



## ILUMINACIÓN EFICIENTE DE LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA SEDE PASEO COLON DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UBA

**Aldo M. Yoder, Mario S. F. Brugnoli**

Grupo Energía y Ambiente (GEA), Departamento de Electrotecnia  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires  
Paseo Colón 850, (CP 1063) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, ARGENTINA  
Tel/Fax (54 11) 4343-0891/3503 - email: ayoder@sinectis.com.ar, mbrugno@fi.uba.ar

**RESUMEN:** Entre los objetivos planteados en tres proyectos UBACYT de investigación consecutivos dedicados a atacar distintos aspectos de “el Uso Eficiente de la Energía Eléctrica” (UEEE) se destacan aquellos ligados al tema de la iluminación. Durante su desarrollo se realizaron numerosas auditorias, en particular en el sector comercial y público, destacándose que el rubro iluminación registra el mayor potencial de ahorro. Teniendo en cuenta los resultados y las recomendaciones efectuadas por estas auditorias se realizaron numerosos trabajos para mejorar la iluminación en la sede Paseo Colón de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA). En esta publicación se describe la metodología adoptada en distintos proyectos, en particular en la sala silenciosa de la Biblioteca Central.

**PALABRAS CLAVE:** Iluminación, Eficiencia, Biblioteca, Instalación.

### INTRODUCCIÓN

La preocupación por el agotamiento de los combustibles fósiles agravada con frecuencia por las crisis provocadas por conflictos internacionales, que involucran a los principales productores, se suma a los problemas ambientales ocasionados por la generación de energía eléctrica utilizando esa fuente primaria.

Ante el constante aumento de la demanda, los países han adoptado diversos atenuantes, con distinto grado de compromiso. Entre ellos se destaca la promoción de la generación limpia mediante el uso de fuentes renovables. Simultáneamente se adoptaron criterios técnicos denominados de “conservación de la energía”, tratándose, simplemente de mejorar la eficiencia en las distintas etapas de conversión de energía de forma tal que se reduzca el consumo total, sin disminuir el confort en los usos finales. Resultaron innumerables los nuevos productos y dispositivos diseñados con este objetivo.

Paralelamente se desarrollaron auditorias en los distintos sectores del consumo para determinar los posibles potenciales de ahorro. Los resultados obtenidos permitieron apreciar que, más del 50 % del total de energía eléctrica consumida en los sectores comercial y público corresponde a iluminación.

En la sede Paseo Colón de nuestra Facultad de Ingeniería se determinó que el 62% del consumo total de electricidad corresponde al rubro iluminación de aulas, pasillos y sectores destinados a oficinas. Este resultado llevó a la adopción de medidas conducentes a mejorar la eficiencia de la instalación. En ese camino se reciclaron la iluminación de todos los anfiteatros y las aulas con mayor capacidad. Además se remodelaron totalmente el salón de actos, los pasillos de acceso a éste y al decanato, así como el hall central y el hall de ascensores de Planta Baja.

Como parte de este proceso se proyectó el cambio total de la instalación eléctrica y lumínica de la sala central de la biblioteca, trabajo concluido en marzo del año 2001.



Figura 1: Vista de la Facultad de Ingeniería UBA



Fig. 2: Garganta con luminaria fluorescente de 20 W a remodelar

### EL EDIFICIO

La sede Paseo Colón se encuentra instalada en un edificio de características neo griegas cuyo proyecto de arquitectura, data de los años 40. Fue adaptado para su funcionamiento como centro universitario para la enseñanza de la ingeniería, exhibiendo una enorme riqueza de materiales: bronce, maderas, mármoles y granitos de variados colores.

Tres de sus fachadas exteriores poseen columnas con atrios que abarcan los tres primeros pisos. Los espacios interiores miran hacia profundos huecos de aire y luz. La planta subsuelo -en realidad a nivel de la calle, por estar bajo las escalinatas y la rampa vehicular - carece de ventanas sobre las fachadas.

El diseño descrito sólo permite un magro ingreso de luz natural. Este hecho exige el permanente encendido de luces en oficinas, aulas y pasillos aún en horarios diurnos justificando el elevado porcentual obtenido en el consumo de iluminación. Complicando aún más este panorama y coherente con los diseños de la época, la mayor parte de la iluminación esta provista por tubos fluorescentes alojados en gargantas que proveen una iluminación indirecta disminuida a su mínima expresión por revestimientos de maderas oscuras, mármol, granito y la habitual falta de mantenimiento (limpieza de tubos y gargantas, pintado de techos, cambio de lámparas agotadas, etc.).

