

PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS, INCLUYENDO VARIABLES ENERGÉTICAS Y DE CONFORT VISUAL

Assaf L.O.¹, Tanides C²., Sepliarsky N.D.³

¹Departamento de Luminotecnia – Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Tel. 0381-436 1936 – E-mail: lassaf@herrera.unt.edu.ar

²Grupo Energía y Ambiente - Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires

Av. Paseo Colón 850, (1063) Capital Federal, Tel.: 11 4343 0891 Int. 159, Fax Int. 365, email: ctanide@fi.uba.ar

³Becario FONCyT Proyecto PICT 4016

Resumen

Se expone una metodología para la evaluación de sistemas de iluminación de edificios, que contempla variables físicas y de confort visual, concebida para la obtención de los datos más significativos, mediante un relevamiento que podría denominarse *integral*. La misma es compatible con lineamientos internacionales en la materia, aunque posee un marcado sesgo de adaptación a las particularidades del edificio argentino, con tópicos que son de mayor peso local, tal como la escasa atención al mantenimiento, los modos de administración y su impacto en las condiciones de confort y la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado. Se proporciona la planilla de relevamiento (*RELEVA*) y datos de eficiencia instalaciones de Buenos Aires y San Miguel de Tucumán, junto con otras referencias. La metodología expuesta fue desarrollada en el marco de un programa de investigación que tiene por objeto la evaluación de la eficiencia de los sistemas de alumbrado de la República Argentina (1)

Palabras claves: iluminación – energía – eficiencia – relevamiento – edificio – mantenimiento

Introducción

Los sistemas de alumbrado dan cuenta del 40% de la energía disipada en un edificio, siendo en muchos casos el grupo de consumo individual más importante. Desde el punto de vista del ahorro, la iluminación también concentra los mayores potenciales de remisión del consumo. Para la República Argentina puede estimarse que, al menos, entre el 40% y 60% de la energía que se disipa en iluminación podría ser ahorrada merced a la aplicación de tecnología disponible en el mercado (2). La elaboración de propuestas (proyectos) conducentes a la materialización de este importante potencial energético sólo es posible sobre la base de un cabal conocimiento de la instalación. La *auditación* del edificio tiene ese objetivo. El desarrollo de un procedimiento de evaluación de edificios que sea apto y “a medida” de las instalaciones nacionales, plantea una serie de inconvenientes, alguno de los cuales es conveniente enumerar.

- El primero de ellos, es el exagerado énfasis adjudicado a la energía en las auditorías convencionales, con una limitada consideración de otros tópicos. Aunque desde el punto de vista energético el alumbrado presenta aspectos de interés, una auditoría no puede agotarse a ese sólo contexto. La iluminación no es un mero sistema de disipación de energía, desde que existe un vínculo perfectamente establecido entre *confort visual* y *productividad*, merced a la cual a mayor nivel de iluminación, resulta una mayor productividad (Weston 1926, Holladay 1926). No es posible –entonces– caracterizar la eficiencia de un sistema de alumbrado sin establecer claramente qué es lo que una iluminación tiene que brindar. Consideraciones simplificadas sobre esto conducirían a soluciones erróneas e inaplicables, el empeño en metas energéticas –ignorando los objetivos de servicio del sistema de alumbrado– ha resultado no pocas veces en perjuicios muy superiores a los ahorros logrados.
- Carencia de criterios de evaluación. Evaluar presupone la comparación con cánones que, en el caso del alumbrado, no están aun debidamente establecidos. La inexistencia de escalas plantea la necesidad crearlas, en lo posible a partir de convenciones aceptadas, tales como normas o recomendaciones.
- Inclusión de tópicos característicos de las instalaciones nacionales. Si bien es cierto los procedimientos internacionales son de utilidad, las particularidades nacionales deben ser consideradas. Éstas abarcan los rendimientos de artefactos, lámparas y equipos usados localmente, junto con otros aspectos, tal como la escasa atención que se brinda a la administración y mantenimiento de las instalaciones y su impacto en las condiciones de servicio, confort y eficiencia de los sistemas de alumbrado.

