

Estudio energético de la USBI-Veracruz para buscar estrategias que conduzcan a la sustentabilidad de sus espacios

Adrián Vidal Santo, Josué Domínguez Márquez, Jesús Reyes Guzmán, Luis Héctor Porrágas Beltrán y Estela del Carmen Fernández Rodríguez.

Facultad de Ingeniería Región Veracruz, Universidad Veracruzana
Av. Adolfo Ruiz Cortines, No. 455, Fracc. Costa Verde, CP 94294, Boca del Río, Ver.
Email: avidal@uv.mx Tel: 2292556348.

Resumen

Derivado de los altos costos por facturación eléctrica y de las insuficientes condiciones de confort térmico en el interior de la biblioteca de la USBI-Veracruz, le fue solicitado al grupo de ahorro de energía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, realizar un estudio energético para conocer cómo se estaba efectuando el consumo de la energía y qué equipos eran los que más contribuían al mismo. En este artículo se detallan los estudios realizados y el análisis cualitativo y cuantitativo de los consumos energéticos al interior de la USBI. Con base en este análisis se pudo identificar los equipos que demandan el mayor consumo energético y las causas que lo provocan. Finalmente se plantearon las estrategias que podrían ser útiles para reducir dichos consumos y hacer de la USBI un espacio con un programa de uso racional y eficiente de la energía, que conduzcan a la sustentabilidad del mismo, donde los usuarios se sientan confortables.

1. Introducción

En zonas cálidas donde la temperatura y la humedad ambiental son muy altas, el uso de equipos de aire acondicionado (AA) es fundamental; sin embargo, la tecnología de estos equipos es por compresión de vapor, lo que conduce a un alto consumo de energía eléctrica; por lo que se deben buscar estrategias para reducir la carga térmica en los recintos. En este sentido investigaciones como las de **Dhaka et al., 2012**, muestran que un diseño adecuado del edificio basado en una envolvente eficiente puede reducir el consumo de energía y consecuentemente el tamaño del sistema de acondicionamiento de aire. **Dhaka et al., 2012**, Mencionan también que el diseño eficiente de los ventanales puede reducir hasta en un 25% el consumo de energía del edificio. Sin embargo, dado que, a través del techo se tiene la mayor ganancia de calor dominante, es esta parte de la envolvente donde se deben dirigir los esfuerzos para disminuir el consumo de energía a través de la implementación de un aislamiento eficiente.

Hablar de sustentabilidad en edificios de bibliotecas, comenta **Shane, 2012**, implica trabajar paralelamente en las áreas ambientales y económicas. La sustentabilidad ambiental incluye un manejo óptimo de los recursos energéticos, el agua y un manejo responsable de los desechos y va de la mano con la sustentabilidad económica al considerar los presupuestos a largo plazo. **Shane, 2012**, comenta también que muchas

bibliotecas se están diseñando con base en el sistema LEED (Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental) que es un sistema internacionalmente reconocido, que proporciona verificación por parte de un tercero, de que un edificio fue diseñado y construido tomando en cuenta estrategias encaminadas a mejorar su desempeño ambiental.

Pero, ¿basta con realizar cambios en la envolvente del edificio para disminuir el consumo de energía?, ¿basta con construir edificios con diseños bioclimáticos?, por supuesto que no, porque, si bien se ha mencionado, en este estudio, que la principal causa de consumo de energía en los edificios ubicados en zonas cálidas es la operación de los AA, hoy en día estamos inmersos en una sociedad consumista, lo que implica que los usuarios de la biblioteca, llevan consigo dispositivos electrónicos (teléfonos inteligentes, tablets y laptops) que requieren ser cargados continuamente de energía y es de uso común conectarse en los contactos disponibles en las bibliotecas y/o salones de clases. Por ello **J.C., Sweeney et al. 2013**, mencionan las tres principales conductas que se podrían aplicar para el ahorro de energía, a decir, conductas de restricción, que permiten ahorrar energía a través de la reducción de las horas de uso de los equipos o sistemas; conductas de eficiencia, que permiten ahorrar energía comprando equipos más eficientes y conductas de mantenimiento, que permiten ahorrar energía aplicando programas de mantenimiento a los equipos, para que éstos se mantengan en condiciones óptimas de operación. A su vez, los autores proponen un modelo para ahorrar energía que se basa en: a) normas cognitivas que reflejan actitudes, valores, creencias y comprensiones acerca de las conductas en el consumo de la energía, tales como confort esperado o una preocupación general por el medio ambiente; b) la cultura material que representa los productos materiales, tales como tecnologías disponibles, los productos energéticamente eficientes y fuentes de energía existente y los atributos de las construcciones; c) las prácticas de energía que reflejen los aspectos reales de las conductas en el consumo de la energía, tales como las actividades y procesos que se realizan en los edificios para el ahorro de energía.

Otras investigaciones como las de **P.T., Bhaskoro et al., 2013**, pueden ser de utilidad para diseñar algoritmos que permitan conocer el horario de ocupación de la biblioteca y diseñar un control adaptivo a la demanda de los espacios, la cual sería directamente proporcional a la carga de calor generada en el interior. De igual manera tal control deberá reaccionar a las condiciones ambientales durante el horario de operación de la biblioteca.

Los modelos numéricos y simulaciones de consumo energético en edificios, como los desarrollados por **V. Machairas et al., 2014**, harían del estudio realizado un análisis más detallado, porque se tendría una herramienta que brindaría información del comportamiento del edificio al implementar alguna estrategia para, por ejemplo, reducir la carga térmica; sin embargo, esta parte se sale del objetivo principal de este trabajo.

En este artículo se describe el estudio energético realizado a la Unidad de Servicios Bibliotecarios y de información (USBI) de la Universidad Veracruzana Región Veracruz, realizado por el grupo de ahorro de energía de la Facultad de Ingeniería Región Veracruz.

2. Metodología

El estudio se inició el 20 de agosto del 2011 y se concluyó el 03 de octubre del mismo año. El objetivo del estudio fue examinar el consumo energético de la USBI para detectar los principales consumidores de energía y tomar acciones, en la medida de lo posible, que condujeran a una disminución del costo de facturación eléctrica.

