de cada mejora. Para ello se tomó el factor de emisión de CO₂ de la Red Argentina de Energía Eléctrica del año 2015 de 0,44 toneladas de CO₂ por MWh de electricidad consumida, calculado por el Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina [14]. En tanto que para el gas natural se fijó un valor de emisión de 0,0018 CO₂ por m³ consumido [15].

Las dos mejoras analizadas, el reemplazo de los vidrios y de las luminarias, se introducen a continuación, junto con la evaluación técnica correspondiente.

2.1. Reemplazo de vidrios

La mejora que se propone en relación a la superficie vidriada de la envolvente es el reemplazo de los vidrios simples existentes de 6 mm de espesor con film reflectante en el exterior, por carpintería

www.aim2018.com.ar



con vidrio doble hermético (DVH). Éste consta de dos capas de vidrio con aire seco en reposo entre ellas, todo herméticamente cerrado para evitar el paso de la humedad. Para el pabellón en estudio se propone que el vidrio interior de 4 mm de espesor sea de baja emisividad (low-e) ya que permite disminuir la salida de calor desde el interior, en tanto que el vidrio exterior, también de 4mm, se sugiere que sea reflectivo para reducir el ingreso de calor por radiación.

La incidencia del reemplazo de los vidrios en la transferencia de calor se puede observar en el valor del coeficiente global de transferencia U obtenido a partir de la Ecuación (1).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \sum_j \frac{e_j}{k_j}} \quad (1)$$

Siendo h_i el coeficiente convectivo interior, h_e el coeficiente convectivo exterior, e_j el espesor del material j y k_j la conductividad térmica del material j .

Aplicándolo para el vidrio actual se obtuvo un valor de $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ y para el doble vidrio hermético se reduce a $1,92 \text{ W/m}^2\text{K}$. El factor de mayor incidencia en la disminución del coeficiente U es la introducción del aire estanco entre las capas de vidrio, cuyo bajo valor de conductividad térmica ($0,019 \text{ W/mK}$) hace que disminuya el coeficiente global, en este caso, en un 60%.

Complementariamente, la utilización de DVH produce que se reduzca la transmisividad del vidrio estimativamente en un 40%, lo que impacta de manera directa, durante el período de refrigeración, en la ganancia térmica por radiación en el establecimiento.

2.2. Reemplazo de luminarias

Como se mencionó anteriormente, la iluminación representa un factor a considerar dentro del cálculo de la carga térmica de refrigeración, siendo su incidencia dependiente del tipo de luminaria instalada (el calor sensible transferido al ambiente por luminarias incandescentes se estima en $0,86 \text{ kcal/h}$ por watt instalado, en tanto que para las fluorescentes se debe agregar a ese valor un 25% más debido al balasto [10]).

Evaluando esto se propone como mejora reemplazar las luminarias incandescentes y fluorescentes instaladas en los niveles climatizados del pabellón por tecnología tipo LED, manteniendo el nivel de intensidad de iluminación. Con este recambio la potencia instalada en luminarias disminuye aproximadamente en 61%.



3. RESULTADOS

El reemplazo del vidrio simple por doble vidrio hermético (DVH) y de las luminarias fluorescentes e incandescentes por LED tienen un impacto en el consumo de energía de las enfriadoras en el período de refrigeración (noviembre-abril). La implementación de DVH permite disminuir el consumo de electricidad en un 35% anual, mientras que la instalación de luminarias LED lo hacen en un 26%, tal como se observa en la Figura 1.