Desarrollo de una metodología de evaluación

La carencia de instrumentos confiables de evaluación, ha planteado la necesidad de desarrollar una metodología compatible con el *estado del arte* de la tecnología y adecuada a los edificios nacionales. La misma se formuló sobre la base de la información fotométrica de componentes del mercado nacional de iluminación, acumulada por el Instituto de Luminotecnia de la Universidad Nacional de Tucumán y antecedentes internacionales. El desarrollo y ajuste de la metodología se apoyó experimentalmente en la evaluación de instalaciones de edificios no-residenciales, públicos y privados que se viene realizando desde 1993 (5) y que se continúa hasta el presente como un trabajo conjunto entre el Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, “Ing. Herberto C. Bühler” de la UNT y el Grupo Energía y Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. La cantidad de equipos de iluminación, en su mayoría fluorescente, abarcados en las auditorías realizadas, excede en la fecha los 51.300, de los cuales 28.000 fueron auditados en Tucumán y 22.300 en Buenos Aires, representan una potencia instalada de más de 2,6 MW. Si se considera que el conjunto de instalaciones de similares características a las evaluadas, suma en todo el país en unos 48 millones, disipando anualmente unos $1,44 \times 10^4$ TJ (4.000 GWh) aproximadamente, puede apreciarse el volumen que conforma la base de datos de los edificios auditados dentro del programa.

El procedimiento desarrollado, denominado RELEVA comprende tres instancias, la primera es el relevamiento propiamente dicho, consistente en la obtención de datos de interés del edificio y sus locales que se vuelcan a una planilla, similar a la que se adjunta en el anexo. Se inquiriere sobre 18 datos y 24 opciones sobre el edificio, los que incluyen informaciones generales, sobre el mantenimiento y administración del sistema y 36 datos y 104 opciones sobre cada local. Dentro de estos últimos se comprende un croquis de cada local, datos de la instalación, grilla de iluminancias, datos relevantes del alumbrado natural, etc. Para cada local auditado se utiliza una ficha de este tipo.

Si bien es cierto que, para lograr resultados confiables, debería reunirse la información de todos y cada uno de los locales del edificio, consideraciones de carácter práctico y económico obligan a limitar el tiempo dedicado tanto al relevamiento como a su posterior análisis. Un estudio previo del edificio, apoyado en consideraciones estadísticas, puede servir para seleccionar una muestra representativa, lo que es facilitado cuando se repiten similares tipologías. Esta simplificación de las tareas, no resulta de suyo un sacrificio apreciable de veracidad en los resultados.

Luego de obtenidos y asentados en las planillas los datos del relevamiento, se procede a su graboverificación tarea que precede a la etapa de análisis y diagnóstico. La evaluación se completa procesando los datos del relevamiento, una compleja labor que significa la realización de cada una de las diversas determinaciones que comprende. A los efectos de aliviar al auditor de esta tarea, sin que ello represente una resignación de la calidad de resultados, se está desarrollando un *sistema experto*, basado en la información acumulada. Un sistema experto de ese tipo puede definirse como un programa que contiene toda la información junto con los procedimientos de cálculo y los criterios necesarios para la evaluación, tal cuál lo haría el propio especialista.

Tópicos contenidos en la evaluación

Los tópicos que se involucran en la evaluación están agrupados en los siguientes,

- 1.- Condiciones de servicio
 - Iluminancia horizontal de servicio
 - Confort Visual
 - Atmósfera visual
 - Uniformidad
- 2.- Eficiencia
 - Eficiencia energética de la instalación
 - Eficiencia energética de componentes
 - Eficiencia de uso
 - Pérdidas de energía asociada
 - Costos operativos
- 3.- Administración y mantenimiento
 - Organización y Recursos humanos
 - Planificación del mantenimiento
 - Prácticas de Reposición de equipos
 - Calidad de la instalación existente y de los materiales de reposición

Iluminancia horizontal de servicio

La iluminancia horizontal de servicio es determinada tanto para la componente de luz natural como artificial siguiendo un doble procedimiento de *medición* y *cálculo* (6). Ello permite determinar –entre otros parámetros– los factores de mantenimiento de la instalación. Las iluminancias obtenidas son:

- Iluminancia horizontal de servicio por alumbrado artificial, medida sobre el plano de trabajo, sobre una grilla horizontal, excluida la contribución de la luz natural. Incluye factor de corrección en caso de que se esté suministrando a la instalación tensiones menores a las nominales.

