



**Departament de Projectes  
d'Enginyeria**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# **Estudio de una metodología para evaluar la calidad del servicio del alumbrado urbano**

Tesis doctoral de:  
**Eduardo Roberto Manzano**

Dirigida por:  
**Ramón San Martín Páramo**

---

Barcelona, 2000



A mis padres: Amalia y Roberto  
a mi: esposa Graciela  
y a mis hijas: Constanza y Carolina



## **Agradecimientos**

Deseo expresar mi gratitud a todas las personas, empresas e instituciones que de una u otra forma han colaborado en la realización de esta tesis.

Al director de la tesis, Prof. Ramón San Martín Páramo por su generosidad intelectual, por su voto de confianza y por el trato cordial que siempre me brindó.

A los profesores Carlos F. Kirschbaum y Elisa M. Colombo de la Universidad Nacional de Tucumán, Departamento de Luminotecnia Luz y Visión por darme la oportunidad de hacer la tesis en Barcelona y por su permanente apoyo desde Argentina.

A la profesora Raquel Puente García de la Universidad Politécnica de Madrid por el apoyo y por las correcciones a la tesis.

A Manuel Roig gerente de la Empresa SECE por facilitarme los archivos de datos de operaciones de mantenimiento en Vic, Cataluña.

A Juan Pons y Albert Vilardell gerentes de la empresa MOSECA por la colaboración facilitando personal de mantenimiento, equipos, e información para la recolección de datos en Sant Boi de Llobregat.

Al grupo Estudios Luminotécnicos, Carlos Sierra, Oscar Saro, Víctor Villarraso y Víctor Albert por su generosa cooperación.

A Ana Maud por su amistad y colaboración en el análisis estadístico de datos.

A Carmen Montolio, Claudio Malet, Alexandra y Nestor por su amistad, generosidad y por el gran apoyo que siempre nos brindaron.

A las familias Pérez, Sfer, Sánchez, a los amigos Augusto y Jacques Sorin con quienes compartimos esta hermosa e inolvidable experiencia en Barcelona.

A la Universidad Nacional de Tucumán, Departamento de Luminotecnia Luz y Visión, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina), y al Gobierno Argentino por el apoyo económico y por la beca FOMECA que me otorgaron.

Por ultimo agradezco a mi padre, a quien le hubiera gustado leer este trabajo, por todo el cariño y apoyo que me ha brindado siempre.



## Resumen

Las instalaciones de alumbrado urbano se proyectan, ejecutan e inauguran en un período breve de tiempo. Sin embargo, el desarrollo de su función se prolonga a una vida de servicio que dura muchos años. Durante dicho tiempo la instalación de alumbrado no puede desatenderse. Requiere de ciertos cuidados para garantizar su funcionamiento correcto, reducir su depreciación y envejecimiento, adaptándose a la evolución de las condiciones de servicio, controlando la adecuación funcional en forma económica e incorporando cuando la situación indique la conveniencia, los avances tecnológicos. La atención, que debe considerarse ya en la fase de diseño, constituye el campo de lo que se denomina gestión y explotación.

La problemática de la gestión y la explotación del alumbrado urbano ha sido investigada para lo cual se realizaron encuestas a gestores y mediciones de campo en poblaciones. Los resultados indican en algunos casos la falta de información para establecer criterios adecuados para la utilización de los recursos como así también la posibilidad de mejorar el rendimiento de las instalaciones. Se estudió también el impacto debido a la falta o descuido de la gestión, explotación y mantenimiento de las instalaciones. En este caso el sobre consumo energético y sus posibles fuentes han sido ponderadas dejando de manifiesto la implicancia económica que trae aparejada.

El objetivo de esta tesis es estudiar y proponer una metodología para evaluar instalaciones de alumbrado, enfocada a valorar la calidad del servicio del alumbrado urbano en forma global. Con tal motivo, se han estudiados las características de las instalaciones y su evolución con el tiempo en relación con el servicio, analizando los factores vinculados más relevantes y estableciendo sus modelos de comportamiento mediante mediciones de campo, análisis de registros históricos y simulación de situaciones. Sobre la base de estas consideraciones, se propone una metodología basada en el análisis de la relación beneficio/costos durante el ciclo de vida de las instalaciones de alumbrado urbano. El beneficio es valorado en términos de factores vinculados al servicio, es decir el rendimiento durante el uso de las instalaciones. Los factores considerados han sido iluminancia, la tasa de fallos, el tiempo de operación y la apariencia de las instalaciones. Estos factores son evaluados tomando como referencia valores convenientemente establecidos por normas o recomendaciones. Por otra parte los costos de instalación, explotación, mantenimiento, renovación y eliminación durante el ciclo de vida de las instalaciones son considerandos junto al costo financiero del dinero.

