

PROCEDIMIENTO DE AUDITORIAS Y EVALUACION DE SERVICIO ENERGETICO: DESARROLLO, APLICACIÓN Y TRANSFERENCIA

J. M. Evans y S. de Schiller

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Secretaría de Investigaciones,
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires
Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria, C1428BFA Buenos Aires, Argentina
Tel. (+ 54-11) 4789-6274 e-mail: evansjmartin@gmail.com / schiller@fadu.uba.ar

RESUMEN: Se presenta el desarrollo de procedimientos de medición y evaluación del servicio energético en edificios, realizados en auditorías energético-ambiental, y su transferencia a profesionales en cursos de posgrado. En edificios de oficinas y vivienda, el servicio energético corresponde principalmente a condiciones térmicas y lumínicas de instalaciones de acondicionamiento e iluminación artificial. En una serie de campañas de auditorías, se realizaron mediciones y registros del servicio energético, encuestas de satisfacción del usuario y demanda de energía, experiencias que permitieron elaborar guías de procedimientos de auditoría y monitoreo, con mediciones y encuestas en forma complementaria, para establecer un protocolo definido y avalado con las campañas. Dichas guías fueron presentadas, aplicadas y evaluadas en el dictado de cursos de posgrado, a fin de probar la factibilidad y facilidad de transferencia a profesionales especializados en diseño bioclimático. La realización de prácticas de medición y evaluación, obteniendo resultados que permitan detectar medidas de conservación de recursos energéticos, constituye un aporte en la elaboración de guías de diseño y la implementación de políticas de eficiencia energética en el hábitat construido.

Palabras Claves: Auditorías energéticas, iluminación artificial y natural, medición y monitoreo de temperatura, encuestas de satisfacción, confort, eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de disponibilidad de energía y su impacto en el sector industrial, agudizados durante el invierno de 2007, para asegurar el suministro de gas y electricidad al sector residencial, pone de manifiesto la necesidad de lograr un control racional del uso de energía en edificios en Argentina y la región. En este contexto, cuenta especialmente los recursos requeridos para el acondicionamiento térmico y lumínico, considerando que los edificios utilizan el 37 % de toda la energía primaria, y que el 53 % de esta demanda corresponde a edificios del sector residencial. En este sector, el 71 % de la energía primaria suministrada se destina al acondicionamiento artificial del hábitat construido, según la siguiente distribución proporcional: calefacción (53 %), iluminación (8 %) y refrigeración (5 %) (Tanides et al, 2006a). Este último rubro se encuentra en rápido crecimiento debido a las bajas tarifas de electricidad y bajos costos de los equipos de refrigeración. Muestra de ello es la venta de más de 1.500.000 unidades de refrigeración en 2005 (Tanides et al, 2006b).

En Argentina, es todavía muy limitada la aplicación de normas obligatorias de aislamiento de edificios (IRAM, 1998), las cuales son solamente aplicables en el sector de vivienda de interés social con financiación del Estado Nacional. Aún en este caso, las normas no llegan a asegurar la ausencia de condensación en puntos críticos de la vivienda (IRAM, 1999).

El mejoramiento de la eficiencia energética de edificios requiere la realización de estudios específicos y complementarios, no solo de la demanda de energía sino también del servicio energético y la satisfacción de los usuarios. Los objetivos de estos estudios, que incluyen procedimientos de monitoreo, auditoría y evaluación, son múltiples, entre ellos se encuentran los siguientes y más significativos:

- Establecer la calidad ambiental de edificios existentes y su relación con la demanda de energía.
- Proporcionar datos para la calibración de modelos numéricos.
- Detectar oportunidades para reducir la demanda de energía y mejorar la calidad ambiental.