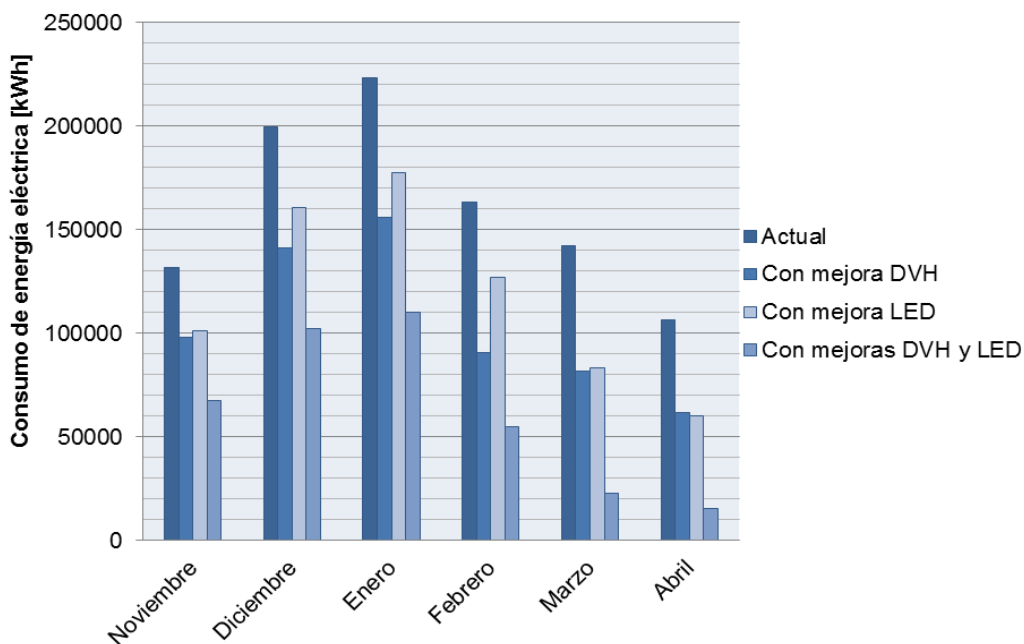


Figura 1: Consumo de energía eléctrica de las enfriadoras en la situación actual y con mejoras

En tanto que la disminución del consumo de gas natural con la aplicación de DVH para mayo - octubre, correspondiente al período de calefacción del edificio, se valoriza en un ahorro anual de aproximadamente 34.000 m³, lo que representa un 37% del consumo actual de gas natural del pabellón, como se observa en la Figura 2.

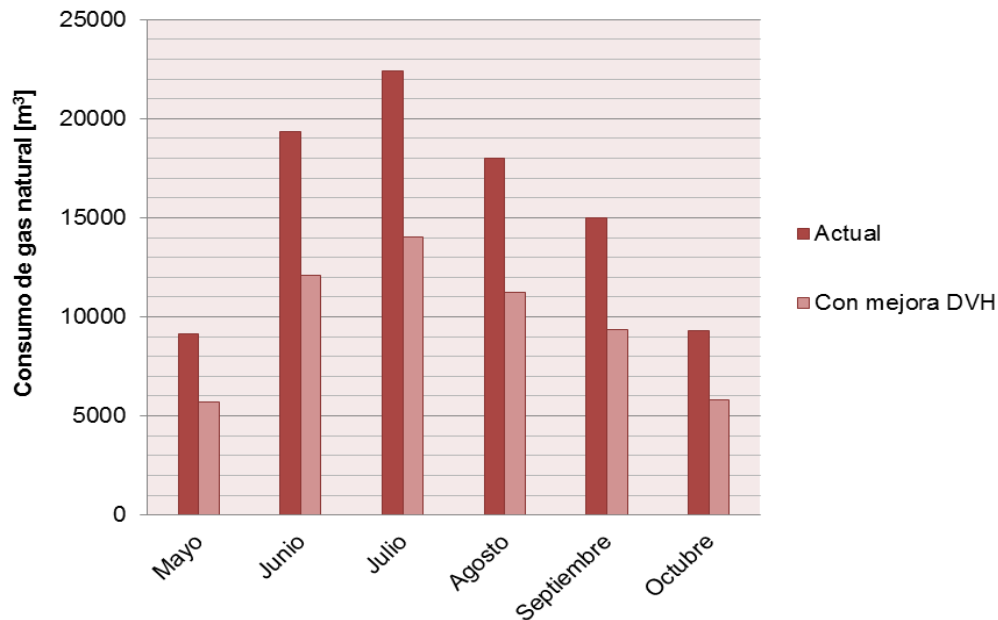


Figura 2: Consumo de gas natural de las calderas en la situación actual y con mejora

En términos económicos, la aplicación de DVH significa un ahorro anual estimado de \$930.000, contemplando su impacto en la refrigeración y calefacción del pabellón. Mientras que el reemplazo de las luminarias permitiría ahorrar hasta \$620.000 anuales. Con la implementación de las dos mejoras se disminuiría cerca de 20% el gasto anual en suministros energéticos.

La inversión en DVH, estimada en \$2.600.000 en abril del 2017, tiene asociado un período de recuperó simple menor a 3 años. Para la aplicación de las luminarias de tecnología LED se requiere invertir \$284.000 (precios de abril del 2017), pudiendo ser recuperada en 6 meses si solamente se considera su impacto en la instalación de refrigeración. Este tiempo de recuperó disminuye a aproximadamente 2 meses si además se contempla el ahorro que genera en la propia instalación de iluminación.