### LA BIBLIOTECA

En el 3° y 4° piso del edificio de Paseo Colón y sobre una superficie de unos 2000 m<sup>2</sup>, se desarrollan las salas de lectura, hemeroteca, videoteca, depósitos y administración. La Sala Central ocupa casi 400 m<sup>2</sup>, con revestimientos de madera y mármol boticino (color beige claro) en las paredes, piso de roble de Eslovenia y techo con un tramado de vigas que lo dividen en 49 casetones de enlucido de yeso, pintados de color blanco, con detalles de perfiles de bronce.

La iluminación original se materializaba mediante 4 luminarias con 6 lámparas fluorescentes de 20 W en cada casetón, lo que totalizaba 1176 equipos. Como difusor de la luz, se utilizaron placas de material plástico transparente de 0.30 x 0.30 m x 0.01 m de espesor, con un reticulado de 0.010 x 0.010 m, conocido como "panal de abejas".

Esta instalación se encontraba fuera de uso desde los años 70, por resultar impracticable su mantenimiento.

La situación creada por la falta de iluminación, fue agravada por la instalación de dos luminarias en cada una de las 50 mesas de lectura, cada una con una lámpara de cuarzo iodo de 150 W y 2000 h de vida. El agravamiento surge por el hecho que se vieron sumamente afectadas la uniformidad de iluminancia sobre la mesa y la de planos verticales, sin contar la deficiencia de seguridad eléctrica y el incremento de aporte de calor. En la ilustración puede observarse, el marcado contraste entre libros iluminados y rostros en penumbras.

El aporte de luz natural se pone de manifiesto mediante seis ventanas dobles (tres en el piso 3° y tres en la doble altura) orientadas hacia el Río de la Plata. Este breve aporte matinal es de difícil aprovechamiento, ya que solo las mesas ubicadas en sus cercanías poseen una iluminancia horizontal de unos 3000 lx y las inmediatas no superan los 300 lx. Es decir, una uniformidad 1:10 en pocos metros...

En 1997 se la dotó de aire acondicionado central, que le otorgó un confort climático adicional.

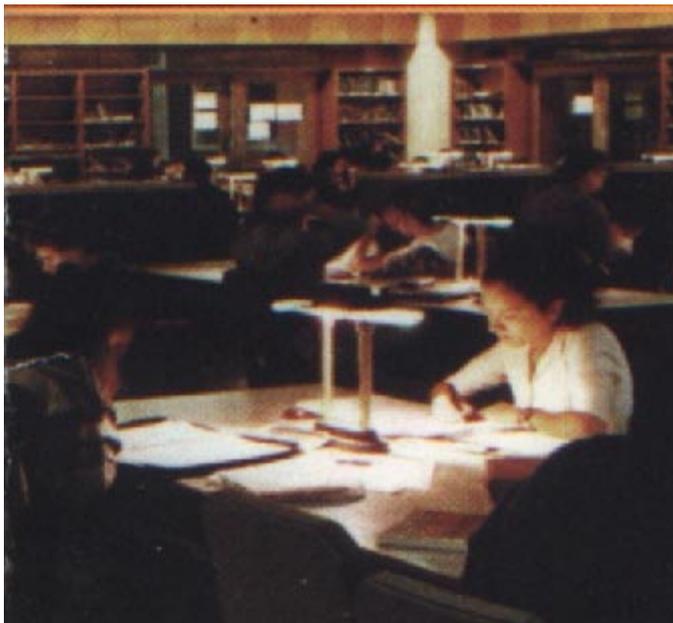


Figura 3: Efecto de la iluminación proveniente solo de las mesas

### PROYECTO DE RENOVACION

Las prioridades que se tuvieron en cuenta fueron:

- a. Cumplir como mínimo con lo estipulado en el Decreto 351 que reglamenta la Ley 19587 de Seguridad e Higiene en el Trabajo y el Reglamento de Instalaciones Eléctricas de la Asociación Electrotécnica Argentina.
- b. Teniendo en cuenta que durante el mes de enero se registra el mínimo de afluencia de lectores, los trabajos debían realizarse en ese lapso.
- c. La altura de los cielorrasos, determina que el mantenimiento preventivo requiere de andamios móviles, con la consecuente remoción de mesas y sillas. Por lo tanto solo puede realizarse en enero de cada año.
- d. Estimar el uso de la instalación en 350 horas mensuales.
- e. Minimizar la potencia instalada.
- f. Adaptar el proyecto a las canalizaciones existentes, ya que su remodelación implicaría trabajos de enorme magnitud, tanto en lo que significa el cierre del lugar, como los costos emergentes.
- g. Como la permanencia de los lectores puede extenderse por lapsos prolongados, resultaba de gran importancia adecuar las condiciones de confort en general y las luminotécnicas en particular, tales como:
  - i. El nivel de iluminancia y uniformidad
  - ii. La reproducción de color
  - iii. El aspecto cromático
  - iv. La instalación de la menor cantidad posible de puntos de luz a efectos de disminuir al mínimo las fuentes de posibles fallas.
  - v. La provisión de alumbrado de emergencia de escape.
  - vi. El mantenimiento de la concepción arquitectónica original del espacio.

El deslumbramiento no era un problema demasiado grave a resolver, ya que la altura del local en relación con las otras dimensiones, es de gran ayuda para controlar esta posible incomodidad visual.

### SOLUCION ADOPTADA

Se descartó la reinstalación de lámparas fluorescentes ya que si bien la evolución tecnológica de los últimos 50 años ha sido enorme (eficacia de lámparas y luminarias, índice de reproducción de color (IRC), balastos electrónicos, vida útil, etc.) el costo inicial de los más de 500 equipos necesarios, la convertía en una solución impracticable.

Orientados ya al uso de fuentes luminosas de alta presión, se optó por el mercurio halogenado de descarga en quemador cerámico, ya que a su excelente reproducción de color ( $IRC > 80$ ), el fabricante garantiza 15000 horas de vida con una mortalidad del 50%, sea con balasto electrónico o de hierro/cobre.

Por lo dicho el uso de la nueva instalación se estimó sería casi permanente, en torno a las 4200 horas anuales.

Así, anualmente se deberían limpiar las luminarias y cada 3 mantenimientos, reponer las fuentes luminosas, en un cálculo más realista que optimista.

Además según el fabricante, las lámparas con tubo de descarga cerámico poseen menor permeabilidad a la migración de sus contenidos de sólidos y gases que las de mercurio halogenado con tubo de descarga de cuarzo, por lo que asegura una estabilidad de color de  $\pm 200$  K a lo largo de su vida útil.

Se optó por equipo auxiliar convencional por razones de costos y capsulado, en lugar de componentes separados (balasto, ignitor y capacitor), ya que su manipuleo se practica con mayor sencillez (y por lo tanto mayor seguridad), sobre todo si se tiene en cuenta que las operaciones deben realizarse a gran altura.

Como ya se explicó, cada casetón alojaba cuatro luminarias con seis lámparas fluorescentes de 0.60 m de largo cada una. De modo que de los cuatro huecos de 0,60 m x 0,60 m, dos fueron ocupados por las nuevas luminarias equipadas con lámparas de 150 W/13500 lm y los dos restantes, cegados mediante cielorraso yeso/cartón, manteniendo la perfilería de bronce original, que sostenían los cuatro louvers de 0,30 m x 0,30 m.

Se estudiaron otras alternativas teniendo en cuenta la variedad de potencias ofrecidas por el fabricante. La colocación de cuatro luminarias de 70 W/6500 lm implicaba un costo demasiado elevado comparado con las dos utilizadas. Otra dos opciones descartadas, fueron la de colocar dos lámparas de 70 W o una de 150 W por casetón, ya que si bien la iluminancia inicial podía adecuarse a las normas, no se podía garantizar la situación a lo largo del tiempo.

Resumiendo, se instalaron 98 luminarias embutidas con vidrio difusor y lámpara de 150 W/13500 lm con quemador cerámico, con casquillo Rx7s-24.

Teniendo en cuenta los colores cálidos de los revestimientos, se eligió la lámpara modelo 830 que posee un aspecto cromático cálido (temperatura de color  $T_c=3000K$ ) y un excelente índice de reproducción de color  $IRC=88$ .

El alumbrado de escape se instrumentó mediante 11 luminarias del tipo autónomo permanente con tubo fluorescente de 8 W.