Por otro lado, el uso racional de energía en edificios implica mejorar la eficiencia energética del un complejo sistema 'edificio-hombre-ambiente', logrando igual o mejor calidad ambiental con menor uso de recursos energéticos. En este trabajo se presentan los resultados de un proceso de prueba, aplicación y transferencia de técnicas de auditoría energética en edificios, y el desarrollo de procedimientos de medición de temperatura, humedad relativa, iluminación, demanda de energía y encuestas del grado de satisfacción de los usuarios.

Estos procedimientos fueron desarrollados en estudios realizados en el CIHE para la Secretaría de Energía de la Nación, posteriormente presentados y probados en cursos de posgrado. Tal es el caso que se incluye en este trabajo, cuyo módulo 'Monitoreo y auditorías energéticas y ambientales en edificios', de 60 horas con carácter intensivo, fue dictado por los autores en el marco del Curso de Especialización 'Diseño Bioclimático' de la Universidad Nacional de Catamarca, con la asistencia de 17 participantes.

ESTRUCTURA DEL MÓDULO DIDÁCTICO

El módulo didáctico sobre auditorías y monitoreo, con énfasis en la evaluación del servicio energético y confort de los usuarios, plantea los siguientes objetivos:

- Introducir los conceptos de monitoreo térmico, lumínico y energético, y criterios de auditoría ambiental de edificios, de construcción convencional y su comparación con otros tipos constructivos, a fin de:
 - analizar la realidad edilicia e identificar el comportamiento energético-ambiental
 - lograr o verificar eficiencia en el uso de energía convencional y conservación de energía
 - reducir los impactos ambientales
 - medir y promover condiciones de confort térmico y lumínico para los ocupantes
- Presentar el proceso de monitoreo y procedimiento de auditorías en edificios de distintas tipologías funcionales, con ejemplos de estudios realizados en edificios de oficinas, escuelas y vivienda.
- Explicar y demostrar las técnicas de medición y encuestas, y el uso de equipamiento de medición en espacios interiores y exteriores.
- Aplicar técnicas complementarias de análisis y evaluación de los resultados para detectar el potencial para mejorar la calidad de vida y reducir la demanda de energía a través de medidas a corto, mediano y largo plazo.

El módulo didáctico, de modalidad presencial intensivo, se organiza en 5 días de clases presenciales de 40 horas y 4 trabajos prácticos no-presenciales de 20 horas, con un total de 60 horas, según la siguiente estructura de la parte presencial:

1. **Energía:** Medición de consumo de energía en edificios: gas, electricidad y otras fuentes. Definición de las características constructivas y térmicas de materiales y diseño del caso en estudio. Introducción al TP 5-1: Evaluación de uso de energía en edificios.
2. **Condiciones térmicas:** Técnicas de medición y análisis de temperatura, humedad relativa y punto de rocío en espacios interiores y exteriores. Introducción al TP 5-2: Medición de temperaturas en edificios.
3. **Condiciones lumínicas:** Medición de la distribución, cantidad y calidad de iluminación natural y artificial en relación con las características lumínicas y ópticas de los materiales y el diseño de los espacios. Introducción al TP 5-3: Medición de iluminación natural y artificial en edificios.
4. **Condiciones interiores:** Satisfacción y confort subjetivo: encuestas a los ocupantes, observación del uso de espacios interiores y exteriores y del comportamiento de los usuarios. Introducción al TP 5-4: Encuesta sobre condiciones ambientales y grado de satisfacción de usuarios en edificios.
5. **Verificación y análisis de registros:** Relación entre uso de energía y servicio energético. Confort y diseño, uso de simulaciones calibradas, utilización de mediciones en el proceso de optimización. Conclusiones.