2.1. Características de la alimentación eléctrica de la subestación de la USBI

La energía eléctrica que recibe la subestación de la USBI se suministra a través de sistemas de media tensión de 13,200 V. Esta alimentación proviene de dos fuentes diferentes, una de ellas se ubica a un costado de la calle de Reyes Heróles y la otra del lado de la avenida Ruíz Cortines. La alimentación llega de forma subterránea a los transformadores trifásicos. El sistema eléctrico se encuentra alimentado por dos transformadores IEM tipo pedestal de 500 kVA y 750 kVA, respectivamente, conectados en anillo, este arreglo brinda la flexibilidad al considerar el caso, de que si alguna de las fuentes de alimentación se viera interrumpida, se pudiera emplear la fuente alterna; lo cual da la ventaja de tener energizados y operando los transformadores, mientras se corrige la falla que pudiera causar la interrupción de la alimentación. De igual manera, si la falla se presenta en alguno de los transformadores que forman parte del anillo, el tiempo de interrupción será solamente el necesario para seleccionar y aislar el equipo con problemas, continuando energizado el otro transformador. El transformador de 750 kVA se usa para energizar el alumbrado y equipos misceláneos con salida entre fases de 220 V y entre fase y neutro de 127 V y el de 500 kVA para el suministro de energía al sistema de aire acondicionado, está conectado en estrella-estrella, con salida entre fases de 440 V. Ambos están montados en sus respectivas bases de concreto para operar a la intemperie. Las principales cargas que están conectadas al circuito de energía eléctrica son:

- Aires acondicionados y manejadoras de aire
- Copiadoras
- Alumbrados y contactos
- Sistemas de cómputo, comunicación y redes.

En la Fig. 1 se muestra el proceso de entrega de energía eléctrica en media tensión (13.2 kVA), hasta las cargas directas con el usuario.

Con el fin de obtener datos, para analizar el sistema de distribución de energía eléctrica, se instalaron tres analizadores de redes, uno en cada transformador y un tercero en el centro de carga del SIT, por un espacio de tiempo de alrededor de una semana, realizando el monitoreo en intervalos de 10 minutos. La Fig. 2 es una imagen del transformador de 750 kVA y la colocación del analizador de redes para el monitoreo.

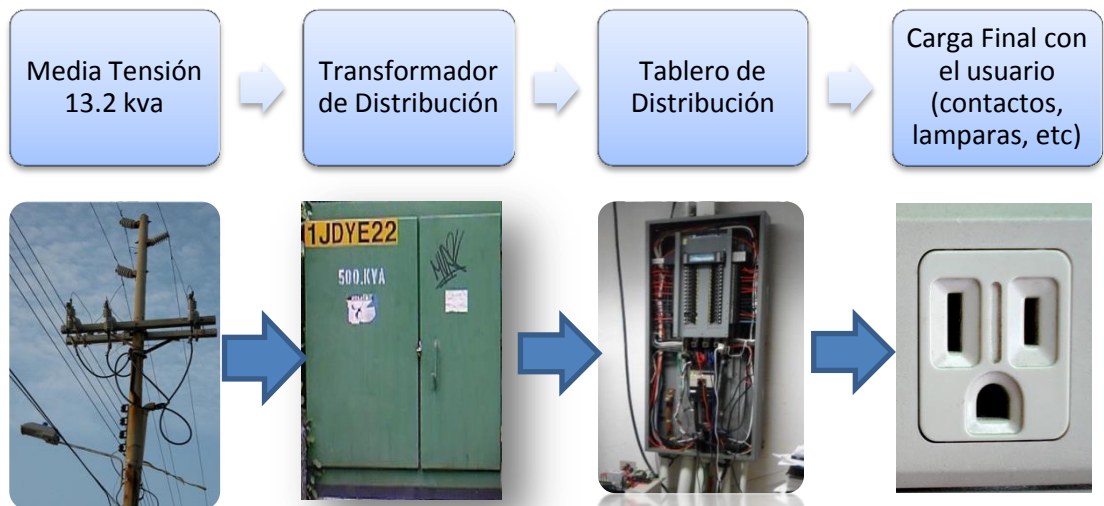


Fig. 1. Esquema de distribución eléctrica en la USBI.



Figura 2. Conexión del Analizador de redes en transformador para alumbrado.

2.2. Análisis del suministro de energía para alumbrado y equipos de bajo consumo.

Para monitorear el suministro de energía eléctrica del sistema de alumbrado y equipos misceláneos (equipos de bajo consumo), se utilizó el analizador de redes modelo 3945-B de la marca AEMC en el transformador de 750 kVA. El analizador se instaló a las 11:40 am del día sábado 20 de agosto de 2011 y se retiró a las 9:50 am de día sábado 27 de septiembre del mismo año, registrando los parámetros eléctricos de este sistema por un lapso aproximado de 166 horas, obteniéndose los resultados siguientes:

El valor promedio medido del voltaje entre las fases y el neutro fue de 133 V, como se puede observar en la Fig. 3 (a), donde se aprecia también una interrupción del voltaje el día 26 de agosto de las 12:50 a las 13:20, esto debido a que se cortó

momentáneamente el suministro de energía para realizar trabajos de reparación en la línea del otro transformador.

En los puntos para toma de corriente (contactos) se registraron voltajes promedios de 132 V en las áreas interiores de la biblioteca, lo que manifiesta que no hay pérdidas de voltaje desde el transformador a los puntos de uso, pero dicho valor de voltaje es por cinco unidades superior a lo especificado (127 V) por la norma NOM-001 SEDE-2005. Sin embargo, no es una condición crítica que pudiera dañar los equipos conectados. El voltaje promedio medido entre fases estuvo en el rango de los 230 volts, Fig. 3(b). Durante el tiempo de monitoreo se mantuvo una frecuencia de 60 Hz.

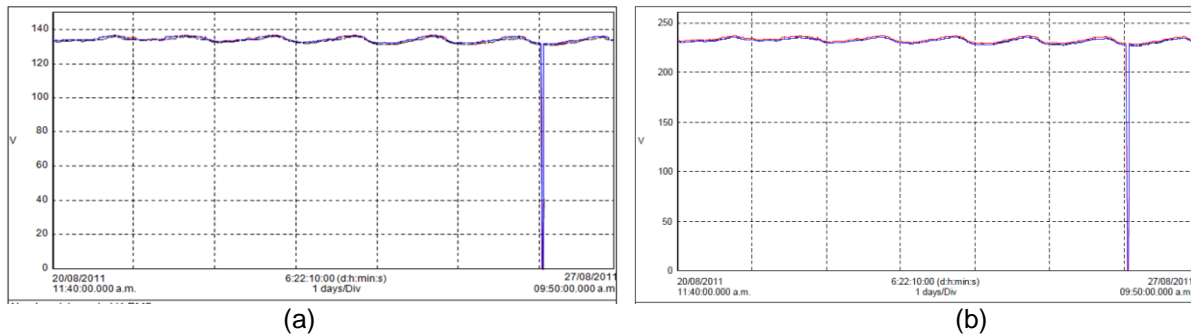


Fig. 3. (a) Voltaje entre fase y neutro. (b) Voltaje entre fases. Ambos voltajes se encuentran un tanto superior a lo recomendado, lo cual es característico en edificios con subestación propia; sin embargo, esta pequeña sobretensión no afecta la operación adecuada de los equipos conectados.