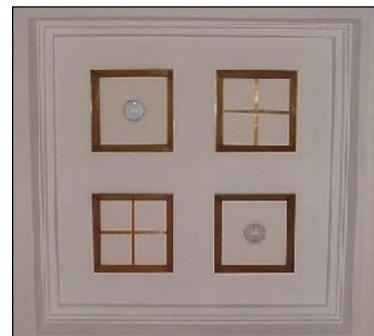


Fig. 4:Detalle de casetón reformado



Figura 5: Vista de cielorraso

### INSTALACION ELECTRICA

Utilizando las canalizaciones originales, se distribuyeron las 98 luminarias en 8 circuitos, según el esquema de disyuntor diferencial / interruptor termomagnético tripolar / interruptor termomagnético bipolar y seccionador bipolar por cada circuito. Se destaca la instalación de los seccionadores, ya que la muy difundida aplicación de utilizar los interruptores termomagnéticos como seccionadores, atenta contra su calibración para actuar a los valores de diseño por sobrecargas o cortocircuitos.

El circuito independiente para alumbrado de emergencia, se conectó a la salida del interruptor termomagnético tripolar ya mencionado.

Es destacable el excelente estado de las canalizaciones originales del edificio, por las cuales los nuevos conductores se instalaron sin dificultades. Análogamente, la calidad constructiva y estado de la estructura portante del cielorraso suspendido (de yeso armado y material fonoabsorbente con perforaciones resonantes), permitió la fijación segura del nuevo sistema.

## COMPARACIÓN

	INSTALACIÓN NUEVA	INSTALACION ORIGINAL
Lámparas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alumbrado general: mercurio halogenado con quemador cerámico.</li> <li>• Alumbrado localizado: innecesario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alumbrado general: fluorescente de 20 W</li> <li>• Localizado: 2 de cuarzo iodo de 150 W por mesa</li> </ul>
Eficacia de la lámpara	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin equipo auxiliar: 90 lm/W</li> <li>• Con equipo auxiliar: 76 lm/W</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin equipo auxiliar: 55 lm/W</li> <li>• Con equipo auxiliar: 37 lm/W</li> </ul>
Vida	15000 h <sup>1</sup>	12000 h <sup>2</sup>
Luminaria	Embutida con vidrio difusor serigrafiado para disminuir el deslumbramiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embutida con louver plástico cuadrícula transparente</li> <li>• Lámpara tipo escritorio fija</li> </ul>
Potencia total instalada <sup>3</sup>	17.2 Kw	35.3 kW <sup>4</sup>
Flujo luminoso instalado	1330 klm	1300 klm
Número de lámparas	98 u	1176 u
Accesorios instalados <sup>5</sup>	490 u	8284 u
Iluminancia media inicial sobre plano de trabajo <sup>6</sup>	1400 lx	700 lx <sup>7</sup>
Uniformidad Emin/Emax <sup>8</sup>	1:3	1:1.2 <sup>7</sup>
Iluminancia en planos verticales <sup>9</sup>	Planta baja: 300 lx Planta Alta: 500 lx	Sin datos
Potencia específica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin equipo auxiliar: 37.2 W/m<sup>2</sup></li> <li>• Con equipo auxiliar: 43.5 W/m<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin equipo auxiliar: 59.5 W/m<sup>2</sup></li> <li>• Con equipo auxiliar: 89.3 W/m<sup>2</sup></li> </ul>

### OBSERVACIONES GENERALES

- Se aprecia que la reproducción de colores es muy buena y el aspecto cromático de las fuentes luminosas guarda coherencia con los colores de los revestimientos y el equipamiento.
- Particularmente destacables resultan las mejoras obtenidas en cuanto a la disminución de potencia instalada, previsiones de mejoras en cuanto a frecuencia de mantenimiento, tiempo medio entre fallas, inyección de calor al ambiente y seguridad eléctrica.

Sin embargo, esta disminución del 50% de la potencia instalada, no puede generalizarse al resto del edificio.

- Antes de retirar los andamios utilizados para realizar los trabajos, se mantuvo la instalación encendida por mas de 100 horas, para corregir cualquier falla (mortalidad infantil).
- El típico zumbido de los balastos, solo resultó audible en casi ausencia total de ruido de fondo, en una inspección realizada en día domingo antes de las 9.00 hs.
- Durante las primeras 100 horas de uso, de los 98 equipos instalados, inicialmente una lámpara no encendió y se rompieron dos vidrios: uno en forma accidental durante el montaje y otro estalló. En todos los casos, los materiales fueron repuestos sin cargo. Con dos voltímetros clase 0.5 contrastados previamente en el Laboratorio Eléctrico de Metrología del Departamento de Electrotecnia (LEM) de la Facultad, se verificó que la caída de tensión no superaba el máximo del 3% estipulado. Además, se observó que este valor no se incrementó significativamente durante el estado transitorio inicial de encendido.
- Apagando 36 de las 98 luminarias, la iluminancia promedio horizontal disminuyó a 720 lx y correlativamente, la potencia lo hizo de 17.2 kW a 11 kW. De este modo, los valores de potencia específica y potencia específica cada 100 lx resultaron ser de 27.5 W/m<sup>2</sup> y 3.82 W/m<sup>2</sup> 100 lx respectivamente.