La actividad no-presencial consta de 4 trabajos prácticos que permiten relacionar la demanda de energía de un edificio o vivienda evaluando la calidad lumínica y térmica lograda, junto con la sensación subjetiva de satisfacción de los ocupantes, según se indica a continuación:

- 5-1. **Evaluación del uso de energía.** Análisis del consumo de gas, electricidad y otras fuentes de energía. Fuente de datos de energía de una vivienda. Características de la vivienda: diseño, construcción y ocupación. Análisis de resultados. Conclusiones.
- 5-2. **Medición y temperaturas interiores y exteriores:** Medición y análisis de temperaturas en un dormitorio y en el exterior. Técnica: medición automática y comparación con datos del aeropuerto. Análisis de resultados: diferencia interior-exterior, moderación de amplitud. Comparación con el consumo de energía (TP 5-1) y la satisfacción de usuarios (TP 5-4). Conclusiones.
- 5-3. **Medición de iluminación natural y artificial:** Aplicación de técnicas de medición de iluminación. Metodología empleada para realizar las mediciones. Características del espacio y el entorno, reflectividad de superficies, tamaño y tipo de ventanas, actividades y requerimientos de luz. Resultados de la distribución y cantidad de iluminación. Conclusiones.
- 5-4. **Encuesta de condiciones ambientales y grado de satisfacción:** Realización de encuestas para obtener el grado de satisfacción a través de las respuestas de los ocupantes y observación de su comportamiento. Resultados: valoración, efectividad, correspondencia con los datos obtenidos de las mediciones. Análisis crítico, comentarios y conclusiones sobre los resultados obtenidos. Conclusiones sobre la encuesta, variantes, alternativas, modificaciones, etc.

ENERGÍA EN EDIFICIOS

Los estudios de demanda de energía fueron realizados en las viviendas de los participantes del curso, profesionales de la administración pública, en unidades de construcción convencional de 70 a 120 m², realizadas por operativa provincial o municipal. Las evaluaciones de la demanda de energía en viviendas corresponden a electricidad en todos los casos, y gas natural en una proporción importante, y con gas envasado en los restantes. Estos últimos casos presentan datos menos confiables debido a la irregularidad de la entrega de tubos de gas y a la dificultad de obtener series de facturas. En el caso de electricidad, el consumo típico demuestra un aumento sostenido con picos en verano debido a la introducción y uso más intensivo de unidades 'split' de refrigeración, con picos de consumo en el primer bimestre (marcado en gris oscuro), Figura 1. En el análisis de los consumos de gas, el aumento corresponde a los meses de invierno, con un pico en el cuarto bimestre, realizándose una corrección para la variación en los periodos entre lectura de medidores, habiéndose contemplado la variación del valor calorífico del gas, indicada en las facturas.

Asimismo, se analizó el costo de energía comparando los resultados con otros gastos diarios. Por ejemplo, en una vivienda con tres ocupantes, el gasto diario de electricidad no supera 0,50 centavos por persona por día, mientras el costo de gas, con mayor variación estacional, presenta valores similares. El costo promedio por persona por día no supera \$3,00 (tres pesos argentinos). Finalmente, se proporcionan los coeficientes publicados en Argentina para obtener las emisiones de gases efecto invernadero, GEI, según la demanda de electricidad, gas de red o gas envasado.