En cuanto al impacto ambiental, el reemplazo de la superficie vidriada de la envolvente evitaría la emisión de aproximadamente 210 toneladas anuales de CO₂ y con el reemplazo de las luminarias se evitarían alrededor de 107 toneladas de CO₂ al año.

4. CONCLUSIONES

De todas instalaciones utilizadas para el funcionamiento de los establecimientos hospitalarios, la climatización, asociada al sistema de ventilación, es la que mayor consumo energético posee,



presentando la mayor potencialidad a la hora de aplicar mejoras tendientes al uso racional y eficiente de la energía.

El caso de estudio para evaluar estas mejoras es el pabellón de Alta Complejidad del Hospital San Martín de la ciudad de La Plata. Las principales mejoras identificadas y analizadas en este establecimiento son el reemplazo del vidrio simple actual por doble vidrio hermético (DVH) y el reemplazo de luminarias fluorescentes e incandescentes por tecnología tipo LED.

De su evaluación técnica, energética, económica y ambiental surge que la implementación de DVH permitiría disminuir un 35% el consumo de energía eléctrica anual y 37% el consumo de gas natural, respecto a la situación actual, representando un ahorro económico de \$930.000 al año y cuya inversión puede ser recuperada en menos de 3 años.

En tanto que la aplicación de luminarias LED, analizando su impacto en la instalación de refrigeración, contribuiría a reducir el consumo de electricidad anual en 26%, con un ahorro económico anual asociado de \$620.000 y recuperando la inversión en 6 meses o en 2 meses si además se considera el ahorro del consumo eléctrico de la instalación de iluminación.

Su impacto ambiental también es notablemente positivo, llegando a evitarse con ambas mejoras alrededor de 317 toneladas de emisión de CO₂ al año.

En trabajos futuros, para definir con mayor precisión los ahorros energéticos y económicos a través de la aplicación de medidas de eficiencia energética, resultaría necesario realizar mediciones reales en campo tendientes a especificar los consumos de energía de la instalación de climatización y su variación diaria. Además es conveniente incluir en el análisis económico, indicadores que reflejen la variación del dinero en el tiempo, como reemplazo o complemento del período de recupero simple.

5. REFERENCIAS

[1] Consejo Mundial de Energía. *Eficiencia energética. Una receta para el éxito*. Consejo Mundial de Energía, Londres, 2010.

[2] FENERCOM. *Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales*. Gráficas Áreas Montano S.A., Madrid, 2010.

[3] ASHRAE. *HVAC Design manual for hospitals and clinics*. ASHRAE, Atlanta, 2013.

[4] Decreto Provincial N°3280/1990. Reglamento de establecimientos asistenciales y de recreación existentes en la Provincia de Buenos Aires. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. 1990.



- [5] Resolución N°573/2000. Normas de organización y funcionamiento del Área de Cirugía de los establecimientos asistenciales. Ministerio de Salud de la República Argentina. 2000.
- [6] Norma ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008. Ventilation of Health Care Facilities. ASHRAE. 2008.
- [7] Löhr W., Gauer K. *Eficiencia energética en hospitales públicos*. Santiago de Chile, 2009.
- [8] Decreto Nacional N°140/2007. Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía. Presidencia de la Nación Argentina. 2007.
- [9] Hernández M., Labrador L. *Diagnóstico energético*. Revista Energía y tú, N°25, 2004.
- [10] Carrier. *Manual de aire acondicionado*. Marcombo S.A. de Boixareu Editores, España, 1980.
- [11] Atmospheric Science Data Center de la NASA. Surface meteorology and Solar Energy. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets@nrcan.gc.ca> (Accedido el día 03/06/2017)
- [12] Quadri N. *Instalaciones de aire acondicionado y calefacción*. Edit. Alsina, Buenos Aires, 2008.
- [13] Resolución MISP N°419/2017. Revisión tarifaria de energía eléctrica. Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires. 2017.
- [14] Ministerio de Energía y Minería de la Nación. Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ de la Red Argentina de Energía Eléctrica. <https://www.minem.gob.ar/www/830/25597/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica> (Accedido el día 06/07/2017)
- [15] Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531> (Accedido el día 06/07/2017)