2.3. Amperaje en conductores de fase y de neutro.

En la Fig. 4 (a), se puede observar la corriente que circula por las líneas de fases. Dado que las mediciones se iniciaron un día sábado, se aprecia en la gráfica que existe un amperaje promedio de 50 A para sábado y domingo, y que este se triplica en los días de la semana. Aunque hay poca afluencia de estudiantes los sábados, se alcanza a ver que este amperaje se mantiene aún en domingo. Investigando se encontró que existen muchos equipos que quedan energizados, porque los centros de carga están programados para quitar la mayoría de las cargas de lunes a viernes, pero hay que hacer una valoración para conocer si es de suma importancia dejar el resto de la carga conectada. También se observó que hay una elevada circulación de corriente en el neutro (línea verde de la Fig. 4 a), lo cual no es normal debido a que en los sistemas trifásicos se suponen cargas balanceadas (igual número de potencia consumida por fase), aunque muchas veces es muy difícil balancear estas cargas, siempre hay un desbalanceo entre fases permitido de acuerdo a la norma NOM-001-SEDE-2005, en la cual también se establece lo siguiente “Un sistema de tres fases cuatro conductores conectado en estrella utilizado para suministrar corriente eléctrica a cargas no lineales, puede requerir que el sistema esté proyectado de modo que permita que pasen por el neutro corrientes altas producidas por armónicos”. La corriente que circula en el neutro alcanzó valores hasta del 45% (101 A) de la corriente que circuló como máximo durante el periodo de medición (222 A). Esto nos lleva a establecer que además del desbalanceo que existe entre las líneas, la otra razón por la que existe demasiada corriente en el neutro, es debido a la presencia de armónicas en el sistema eléctrico de

la USBI, éstas provocadas por todas aquellas cargas llamadas no lineales (inductivas y capacitivas), principalmente por las computadoras y los balastos electrónicos de las lámparas. En la Fig. 4 (b), se muestran los valores registrados de distorsión total armónica de voltaje y corriente. Mientras que la distorsión armónica del voltaje se encuentra por debajo del límite permitido (5%), para la distorsión total de la corriente se registran valores superiores al 20% lo cual podría llevar al degradamiento del transformador por efecto de armónicas. Para evitar esto se pueden instalar filtros de armónicas o reactores de línea y monitorear los valores de las armónicas antes y después de la instalación de estos equipos.

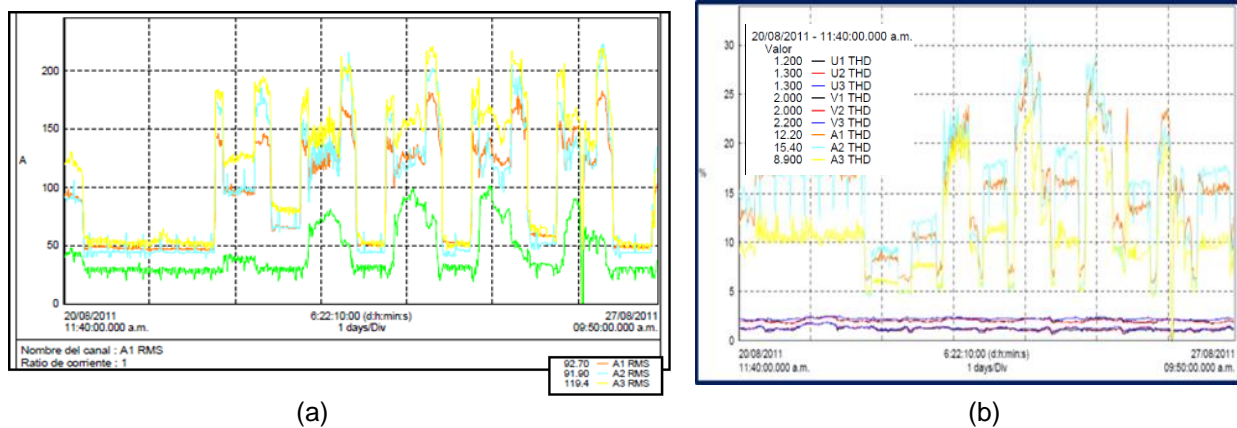


Fig. 4. (a) Amperaje en fases y neutro. (b) VTHD y ATHD. Distorsión total armónica en voltaje y amperaje en el transformador de alumbrado y equipos misceláneos.

En la Fig. 5, se muestra el consumo de potencia real, potencia aparente y potencia reactiva durante el periodo registrado. Los dos picos de potencia se detectaron: de 5:30 am a 8 am, horario de llegada del personal que labora de lunes a viernes en la USBI y de 4 pm a 8 pm, también de lunes a viernes. Los valores máximos registrados fueron de 82.17 kVA y 81.68 kW para las potencias aparente y real, respectivamente. Se consumen en promedio 75 kVA de los 750 disponibles, es decir, en semanas sin eventos en las salas de usos múltiples, en las que se requiera consumo de energía fuera de lo habitual, el porcentaje de utilización del transformador es del 10%, por lo que se considera que es un transformador con demasiada capacidad para la carga real que satisface y que sin embargo, se debe de pagar por mantenerlo energizado, lo que representa un costo innecesario en la facturación eléctrica.

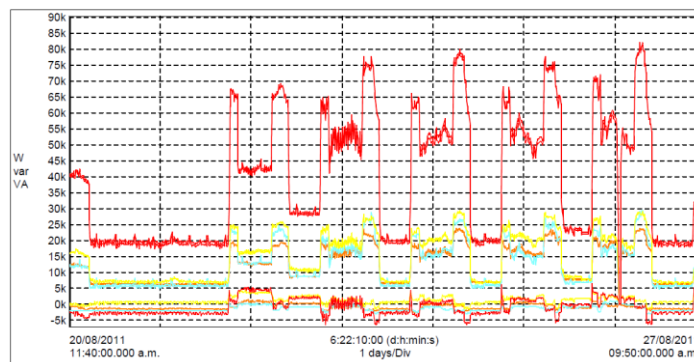


Fig. 5. Valores de la potencia real, aparente y reactiva en el transformador de alumbrado y misceláneos.