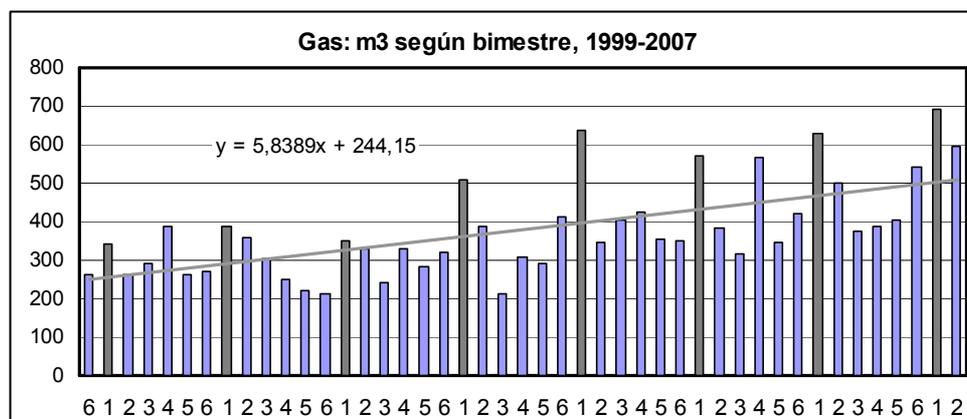


Figura 1. Ejemplo del consumo de gas en m^3 en cada bimestre, con la línea de tendencia que indica un aumento de 5,8 m^3 en cada bimestre o 35 m^3 por año.

Se estima que el aumento de la demanda de energía en los últimos 7 años responde a 4 factores:

- La recuperación económica desde 2001.
- Las bajas tarifas de gas y electricidad, que no han sufrido aumentos significativos en los últimos años.
- La introducción de equipos importados de refrigeración de bajo costo y fácil colocación.
- Las bajas temperaturas en los últimos inviernos, especialmente en 2007.

CONDICIONES HIGROTÉRMICAS

La principal demanda de energía en vivienda corresponde a calefacción, con un valor promedio anual de 53 %, y una variación estacional muy significativa. La medición de la temperatura exterior permite establecer la demanda de energía, pero los registros realizados durante el dictado del Módulo demuestran la dificultad de medir esta variable. A fin de ubicar el termómetro exterior para la adecuada medición de temperaturas, el protocolo o instructivo presenta las siguientes recomendaciones:

- Buena exposición al aire exterior.
- En un lugar protegido del sol directo y del efecto de enfriamiento del cielo nocturno.
- Protegido de la lluvia y ubicación segura para evitar robos o interferencias.

La Figura 2 indica el promedio de las temperaturas exteriores medidas simultáneamente durante 3 días en 4 puntos:

- Ext-Sur: Exterior al sur, bajo un alero, con el sensor ubicado con buena exposición al aire.
- Ext-2: Exterior al sur, protegido en una caja blanca pero expuesta al cielo frío, a 2 m de Ext-2.
- Aero: Mediciones cada 3 horas en el Aeropuerto de Catamarca.
- Ext-Este: Bajo un alero sobre una pared orientada al E, se verifica la influencia indirecta del sol a la mañana.

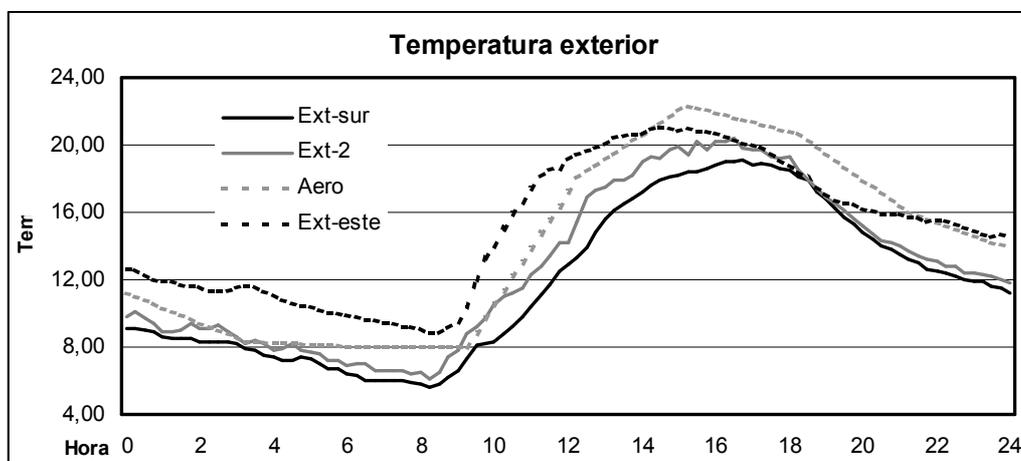


Figura 2. Temperatura exterior: promedio de registros durante tres días, sensor protegido del sol directo.