- Iluminancia horizontal de servicio por alumbrado artificial, sobre el plano de trabajo inicial, determinada por cálculo a partir de la información del local y del tipo de lámparas y luminarias.
- Iluminancia horizontal por alumbrado natural, medida, excluida la contribución del alumbrado eléctrico, medida (a) sobre un cordón horizontal y perpendicular al plano de ventanas y/o (b) sobre una grilla horizontal, en caso de aberturas cenitales o similares. Esta medición se realiza únicamente en caso de que la exclusión de la iluminación eléctrica no causare interferencias al medio ambiente laboral.
- Iluminancia horizontal por alumbrado natural, calculada sobre la base de la información suministrada, para días nublado, semi-nublado e intermedio. Corrección por obstrucciones de ventana y orientación.

Confort visual, Uniformidad y Atmósfera visual

La evaluación se realiza sobre la base de los siguientes parámetros:

- Aplicación de los criterios de las normas IRAM-AADL J2005 y J2006 (7)(8), adoptados por la ley 19.587 (9). Puede calcularse sobre la base de datos del relevamiento.
- Categoría ambiental: Determinación de los factores de mantenimiento atribuibles a suciedad en la instalación y la inclusión de la depreciación en cálculo de iluminancia, de acuerdo a normas de la Comisión Internacional de Alumbrado, CIE (10).
- Uso de la instalación: Permite calcular energía y depreciación luminosa por envejecimiento y por suciedad.

Lámparas y luminarias

La tipificación de luminarias incluidas en la planilla, está basada en los modelos más comunes del mercado nacional y las utilancias consignadas seleccionadas de la información fotométrica disponible en el Departamento de Luminotecnia de la UNT. Los valores de utilancia consignados se corresponden a datos obtenidos de ensayo de los artefactos, circunstancia que otorga mayor validación a los resultados obtenibles con la metodología propuesta.

Evaluación de eficiencia

Para la evaluación de eficiencia se adoptó la *potencia específica de iluminación (Pe)* un índice que expresa la potencia requerida por el sistema de alumbrado (*P*) para proveer una iluminancia horizontal sobre el plano de trabajo (*Eh*) de 100 lux por unidad de superficie iluminada (*S*), calculada en base a la siguiente ecuación

$$Pe = \frac{100 \cdot P}{Eh \cdot S}$$

Tabla 1 – Eficiencia en iluminación de la República Argentina, comparada con la de Europa y al Estado del Arte.

Tipo de instalación	Potencia específica de iluminación [x 100 lx]
Estado del arte (1)	1,0 W/m ²
Promedio instalaciones Europeas (2)	3,1 W/m ²
Máxima tecnología disponible en la Argentina (3)	3,5 W/m ²
Promedio de instalaciones Argentinas (4)	6,7 W/m ²
Residencias de San Miguel de Tucumán (6)	9,7 W/m ²
Residencias de Capital Federal (7)	9,9 W/m ²
Lámpara fluorescente T8, balasto y artefacto convencional sin louver (8)	5,5 W/m ²
Lámpara fluorescente compacta y artefacto de luz directa/indirecta (9)	6,0 W/m ²
Lámpara incandescente desnuda (10)	10 W/m ²
No residenciales con lámparas fluorescentes (11)	5,2 W/m ²
Edificio educacional universitario Bs.As. antigüedad 50 años (12)	6,2 W/m ²
Hospital de niños Bs.As antigüedad 16 años (12)	5,2 W/m ²
Edificio comercial Bs.As. antigüedad 5 años (12)	4,5 W/m ²

Fuentes:

(1)(2) Van Gemert P.H. Van der Sluis C. Utility incentives for energy efficient light - *2nd European Conference on Energy Efficient Lighting*. pp 26-32, 1993

(3) En base a relevamiento de instalaciones, con los siguientes valores, Utilancia (*u*)=0,54 Eficiencia de lámpara (*ε*)=32,39 lm/W; eficiencia de balasto (*β*) = 0,91; Eficiencia combinada, (*εβ*) = 29,41 lm/W; *η* = 15,92 lm/W.

(6) Basado en datos de Casado et. alt, 2000

(7) Basado en datos de Tanides, 1997

(8)(9)(10) En base a información fotométrica del Departamento de Luminotecnia UNT.

(11) Datos obtenido de instalaciones de San Miguel de Tucumán., realizados por el Instituto de Luminotecnia, UNT

(12) Datos obtenidos de instalaciones de Buenos Aires realizados por el Grupo Energía y Ambiente, FIUBA

Evaluación de la Administración y el Mantenimiento

Con estas dos categorías se ha querido incorporar una característica de las instalaciones nacionales, esto es la escasa atención y control preventivo que reciben (11). El mantenimiento de un sistema de iluminación tiene por objeto asegurar las condiciones de servicio, contrarrestando periódicamente el fenómeno que se denomina *depreciación luminosa*. En razón de que la iluminancia de servicio va disminuyendo permanentemente a lo largo del tiempo, cualquier evaluación que no contemple este aspecto, limitará su validez a una fracción de tiempo.