2.4. Iluminación de los espacios

La USBI cuenta con 732 lámparas tipo T8 2 x 32 W y 448 tipo T8 2 x 55 W ubicadas en la planta baja, planta alta y sótano. La cafetería tiene 24 lámparas tipo T8 2 x 22 W y en la planta alta se cuenta con 14 alerones, cada uno tiene 36 lámparas de tipo T8 1 x 55 W. Las luminarias de la planta baja tienen un tiempo de encendido desde las 5:30 am hasta las 7:00 am y de 6:00 pm a 09:00 pm. Las lámparas de aditivo metálico son siete piezas de 750 W y tienen el mismo horario de encendido programado. Existen también nueve lámparas de emergencia ubicadas en la entrada del edificio. Para la medición (de día y de noche) de los lúmenes en el interior de la USBI, se utilizó el luxómetro analógico marca Kyoritsu, mod. 5200.

En el primer nivel se midieron los lumens en áreas de trabajo y pasillos encontrándose en pasillos valores superiores a 100 lumens/m², mientras que en oficinas y áreas de cómputo en promedio se registraron 350 lumens/m². La NOM-025-STPS-2008, en el apartado siete, marca los requerimientos de iluminación para pasillos interiores, mínimo 50 luxes (lumens/m²); y en el caso de oficinas, aulas y áreas de empaque y ensamble mínimo 300 luxes, por lo que se puede decir que esta zona se tiene buena iluminación. En el segundo nivel se registraron las siguientes mediciones: en el área del fondo 400 lumens/m², en el ala izquierda, área de consulta y librerías, se registraron en promedio 100 lumens/m², en el ala derecha, sección fuera de uso, se registraron 100, 80 y 420 lumens/m² y en el área frontal, zona de lectura 500 lumens/m². En la planta baja los valores mínimos registrados fueron de 400 lumens/m².

Estos resultados indican, que si bien los valores de las mediciones de la iluminación en el primer nivel y planta baja se encuentran dentro de los aceptables, no sucede lo mismo en la parte superior, donde la iluminación es deficiente de acuerdo con la NOM-025. Es conveniente agregar que en ocasiones la distribución del mobiliario limita el campo de iluminación de las lámparas.

2.5. Análisis de parámetros eléctricos del SIT

En el SIT (Servicio de Información y Tecnología) de la USBI el monitoreo se inició el día 27 de agosto a las 11:00 am y se concluyó el día 2 de septiembre a las 10:50 am; se utilizó el analizador de redes AEMC 3945-B.

El voltaje promedio entre fases y neutro medido fue del orden 133 V, mientras que el voltaje promedio entre fases era del orden de 230 V.

En lo que respecta a la corriente se pudo notar que las fases se encuentran tan desbalanceadas, al grado que que circula más corriente en el neutro que en la fase 1, lo que contribuye proporcionalmente al desbalanceo de fases en el transformador. El desbalanceo de fases y neutro del SIT se puede atribuir a dos causas: una de ellas es el uso del equipo de cómputo y la segunda al hecho de que los equipos de cómputo por sus componentes electrónicos son fuente natural de armónicos.

El análisis de la Fig. 6, nos permite deducir que la principal fuente de armónicos en el SIT son los equipos de cómputo (servidores), ya que si observamos el periodo en que no hay servicio en la biblioteca; se mantienen diferentes corrientes en cada fase, y la corriente en el neutro es superior a la de la fase 1. Si bien este desbalanceo no tiene un gran impacto en el transformador, sí puede dañar al mismo equipo que causa el desbalanceo, ya que puede dar lugar a sobrecalentamiento de éstos, lo que conllevaría a daños y muy probablemente a pérdida de información. En cuanto al porcentaje de desviación total armónica por amperaje en la fase 1, esta tiene un valor promedio de 60%, mientras que para la fase 2 y 3 es 20 y 26% respectivamente (ver Fig. 6 b); valores que rayan y superan el límite de lo permitido por la norma, como se explicó en secciones anteriores, y lo que explica el desbalanceo crítico en esta sección.

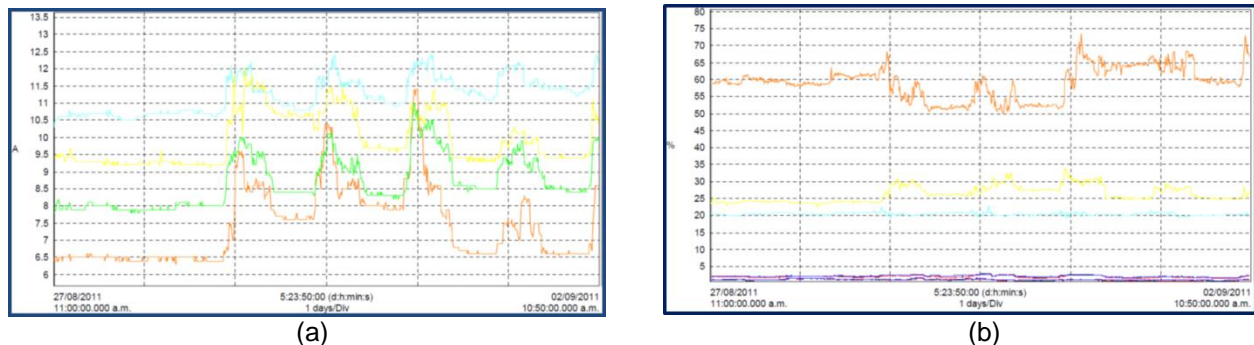


Fig. 6. (a) Amperaje en fases y neutro del SIT. (b) VTHD y ATHD. Distorsión total armónica en voltaje y amperaje en el centro de carga del SIT.

2.6. Sistema PowerLink

Un punto a favor que se encontró en los centros de carga, es el sistema programable POWERLINK con el que cuentan, el cual permite programar el horario, los días y las cargas que deberán entrar en operación y de igual manera en que deberán desconectarse (Fig. 7). Esto, representa una medida de ahorro de energía.