La serie de mediciones realizada durante el dictado del módulo permitió registrar las condiciones en varios locales de dos viviendas y comparar las condiciones en los dormitorios de 15 viviendas.

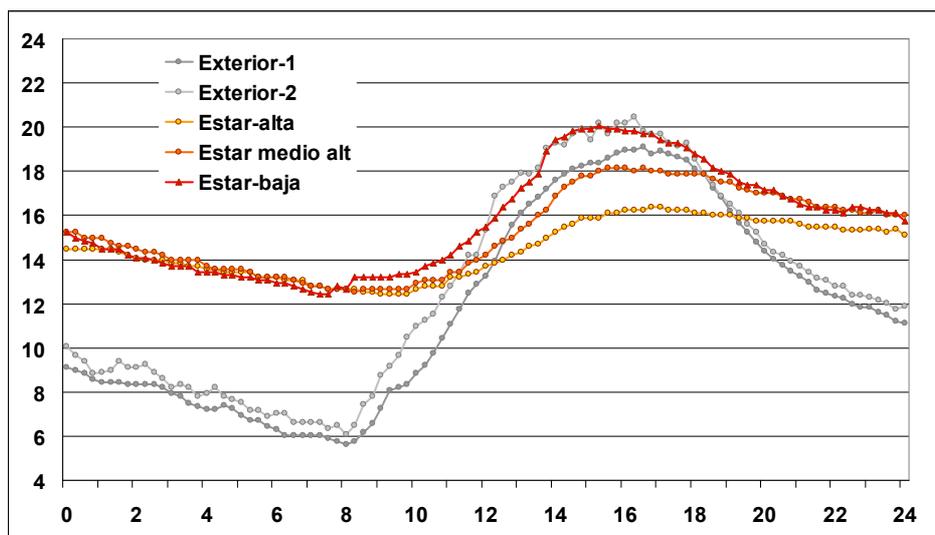


Figura 3. Medición del efecto de estratificación: Espacio sin sol directo y vidrio al sur. Con medición a distintas alturas: baja (0,30m), media (1,40m) y alta (2,40m), y una diferencia máxima de 4° C.

ILUMINACIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL

El procedimiento de medir la iluminación artificial está basado en las recomendaciones de CIBSE (1996) para luz artificial y por Fontenoy (1998) para luz natural. Contiene material adicional sobre registros de iluminación natural y artificial en interiores que surgen de las experiencias de campañas de medición realizadas por investigadores del CIHE (Evans et al, 1998).

Las mediciones se realizan en una grilla modulada según las dimensiones del local y a la altura del plano de trabajo. Las recomendaciones destacan las diferencias entre la iluminación natural y artificial. También se indica la necesidad de realizar las mediciones de iluminación natural con registros simultáneos en el interior y el exterior en un lugar sin obstáculos, en un día nublado, a fin de establecer el Factor de Luz Diurna (IRAM AADL J 002, 1969).

En el caso del módulo didáctico dictado en Catamarca, el ejercicio de medición se realizó dos veces en un espacio interior, primero con luz artificial y luego con luz natural, en un día con cielo claro. Dadas estas condiciones, los valores del FLD fueron muy bajos, desde 0,45 % en sectores con mayores reflejos de luz exterior a 0,08 % en zonas interiores. Los valores obtenidos oscilan entre 60 y 340 lux, los cuales demostraron ser aptos para realizar mediciones y clases con proyecciones. Los luxómetros convencionales no tienen una amplitud de rango suficiente para medir la iluminación exterior sin obstáculos con cielo claro y sol directo, la cual puede llegar a superar 45 klux y, por lo tanto, se utilizó un fotómetro de alto rango. Como alternativa, se puede agregar un filtro para reducir las mediciones con una proporción conocida. Las mediciones de iluminación fueron llevadas a cabo en el transcurso de una tarde, realizando su procesamiento a la mañana siguiente, habiéndose utilizado una planilla electrónica para procesar y graficar los resultados.