Esta economía fue puesta en práctica por el personal de la Biblioteca, argumentando que con ello se podría lograr una disminución del consumo de energía y con la rotación del encendido, prolongar la vida útil de las lámparas.

- 
1. Para 50% de mortalidad. Dato del fabricante.
  2. Para una depreciación luminosa del 30% y 8 encendidos diarios. Datos del fabricante.
  3. Incluye equipo auxiliar
  4. No incluye iluminación localizada sobre las mesas, cuya potencia suma 15 kW
  5. En el cómputo se incluye lámpara, arrancador, ignitor, zócalos portalámparas, capacitor, balasto, etc.
  6. Este valor fue medido luego de 50 horas de funcionamiento. Es intención realizar mediciones periódicas de iluminancias para analizar la evolución del envejecimiento de la instalación
  7. Teniendo en cuenta el recuerdo de algunos memoriosos y un factor de utilización total de 0.2
  8. El nivel de Emin=470 lx, fue tomado bajo la circulación superior, donde no se ubican mesas para lectores, ya que pertenecen a la circulación perimetral de la sala. Descartando esta situación, la relación es 1:1.5
  9. Medida sobre bibliotecas. En planta baja, no se tomó en cuenta la indicación pues falta completar la instalación de lámparas fluorescentes tubulares en luminarias embutidas y garganta perimetral

Con este objetivo, realizaron encuestas entre los alumnos, quienes apoyaron totalmente la idea, ya que el confort visual se mantiene sin inconvenientes.

Sin embargo, este apagado parcial implica la necesidad de completar la obra mediante la puesta en servicio del alumbrado proveniente de la garganta perimetral, bajo el balcón, ya que se perdió algo de uniformidad de iluminancia.

- Al día de la fecha, no se han recibido quejas en cuanto a fatiga visual atribuibles a la frecuencia de línea, por la distribución trifásica implementada.

**CONCLUSIONES**

- Todo proyecto de alumbrado debe cuidar -sobre todo cuando se trata de puestas en valor- por lo menos, cuatro aspectos:

- Diseño de arquitectura
- Diseño de iluminación
- Diseño de la instalación eléctrica
- Factibilidad económica

- El diseño de arquitectura debe verificar que el proyecto final en cada momento de su evolución, esté al servicio de las personas que lo utilizarán.
  - El diseño de iluminación, deberá contemplar desarrollarse al servicio del proyecto de arquitectura, cuidando de minimizar la potencia instalada y adecuando los accionamientos de manera que las energías puestas en juego en cada momento, sean la mínimas necesarias para cumplir con las reglamentaciones en vigencia.
  - Los aspectos eléctricos deberán volcarse en un proyecto que contemple por lo menos, seguridad para los usuarios, posibles interacciones con otros sistemas, flexibilidad para ulteriores modificaciones y calidad de los materiales a emplear.
  - Para que la instalación sea rentable, la factibilidad económica debe contemplar no solo los aspectos puramente pecuniarios tales como flujos de caja o plazos de amortización, sino también los beneficios institucionales que derivan del cuidado del medio ambiente.
  - Las prioridades del programa de trabajo variarán de acuerdo al tema bajo análisis y deberán asignarse al inicio del proyecto, debiendo controlarse su vigencia en forma permanente.
- Así en algún caso, lo primordial será minimizar la potencia instalada, en otro cuidar la arquitectura del espacio, en otro la seguridad personal de los ocupantes, en otro el costo inicial, en otro los plazos de mantenimiento, etc.