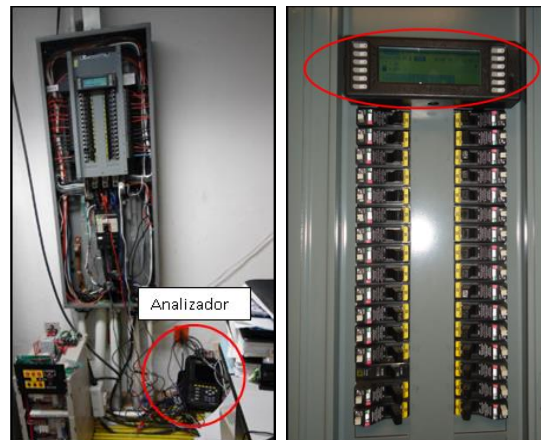


Fig. 7. Centros de cargas con sistemas programables para el control de cargas.

2.7. Análisis de los sistemas de aire acondicionado.

El Sistema de Acondicionamiento de Aire (AA) en la USBI está integrado por equipos de tipo paquete para la planta alta, planta baja y salas de conferencia, mientras que equipos mini split (2350 W) están instalados en algunas oficinas. En la Tabla 1, se detallan las cantidades y capacidades de estos equipos y en la Fig. 8, se muestra el tipo de sistemas de AA.

Tabla 1. Características de los equipos de aire acondicionado.

TIPO DE AA	CANTIDAD PZA.	TON REFRIGERAC.	VOLTAJE/FASES/FREC
PAQUETE	10	40	440/3/60Hz.
PAQUETE	1	25	440/3/60Hz.
PAQUETE	1	10	440/3/60Hz.
PAQUETE	1	7.5	440/3/60Hz.
PAQUETE	9	5	440/3/60Hz.
MINISPLIT	5	3	220/2/60Hz.
MINISPLIT	2	2	220/2/60Hz.

El análisis a los sistemas de aire acondicionado (AA) consistió en la inspección de los equipos, rejillas de succión y descarga de aire, medida de la temperatura del aire en las rejillas de descarga y en el propio recinto para comprobar el confort térmico, así como el consumo eléctrico de estas unidades, para conocer el porcentaje de carga que representan estos equipos con respecto a la demás carga de la USBI. En la Fig.9, se puede apreciar la temperatura en las rejillas de descarga (entre los 15 y 18°C), la cual es adecuada, para mantener en 23°C el aire del recinto.



Fig. 8. Equipos de aire acondicionado instalados en la USBI.

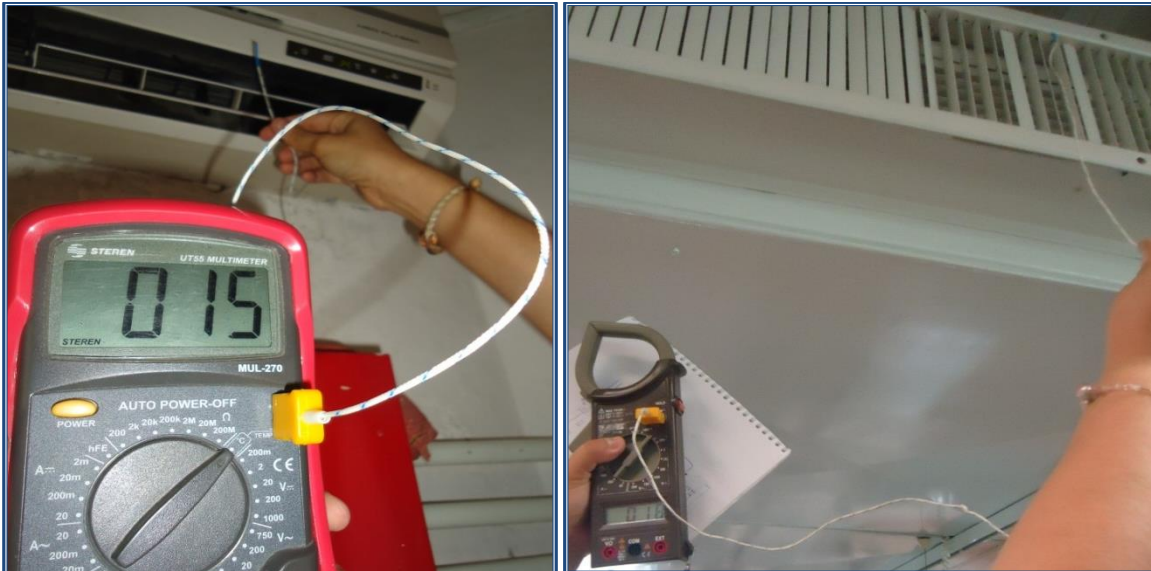


Fig. 9. Valores de la temperatura del aire a las salidas de las rejillas de los equipos de AA.

Al inspeccionar los equipos de AA se notó que los filtros y serpentines se encuentran en condiciones adecuadas dado un buen mantenimiento. Sin embargo, algunas rejillas de descarga y succión principalmente presentan severa acumulación de polvo, como se alcanza a ver en la Fig. 10.



Fig. 10. Rejilla de succión con acumulación de polvo.

Durante la inspección se detectaron una gran cantidad de rejillas de descarga con las persianas cerradas impidiendo con esto la salida de aire frío (Fig. 11). Esto se debe comúnmente a que la velocidad y temperatura del aire se mantienen fijas durante el día; por lo que en las mañanas y noches la sensación térmica está por debajo de las condiciones de confort, provocando “frío”, lo que conduce a que los empleados cierren o bloqueen las rejillas de difusión de aire; por lo que se recomendó tener controles del AA en estas zonas, tal como los que se encuentran en las salas de conferencias.



Fig. 11. Rejillas cerradas en el CADi y en la zona de libros.

De acuerdo a las temperaturas medidas, en la planta alta se tiene una temperatura con una diferencia de hasta 6°C respecto a las registradas en la planta baja, es decir, hace más calor en la planta superior que en la planta baja. Se observó que en la planta alta las salidas del aire acondicionado y los difusores se encuentran demasiado altas provocando una deficiencia en el acondicionamiento del aire. Esto ocurre debido a que el aire caliente se concentra en la parte superior del edificio y el volumen de aire frío que sale de los difusores, al descender va ganando calor, por lo tanto, en la planta alta no se alcanza la temperatura de confort, aunado a la cercanía con el techo radiante.