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LOS OCUPANTES

Las mediciones de condiciones del 'servicio energético' indican valores objetivos de temperatura, humedad relativa, movimiento de aire, radiación e iluminación. Asimismo, es importante obtener complementariamente la respuesta de los ocupantes para establecer su grado de satisfacción. Para obtener esta información, se desarrolló una encuesta utilizando una escala de 7 puntos de puntajes, basada en las recomendaciones de Fanger (Norma ISO 7730, 1997) y de Nicol y Humphreys (2001).

En la encuesta se formulan preguntas sobre tres aspectos de la reacción subjetiva de los ocupantes, como indica la sección sobre temperatura en la Figura 4:

- ¿Cuál es la sensación subjetiva de confort al momento de la encuesta?
- ¿Cuál es su preferencia de confort?
- ¿Cuál es la sensación de confort general en el local en estudio (oficina, estar o dormitorio)?

La Figura 5 indica los resultados de la aplicación de la encuesta durante el curso. Con una temperatura de 18°C, la mayoría de los participantes (8 de 17 en ese momento) registraron una sensación neutral = '0', ni calor ni frío, mientras 7 indicaron un voto de -1 = 'fresco', con una respuesta de 'frío' y otra levemente 'cálido'.

Ello muestra que no es posible lograr el total grado de satisfacción de todos los encuestados, siendo sus preferencias inversas, aunque mas de la mitad (9 de 17) mostró preferir 'levemente mas cálida', mientras 7 se mostraron

conformes, indicando 'igual' como su preferencia. Cabe acotar que la sensación general expresada por los participantes era 'fresco' o 'frío'.

2. Temperatura 18°

2.1. Sensación térmica: La temperatura en este momento es

| | | | | | | |
|----------------|------------|--------------|-----------------------|------------------------|--------------|------------------|
| -3 Muy frío | -2 Frío | -1 Fresco | 0 Ni calor ni frío | +1 Levemente cálido | +2 Cálido | +3 Muy cálido |
|----------------|------------|--------------|-----------------------|------------------------|--------------|------------------|

2.2. Preferencia térmica: En este momento prefiero:

| | | | | | | |
|----------------------|----------------|--------------------------|------------|----------------------------|------------------|------------------------|
| -3 Mucho más frío | -2 Más frío | -1 Levemente mas frío | 0 Igual | +1 Levemente mas calido | +2 Más calido | +3 Mucho más cálido |
|----------------------|----------------|--------------------------|------------|----------------------------|------------------|------------------------|

2.3. Sensación térmica: Normalmente este local es:

| | | | | | | |
|----------------|------------|--------------|-----------------------|------------------------|--------------|------------------|
| -3 Muy frío | -2 Frío | -1 Fresco | 0 Ni calor ni frío | +1 Levemente cálido | +2 Cálido | +3 Muy cálido |
|----------------|------------|--------------|-----------------------|------------------------|--------------|------------------|

Figura 4: Ejemplo de la sección 'temperatura' en la encuesta.