En la evaluación del mantenimiento se ha contemplado diferentes situaciones, ya sea que éste tenga un carácter *preventivo* o *correctivo*, sea *puntual* o *en bloque* y sobre la *idoneidad* de la fuerza laboral que lo realiza. La *frecuencia de servicios* de mantenimiento, a la vez que es un factor para valorar la calidad del mantenimiento, provee información sobre la depreciación que es posible encontrar, posibilitando el cálculo de la iluminancia mantenida de la instalación.

En cuanto a la administración, ésta debe estar perfectamente determinada y poseer claras consignas sobre el buen uso y mantenimiento del recurso y las consecuencias de su deterioro sobre el confort de los ocupantes y la eficiencia energética.

Conclusión

De acuerdo a los datos consignados, corroborados por la importante evidencia experimental de los relevamientos de Buenos Aires y Tucumán, las instalaciones de edificios argentinos contienen un potencial de remisión energético considerable, estimado en el orden de los $7,2 \times 10^4$ TJ anuales (2 TWh). Ello surge de comparar los índices resultantes de *Potencia específica de iluminación*, de alrededor de 6,5 W/m² por cada 100 lux, con los valores de “tecnología disponible en Argentina” de sólo 3,5 W/m². Tamaño desperdicio, que representa para el mercado un desembolso unos 200 millones de dólares anuales, sin contar el negativo impacto que esa generación de energía presupone, puede ser evitado con la sola aplicación de medidas de eficiencia el diseño y remodelación de las instalaciones. El desarrollo de instrumentos de análisis como el aquí expuesto, contribuye a esos objetivos, proponiendo criterios uniformes de evaluación. Su aplicación permitirá lograr los máximos estándares de eficiencia, preservando las condiciones de confort visual, esencia de los sistemas de iluminación y aliviando el enorme trabajo que presupone la evaluación de una instalación de alumbrado de edificio.

Referencias

- (1) Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, FONCyT 98 PICT 4016
- (2) Holladay L 1926. “The Fundamentals for Glare and Visibility” J.O.S.A., vol. 12 N°4, April
- (3) Weston, H C. Taylor A K. 1926 “The relation between Illumination and Efficiency in fine work (Typesetting by hand)”. *Joint. Rep. Industry Fat. Res. Board Illum. Res. Comm.* (D.I.S.R.), London, 1926. HMSO.
- (4) Assaf, L de Wilde, M.I.A.2000 *Un Procedimiento para Mensurar la contribución energética efectiva del Alumbrado Natural en Edificios* VI Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2000, Sao Paulo, Brazil, Abril 2000.
- (5) Assaf, L. 1995. *La evaluación del mantenimiento de sistemas de alumbrado de edificios*. Presentado en LUXAMERICA '95- III Congreso Panamericano de Luminotecnia, Montevideo (Uruguay) Noviembre de 1995.
- (6) IRAM AADL 1974. Norma IRAM-AADL J2015 *Iluminación Artificial en interiores. Métodos de cálculo*. Instituto Argentino de Normalización, Asociación Argentina de Luminotecnia, Noviembre 1974.
- (7) IRAM AADL 1973. Norma IRAM-AADL J2005 *Iluminación Artificial en interiores. Características*. Instituto Argentino de Normalización, Asociación Argentina de Luminotecnia, Septiembre 1973.
- (8) IRAM AADL 1973. Norma IRAM-AADL J2006 *Iluminación Artificial en interiores. Niveles de Iluminación*. Instituto Argentino de Normalización, Asociación Argentina de Luminotecnia, Septiembre 1973.
- (9) Ley Nacional 19.587 *Higiene y Seguridad en el Trabajo*, decreto N. 351. 5/2/1979.
- (10) Commission International d’Eclairage (CIE), *Maintenance of indoor lighting systems*. Publication N° 97 (1992).
- (11) Assaf L, Arreyes VH, Cisint C 1995. “Descategorización del Mantenimiento y su impacto en los costos operativos de instalaciones de edificios no-residenciales de la República Argentina” VIII° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento, Federación Iberoamericana de Mantenimiento, Buenos Aires, Noviembre 1995.