2.8. Monitoreo eléctrico del transformador de los AA

En el monitoreo del suministro de energía eléctrica para aire acondicionado, se utilizó el analizador de redes modelo 8335 de la marca AEMC en el transformador de 500 kVA. El analizador se instaló a las 11:30 am del día sábado 20 de agosto 2011 y se retiró a las 11:00 am de día viernes 26 de septiembre, registrando los parámetros eléctricos de este sistema por un lapso aproximado de 144 horas, obteniéndose los resultados siguientes:

El voltaje en las fases se mantiene en promedio en 267 V. En la Fig. 12 (a) se pueden apreciar caídas de voltaje el día 21 alrededor de las 21:00 hrs, siendo estas a 246 y 247 V respectivamente, con duración inferior a diez minutos, la variación armónica del voltaje no es superior al 2% (el límite es 5%). El voltaje entre las fases se mantiene en el orden de 464 V aunque se aprecia una caída y un pico en el voltaje el día domingo 21, cuando no hay labores en la biblioteca, Fig. 12 (b).

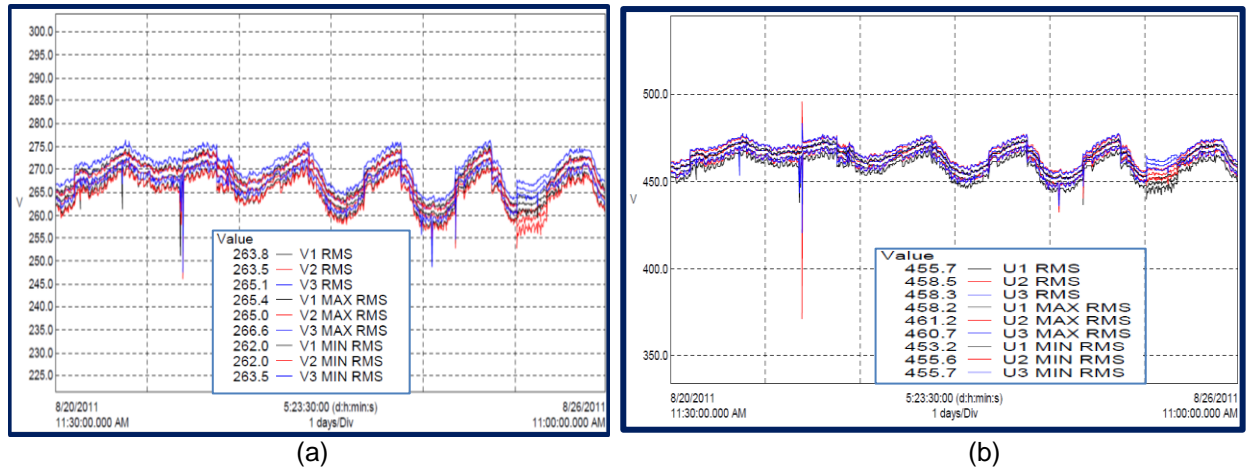


Fig. 12 (a). Variación del voltaje entre fase y neutro en las 3 líneas durante las mediciones en el transformador de 500 kVA. (b) Variación del voltaje entre fases.

En la Fig. 13 (a), se puede observar el comportamiento de la corriente en las fases encontrándose para el día 21, alrededor de las 21:50, que había un elevado consumo de corriente en la fase 2, en horario que no hay servicio en la biblioteca. Esto representa pérdidas de corriente, que pueden ser provocada por un falso contacto o un equipo que no esté bien aterrizado, para corregir esto es necesario revisar la red de tierras. El día veinticinco a las 12:10 la corriente que circulaba en la fase 3 cayó bruscamente, manteniéndose de esta manera hasta el cierre de la biblioteca y continuando así hasta el día siguiente. Mientras que en la primera y segunda fase se observan corrientes parásitas después de realizarse el paro de labores en la biblioteca. Como después se supo, esta caída de corriente en la fase 3 se debió al incidente que resultó en el sobrecalentamiento del conductor. El cable no se encontraba bien sujetado, y se produjo un arco eléctrico que condujo al sobrecalentamiento y finalmente a que se fundiera el conductor, como se aprecia en la Fig. 13 (b).

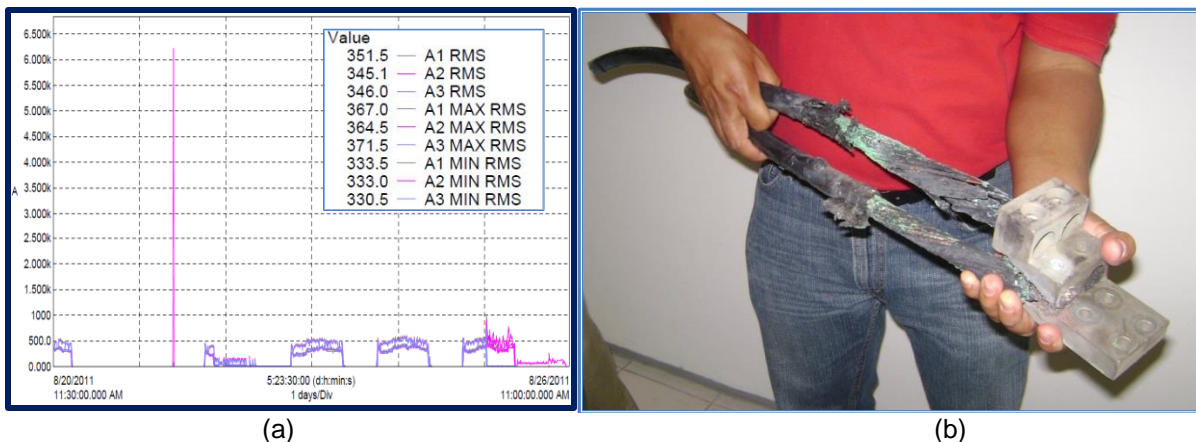


Fig. 13 (a). Variación del amperaje en las 3 líneas durante las mediciones en el transformador de 500 kVA. (b). Detalles del conductor fundido de la alimentación de los AA.

Se monitoreó también la variación de potencia real, aparente y reactiva, alcanzándose un valor total promedio de 71.9 kW y 93.8 kVA para la potencia real y potencia aparente, respectivamente. Lo que nos da un factor de potencia 0.77. Esto significa que

el 23% de la energía se está desaprovechando y se deberán tomar acciones para corregirlo.

Se midieron las variaciones de las armónicas de corriente y de voltaje, observándose que el porcentaje de distorsión total armónica para el voltaje alcanza valores inferiores al 1%, siendo el límite máximo permitido del 5%. Para la corriente se alcanza valores promedios inferiores al 1.5% de corriente total armónica y valores máximos del 9% para la fase 2, lo cual se encuentra dentro del rango de valor aceptable para corriente total armónica cuyo valor máximo permitido es del 20%.