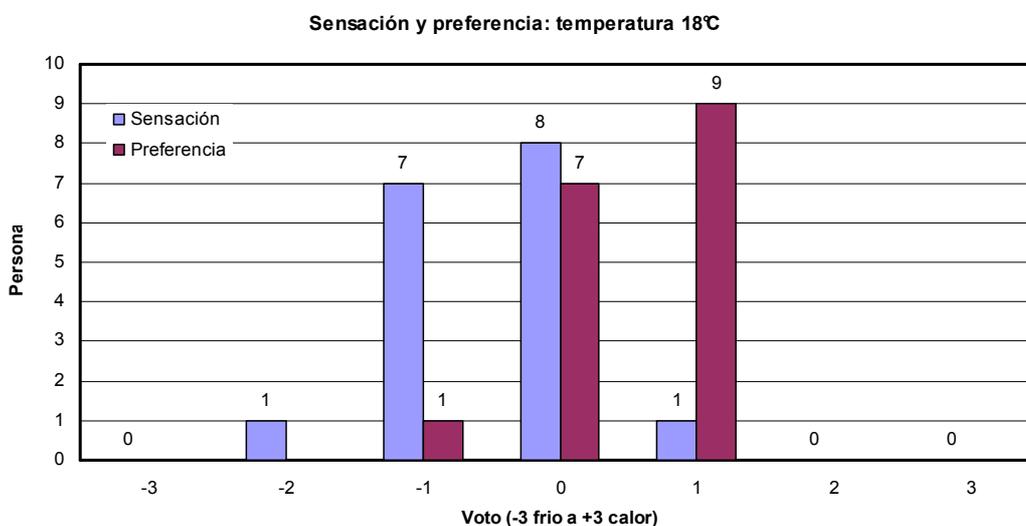


Figura 5. Ejemplo de la aplicación de la encuesta: sensación y preferencia de 20 personas asistiendo al curso de posgrado, con una temperatura interior de 18°C, actividad sedentaria y ropa interior de invierno.

CONCLUSIONES

El desarrollo de procedimientos de auditorías, así como su elaboración y presentación, demuestra que la innovación de la serie, radica en la combinación e integración de técnicas de evaluación. En ellos se incluyen mediciones de temperatura y niveles de iluminación, conjuntamente con el análisis de la demanda de energía y la satisfacción de los usuarios respecto al servicio energético prestado y la calidad ambiental lograda. Las técnicas de medición empleadas utilizan equipos e instrumental disponibles en el medio local, los cuales son de relativamente bajo costo, tales como mini-data loggers y luxómetros comerciales. Ello posibilita la explicitación y practica de los procedimientos de medición y las técnicas de análisis.

La aplicación de esta serie combinada de procedimientos en el dictado del módulo didáctico, realizado en el marco del Curso de Especialización, ofreció una oportunidad relevante y significativa para analizar y aplicar las técnicas de medición y evaluación de las condiciones ambientales y energéticas de edificios. Durante el módulo, dictado en una semana con carácter intensivo con una carga horaria total de 60 horas, fue posible proporcionar una introducción a la teoría y practica de auditorías y realizar ejercicios de medición y practica de encuestas, analizando los resultados con los mismos participantes en forma inmediata.

En la practica y transferencia de estos procedimientos, aplicados al dictado del módulo, fue posible instrumentar y evaluar la eficacia y validez de los procedimientos de auditoria. Asimismo, se mostró la importancia de realizar la evaluación del servicio energético en viviendas, con ejercicios de medición, análisis y valoración, respondiendo así a la necesidad de desarrollar técnicas de evaluación de eficiencia energética en el sector residencial.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación UBACYT A-020 'Certificación de edificios sustentables y el Mecanismo de Desarrollo Limpio aplicado al sector edilicio', acreditado y financiado por la SECyT-UBA, programación académica 2004-2007, y el PAE 2007-2010, Proyecto de Áreas Estratégicas, ANPCyT Nro. 22.559 'Eficiencia energética en el hábitat construido', Nodo UBA-Bs. As.

Los procedimientos presentados en este trabajo fueron desarrollados y aplicados en auditorías llevadas a cabo en edificios de Neuquén y Buenos Aires por investigadores del CIHE-FADU-UBA, Arqts. Juan Carlos Patrone, Carlos Raspall Galli y Ana María Compagnoni, bajo la dirección de los autores, e investigadores del Grupo Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Ings. Mario Brugnoli, Carlos Tanides y Luis Donzelli, y en Tucumán, con investigadores de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Tucumán y coordinación del Ing. Leonardo Assaf, en el marco de convenios de asistencia técnica con la Secretaría de Energía.