Figura 6: Vista general de la Biblioteca

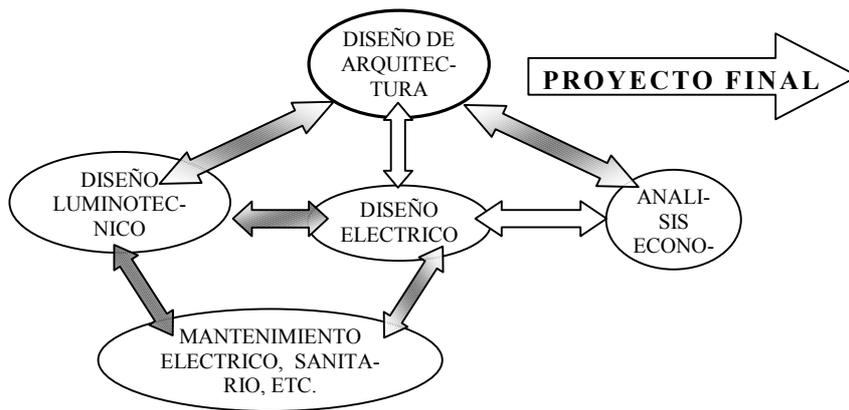


Figura 7: Equipo de trabajo propuesto

- El proyecto resultante será el producto de la intensa interacción del equipo de trabajo esquematizado, estando a cargo del proyectista de arquitectura la decisión final.
- En el gráfico, las flechas de doble implicancia agrisadas, indican mayor intensidad de intercambio de opiniones.

- Este método de trabajo de discusión interdisciplinario, incorporando a los encargados de áreas vinculadas (electricistas y sanitarios de mantenimiento, bedeles, personal de intendencia, etc.) produce además, el reconocimiento de problemas en otros ámbitos y la propuesta de las correspondientes soluciones.
- Esta metodología de trabajo interdisciplinario está siendo puesta en práctica para la reforma de la iluminación de algunos sectores de la Facultad de Derecho UBA (09/2003)

#### DESPUÉS DE 18 MESES

- Ninguna fuente luminosa ha presentado fallas.
- En las instancias de proyecto, se decidió duplicar la potencia necesaria.



Figura 8: Hall de ascensores de primer piso

Tal decisión se tomó porque los costos iniciales de los equipos de iluminación de 70 W y de 150 W eran prácticamente los mismos, por lo que la incidencia en el costo total de obra resultaba despreciable.

Además, visto lo complicado que resulta en la Administración pública en general y en la Universidad en particular, gestionar compras, sobre todo para mantenimiento, esta opción permitiría duplicar la vida útil del equipamiento instalado, mediante encendidos parciales.

La Dirección de la Biblioteca implementó un sencillo pero riguroso sistema de rotación de los accionamientos, de modo que solo se enciende el 50% de la potencia instalada, rotándolo cada dos meses.

#### PREMIO

Esta obra recibió el premio ELI (Efficient Lighting Initiative) en la categoría Escuelas y Edificios Educativos (10/7/2003)

#### BIBLIOGRAFÍA

- Manual de Luminotecnia (2001). Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL).
- Luis J. R. Descheres (2002). Iluminación Eficiente Sostenible, Megaluz 4, Argentina.
- G.S. Dutt (1994) Illumination and sustainable development, Part I: Technology and economics". Energy for Sustainable Development. Bangalore-India.
- G.S. Dutt y E. Mills (1994). Illumination and sustainable development, Part II: Implementing lighting efficiency programs, Energy for Sustainable Development. Bangalore-India, julio.
- G.S. Dutt, M. S. F. Brugnoli y C. G. Tanides (1994). El Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en la Iluminación, 17ª Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES '94), Rosario.
- M. S. F. Brugnoli, G. S. Dutt y C. G. Tanides (1994). Tecnologías para el uso eficiente de la energía eléctrica, Congreso y Exposición de la Energía Eléctrica (CEDE '94), Buenos Aires.
- Luis Pedraza y Mariela Beljansky (1999). Trabajo Profesional de la carrera de Ingeniero Electricista de la FIUBA: Estudio de la Eficiencia Energética del Edificio Paseo Colón de la FIUBA (ETAPA 1).
- J. Caetano y L. Medaglia (2000) TP FIUBA. Estudio del Consumo Eléctrico y Relevamiento de las Instalaciones de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales.
- N. Sepiarsky y T. Rodríguez Rossi (2001). TP FIUBA: Estudio de la Eficiencia Energética del Edificio Paseo Colón de la FIUBA (Etapa 2)

**ABSTRACT:** Between the objectives raised in three projects consecutive UBACYT of investigation dedicated to attack different aspects from Efficient Energy Use those related to the subject of the illumination stand out. During their development numerous audits were made in individual in the commercial and public sector standing out that the illumination registers the greatest potential of saving.

Considering the results and the recommendations conducted in these audits numerous works were made to improve the illumination in the "building Paseo Colon" of the Faculty of Engineering of the University of Buenos Aires (FIUBA). In this publication the methodology adopted in the projects is described and it stands out the last work made on the quiet room of the central library.

**KEYWORDS:** illumination, efficiency, library, installation