Los valores promedios del factor K, para cada fase mostraron valores promedios mínimos inferiores a 1 y valores promedios máximos inferiores a 1.5. Los transformadores diseñados para los sistemas de aire acondicionado manejan un factor K de 4, por lo que los resultados obtenidos fueron aceptables y no representan riesgos en el transformador de 500 kVA.

3. Histórico del costo de facturación eléctrica de los años 2010 al 2011

En la Fig. 14 se puede observar la evolución en la facturación eléctrica en los últimos dos años. En general se nota una tendencia al incremento en el pago por facturación eléctrica durante el 2011. Esto obedece principalmente al aumento en el costo de los combustibles, que trae como consecuencia un incremento proporcional en las tarifas eléctrica. Otras causas podrían ser el incremento de equipos consumidores de energía, no sólo en la USBI, sino en todo el campus, pero que por tratarse de facturas eléctricas de todo el campus es muy difícil de precisar. Los periodos con mayor facturación son aquellos correspondientes a los meses de febrero, marzo, abril y mayo, lo que coincide con los periodos escolares hábiles, presentándose una disminución en el periodo de vacaciones.

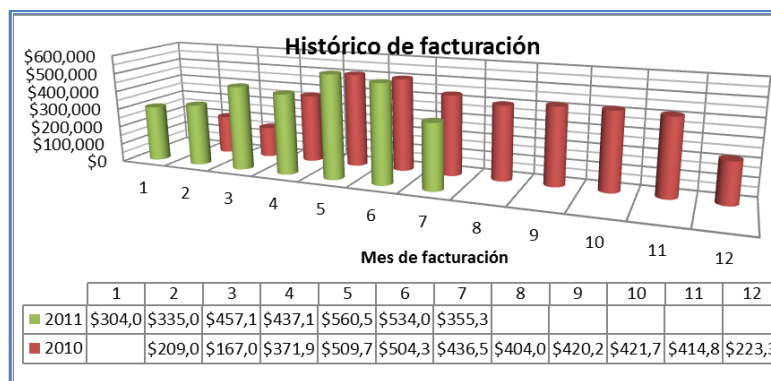


Fig.14. Histórico de facturación eléctrica.

Observando la Fig. 15, el consumo de kWh durante el año 2010, se comprueba que el mayor consumo de energía se da en el periodo de clases, en el periodo intermedio sobre todo de 6am a 6 pm en horario de verano, y de 6 am a 8 pm en horario de invierno, que es cuando hay mayor densidad de estudiantes y personal académico y de oficinas en el campus.

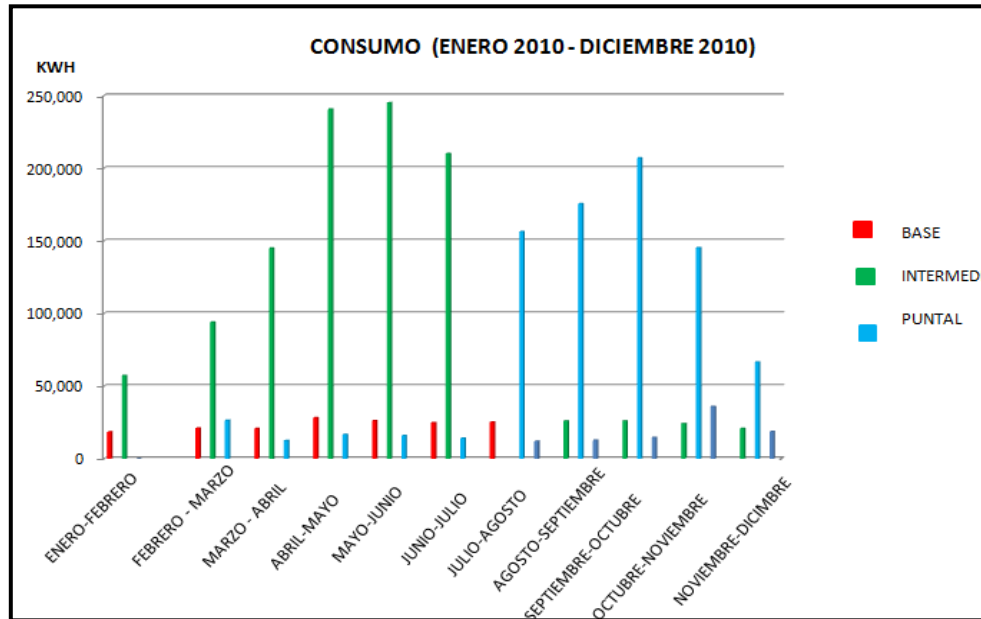


Figura15. Consumo de enero 2010-diciembre 2010.

En la Fig. 15 se observa que, como se mencionó, en los periodos de febrero-julio y agosto-noviembre, se presenta el mayor consumo, siendo específicamente el periodo de abril-junio en el que se consumen más kWh; debido al intenso calor y al uso necesario de los AA (solo se proporcionaron los recibos hasta el periodo junio-julio 2011).

3.1. Cargas conectadas

En la Fig. 16, se muestra la distribución de las cargas conectadas en la USBI, así como el porcentaje que estas representan del total de la carga instalada. Como es común en las zonas cálidas y por el tipo de actividad que se desarrolla en la USBI, el mayor porcentaje de consumo eléctrico se debe a los equipos de aire acondicionado. Sin embargo, el que el 80% del consumo eléctrico se deba a la operación de los equipos de AA, muestra el mal diseño de la envolvente del edificio, ya que para las altas temperaturas que se alcanzan en la zona, el tener un edificio de cristal, sin que este sea de material reflejante de la radiación solar, lo convierte en un gran colector solar. Por más esfuerzos que se hagan al cambiar la iluminación por lámparas ahorradoras de energía, jamás podrán abatir el alto consumo eléctrico si no se cambia la envolvente del edificio.

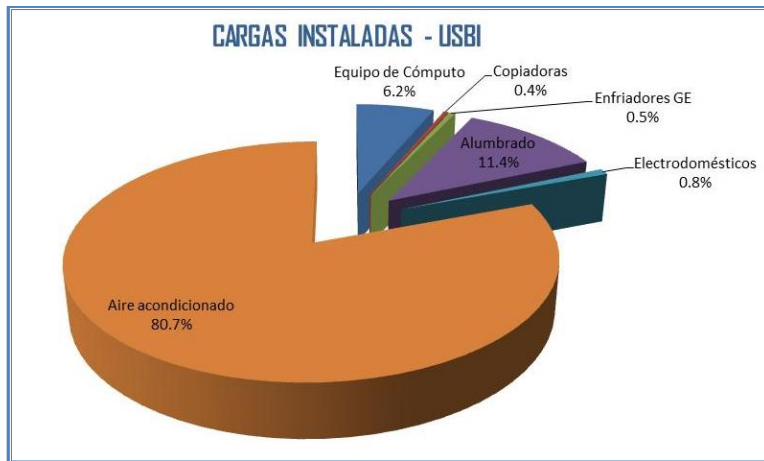


Fig. 16. Distribución de las cargas eléctricas en la USBI, donde se aprecia que el 80% de la energía consumida se debe a la operación de los equipos de aire acondicionado.