El módulo didáctico sobre monitoreo y auditorías, dictado por los autores, forma parte del Curso de Especialización 'Diseño Bioclimático' de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca, con la coordinación académica del Secretario de Posgrado, Ing. Marcelo Watkins, en estrecha colaboración con la Unión de Arquitectos de Catamarca y su Presidente, Arq. Guillermo Brizuela.

BIBLIOGRAFÍA

- AADL (2001) *Iluminación, Luz, Visión*, Comunicación, Tomo 1 y 2, Asociación Argentina de Luminotecnia, Bs. As.
- BSI (1985), *BS 667, Specification for portable photoelectric photometers*, British Standards Institution, Teddington.
- CIBSE (1996) *Working Plane Illuminance In Electrically Lit Spaces*, Fact file No 3 August 1996, Chartered Institute of Building Services Engineers, Londres.
- CIBSE (1994) *Interior Lighting Code*, Chartered Institute of Building Services Engineers, Londres.
- Fanger, P. O., (1973) *Thermal Comfort: analysis y applications in environmental engineering*, McGraw Hill Book Company, Nueva York.
- Humphreys, M. A. (1981) *The dependence of comfortable temperatures upon indoor and outdoor climates*. Chapter 7 in Cena, K and Clark, S. A. Eds. (1981) *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*, Elsevier, Amsterdam.
- IRAM (1999) *Norma IRAM 11.625, Verificación de riesgo de condensación de valor de agua superficial e intersticial*, IRAM, Buenos Aires.
- IRAM (1996) *Norma IRAM 11.601, Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*, IRAM, Buenos Aires.
- IRAM (1998) *Norma IRAM 11.604, Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor, cálculo y valores límites*, IRAM, Buenos Aires.
- IRAM AADL (1969) *Norma IRAM AADL J 20-02 Iluminación natural de edificios, condiciones generales y requisitos especiales*, IRAM, Buenos Aires.
- ISO (1994) *Standard ISO EN 7730 Moderate thermal environments, determination of PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort*, International Standards Organization, Geneva.
- Nicol, F. (2000) *International standards don't fit tropical buildings: what can we do about it*, in Gonzalez, E. et al, Eds., Memorias, COTEDI 2000, Maracaibo.
- Nicol, F. and Humphreys, M. (2001) *Adaptive comfort and sustainable standards for Building, Proceedings, Moving Comfort Standards into the 21st Century*, Oxford Centre for Sustainable development, Oxford.
- Tanides, C et al. (2006a) Análisis del potencial de reducción de emisiones de gases efecto invernadero en el sector eléctrico y de gas natural de la República Argentina, Esenerg, S. A. Para la Fundación Vida Silvestre y para WWF, Buenos Aires.
- Tanides C. et al (2006b) Escenarios energéticos para la Argentina (2006-2020) con políticas de eficiencia: reducir emisiones ahorrando energía, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires.

ABSTRACT

This paper presents the development of procedures for measuring and evaluating 'energy services' in offices and residential buildings, in energy and environmental audits and the transfer of these procedures in a postgraduate specialization course. In the case of residential and commercial sector buildings, 'energy services' correspond principally to the thermal and lighting conditions achieved with conventional heating, cooling and lighting installations. In a series of campaigns, measurements of thermal and lighting conditions, were carried out together with questionnaires to establish user satisfaction as well as energy demand. As a result, manuals were prepared for undertaking environmental surveys and define measurement procedures. These procedures were presented, applied and evaluated in post-graduate courses, in order to test the feasibility and ease of transferring the techniques to professionals specialized in bioclimatic design. To undertake practices of measurement and evaluation and obtain results to detect conservation measures of energy resources, provide support to the assessment and implementation of design measures and energy efficiency policies in the built environment.

Key words: Energy audits, artificial and natural lighting, temperature measurements, user satisfaction surveys, comfort, energy efficiency.