Summary

A procedure to evaluate lighting installations of buildings by survey is presented. It has been conceived to find out the variables most related with the entire assessment of lighting systems, including visual comfort and physical aspects. The procedure is according to current practices and standards, though adapted to Argentine particularities, such as lack of building management or scarce maintenance and their impact in comfort and energy efficiency. The survey form, *RELEVA*, is included, as well as assessment data from building of two cities, Buenos Aires and San Miguel de Tucumán, obtained by the exposed procedure. Data, analysis and procedures here presented were developed in the frame of a research project committed to assess lighting efficiency of Argentine installations (1).

Keywords: lighting – energy – efficiency – survey – building – maintenance

ANEXO
Formulario RELEVA

EVALUACION DE SISTEMAS DE ALUMBRADO DE EDIFICIOS
1 - DATOS GENERALES

Ficha N°:	Edificio:
Fecha: hs:	

1.I - Identificación del edificio			
Dirección			
Función		Dependencia	
		Antigüedad	
Climatización:			
Central	Individual	Mixta	Ninguna

2 - EVALUACION DEL MANTENIMIENTO

2.I - Planificación del mantenimiento				
Carácter		Ns/Nc	Tipo	
Preventivo	Correctivo	Eventual	En bloque	Puntual

2.II - Frecuencia entre servicios			
Meses		Instalación abarcada por el servicio (%)	

2.III - Recursos Materiales		
Calidad de Equipos		
Buena	Aceptable	Deficiente
Reposición de equipos (especificación de compra)		
Adecuada	Intermedia	Deficiente

2.IV - Recursos Humanos					
Administrador o responsable					
Jerárquico		Intermedio		Maestranza	
Fuerza laboral (mantenimiento)			Especialización del personal		
Contratada	Mixta	Propia	Adecuada	Intermedia	Deficiente

3 - EVALUACION DE LA INSTALACIÓN EN LOCALES

3.I General	Local N°	Cantidad de locales similares		
Uso				
Cat.ambiental	Limpio	Intermedio	Sucio	

3.II - Datos del local							
Puestos de Trabajo:		Uni o bi personal			Multipersonal:		
Dimensiones local		Ventanas			Obstrucciones de ventana (promedio)		
u x v	Altura	Sup. u x h	Orient.	Dispositivo de sombra	Poca <20%	Media 20-60%	Alta >60%
			NSEO	1 2 3 4 5 6			
			NSEO	1 2 3 4 5 6			

1-Celosías plegables, 2-Persianas, 3-Venecianas (tipo vainilla),

4-Parasoles de movimiento vertical y basculante, 5-Vainillas verticales u horizontales regulables, 6-Parasoles externos fijos.

3.III - Uso de la Instalación					
Hs. Encend/día		Días/semana		Semanas/año	

3.IV- Condiciones de servicio
Iluminancia horizontal promedio sobre el plano de trabajo:

[Croquis del local]

3.V - La instalación					
LUMINARIAS					
Tipo	1	2	3	4	Otro
Cantidad					
N° lámp/					
T.lámpara					
Potencia					
Enciend					
Apagad					
Parpade					
Encextre					

LUMINARIA:

Fijación: Aplique Plafond Suspendida Proyector Localizada

A - Lámparas lineales fluorescentes

Cuerpo o reflector: Chapa Pint. Aluminio Aluminio AP
 Forma: Listón Pantalla Canaleta

Louwer: Chapa pintada Aluminio Aluminio AP
 Forma: Parabólico Duoparaból. Persiana Casetón Reticulado

Difusor: Cristal Opal

B - Lámparas circular fluorescentes

C - Lámpara Fluoresc.Compacta modular

Cuerpo o reflector: Chapa Pint. Aluminio Aluminio AP
 Forma: Cajón Tacho Combinado

Louwer: Chapa pintada Aluminio Aluminio AP
 Forma: Parabólico Duoparaból. Casetón Reticulado

Difusor: Cristal Opal Chapa perforada

D - Incandescentes

Artefactos simétricos y decorativos

E - LFC integrales

Artefactos simétricos y decorativos

F - Halógena Baja Tensión Reflectoras

Los artefactos de estas lámparas no cumplen función óptica alguna.

G - Halógena Baja Tensión bipines

Sólo a los efectos decorativos

H - De halogenuros metálicos de baja potencia, terminal doble

I - Lámparas de cuarzo-iodo

Proyectores Campana Tacho

J - Lámpara de halogenuros AP a rosca

Proyectores Campana Naval