4. Estructura arquitectónica

Como ya se mencionó, la envolvente que cubre a la biblioteca es a base de una estructura metálica recubierta de cristal transparente, Fig. 17 (a y b). Esto favorece la iluminación con luz natural en algunas zonas de la biblioteca; sin embargo, resulta contraproducente por la elevada ganancia térmica hacia el interior del recinto, ya que el espesor de cristal es de sólo 5 mm, lo cual no representa una barrera térmica a la radiación solar dejando pasar hasta el 95% de ésta. La envolvente de este edificio va en contra de cualquier medida de ahorro de energía y de un entorno sustentable, por lo que se deberán realizar medidas para mitigar la gran carga térmica hacia el interior. Como medidas rápidas y de poco costo es la colocación de mallas y de películas que permitan el paso de la luz y bloqueen en gran medida el paso de la radiación solar (hasta 70%). También se recomienda colocar mayor vegetación tanto en el interior como en el exterior, ya que estas representan un medida natural para bloquear la carga térmica.



Fig. 17. (a) Fachada principal de la USBI, en donde se aprecia como el sol cubre por completo y todo el día sus paredes este, el techo y la pared oeste. (b) Vista interior del techo y paredes de cristal por donde entra la radiación solar

5. Conclusiones

Aun cuando el sistema de alumbrado se encuentra dentro de los parámetros de operación aceptables sería conveniente la instalación de filtros para disminuir el efecto de las armónicas y revisar la ubicación del mobiliario para que no limite el área de iluminación de las lámparas.

La revisión de las extensiones multicontactos se hace necesaria a fin de tener la seguridad de que éstas tienen supresores de picos, para que el equipo conectado a ellas no se vea afectado o mejor aún utilizar los contactos según fue planeada su distribución. Se pudo observar que existe un consumo alto de corriente durante las noches y el fin de semana, es decir, durante el tiempo inactivo de la institución se tiene un consumo de 50 A, a pesar de su inactividad. Otro comportamiento que llama la atención es el alto flujo de corriente que circula por el neutro en los transformadores de alumbrado y contactos y del SIT. Comportamiento que se puede explicar debido a las cargas no lineales del sistema como lo especifica la NOM-001-SEDE-2005.

Las rejillas de salida de los ductos en la planta alta se encuentran a gran altura, sucias, mal dirigidas, tapadas y muy cerca de fuentes de calor sensible y latente (techos, paredes, lámparas). Las rejillas de salida de la planta baja están muy lejos de los cubículos y eso hace que estos no estén a las condiciones de confort térmico. Se propone crear una cultura de ahorro de energía en los usuarios de la USBI y los empleados, para no dejar conectados equipos tales como computadoras, impresoras, cafeteras, copiadoras, entre otros que pueden consumir energía aun estando apagados, logrando así eliminar los consumos “vampiros” y contribuir a la disminución de consumo eléctrico.

En cuanto a los sistemas de aire acondicionado, se recomienda dar un seguimiento al plan de mantenimiento preventivo para, de este modo, evitar un consumo excesivo como podría resultar por el ensuciamiento de los filtros y serpentines así como por el aislamiento de las tuberías. Una opción para mejorar el enfriamiento del área en la planta alta, es alargar los brazos donde se encuentra la salida de los difusores y darle mantenimiento periódico para un desempeño óptimo. También se proponen rejillas, manuales o automáticas, en la planta baja para la entrada de aire fresco y en la planta alta para desalojar el aire caliente. Estas se deberán situar donde se encuentren los vientos dominantes. Se recomienda verificar el sellado y aislamiento en tuberías y ductos debido a que nos encontramos con palomas dentro de la USBI, por lo que, estas aberturas contribuyen en gran medida a la ganancia de carga térmica en el interior.

Sin embargo, si este estudio energético sirvió para detectar que el 80% de la energía eléctrica consumida en la USBI es para operar los sistemas de aire acondicionado, se debe entonces trabajar en la minimización de la carga térmica, antes que pensar en optimizar los equipos de AA, porque salta a la vista que el material de construcción de la envolvente (cristal) permite una gran ganancia de calor hacia el interior debida a la radiación incidente en las paredes y techos del edificio. Es inminente rediseñar la envolvente del edificio, ya que todos los esfuerzos que se hagan por optimizar el

consumo de energía por iluminación y equipos, representa muy poco con respecto a la consumida por los equipos de aire acondicionado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los alumnos de nivel maestría de la Facultad de Ingeniería (Érika Jazmín De la Cruz Ángel, Remedios Fuentes Torres, Mariana Hernández Carrera, Selene León Pérez, Liliana Rosas Báez, Gerardo Ortega Montiel, Ma. Esther Cerecero Enríquez, Adán Reyes Hernández y José Roberto Cruz Nava), que derivado de su proyecto de clases de la E.E. Diagnóstico Energético, apoyaron en la realización de las mediciones de este estudio. Agradecemos también al Sr. Alejandro García, por las facilidades prestadas en las instalaciones de la USBI, para la realización de este trabajo.

Bibliografía

- Jillian C. Sweeney, J. K. (2013). Energy saving behaviours: Development of a practice-based model. *Energy Policy*, 371–381.
- Petrus Tri Bhaskoro, S. I. (2013). Simulation of energy saving potential of a centralized HVAC system in an academic building using adaptive cooling technique. *Energy Conversion and Management*, 617–628.
- Shane, J. (2012). PERSPECTIVES ON...Positioning Your Library for Solar (and Financial) Gain. Improving Energy Efficiency, Lighting, and Ventilation with Primarily Passive Techniques. *The Journal of Academic Librarianship*, 115–122.
- Shivraj Dhaka, J. M. (2012). Combined effect of energy efficiency measures and thermal adaptation on air conditioned building in warm climatic conditions of India. *Energy and Buildings*, 351–360.
- Vasileios Machairas, A. T. (2014). Algorithms for optimization of building design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101-112.