La aplicación de la metodología es analizada en dos situaciones: el diseño de nuevas instalaciones y la evaluación de instalaciones existentes. Para el diseño de nuevas instalaciones, se han simulado distintas alternativas estudiando el efecto de los factores característicos de las instalaciones en la relación Beneficio-Costo. Para el caso de instalaciones existentes se ha aplicado la metodología a una población comparando los resultados con situaciones óptimas lo que permite evaluar el estado actual y corregir políticas de mantenimiento.

La aplicación de la metodología ha resultado satisfactoria para evaluar instalaciones de alumbrado tanto desde la óptica del diseño como así también en instalaciones de alumbrado existentes.

## Summary

Urban lighting installations are frequently designed and built in a brief period of time. Yet they have a life of service that lasts many years. During that time lighting installations can not be left unattended. Care must be taken in order to guarantee a correct performance, reduce deterioration and adapt the installation to urban and technological evolution. But this care must begin in the design stage and continue during all the installation useful life. This is the field of lighting management.

Urban lighting management issues have been studied by means of surveys to lighting managers and from field measurements of lighting installations. The results show the possibility to improve installation behaviour and the need to design tools that could indicate which should be the appropriate criteria for using the resources. The impact due to the lack or reduction of lighting maintenance and management has also been studied. When making these studies, the indirect energy costs were evaluated in connection to their possible sources and to the economical impact involved.

The objective of this thesis is to study and propose a methodology to evaluate lighting installations, focused on the overall quality service of urban lighting. For this, the characteristics of the installations and their evolution in connection with service have been studied, by means of analysing the most relevant factors and establishing their behaviour models through field measures, analysis of historic registrations and simulation of situations. A methodology is proposed on the basis of these considerations. This methodology is designed from the analysis of the benefit/cost relationship during the life cycle of the urban lighting installations. The benefit is assessed in terms of factors linked to the service, that is to say the performance during the use of the installations. The factors taken into consideration have been illuminance, failure rate, time of operation and the appearance of the installations. These factors have been evaluated taking, as a reference, values suitable established by standards or recommendations. The costs of installation, energy, maintenance, refurbishment and disposal during the life cycle of the installations are considered in relation to the financial cost of money.

The application of the methodology has been analysed in two situations: the design of new installations and the evaluation of existing installations. When considering the design of new installations, different alternatives have been simulated studying the effect of the specific characteristics of the installations in the benefit/cost relationship. When considering existing installations, the methodology has been applied to town and the results have been compared to an 'optimal' situation. This has enabled to assess the existing situation and to adjust maintenance policies.

The application of the methodology has shown satisfactory results in the evaluation of new, and existing lighting installations.



**Índice****1. Introducción**

1.1 La problemática analizada.....	1-2
1.2 Objetivos.....	1-4
1.3 Metodología.....	1-5
1.3.1 Estudio de la situación actual y sus consecuencias.....	1-5
1.3.2 Análisis de factores relacionados con el comportamiento en servicio.....	1-5
1.3.3 Formulación de propuestas.....	1-6
1.4 Contenido del documento.....	1-6

**2. Estado del arte**

2.1 Introducción.....	2-2
2.2 Valoraciones del nivel de servicio en términos cualitativos.....	2-3
2.3 Valoración del nivel de servicio relacionando aspectos cualitativos con parámetros luminotécnicos.....	2-3
2.4 La relación costo–beneficio como criterio de evaluación .....	2-6
2.5 Consideraciones económicas como criterio de evaluación.....	2-10
2.6 Conclusiones.....	2-11
2.7 Bibliografía del capítulo.....	2-13

**3. Estado actual y problemática de la calidad del servicio**

3.1 Evaluación de la gestión, explotación y mantenimiento de las instalaciones de alumbrado.....	3-2
3.2 Encuestas a gestores del alumbrado, recopilación procesamiento de datos.....	3-3
3.3 Evaluación de aspectos energéticos de las instalaciones relacionados con la gestión, explotación y mantenimiento. ....	3-7
3.4 Conclusiones. ....	3-16
3.5 Bibliografía del capítulo.....	3-18

**4. Características de las instalaciones de alumbrado y su relación con el servicio**

4.1 Introducción.....	4-2
4.2 Supervivencia de componentes.....	4-3
4.2.1 Descripción de la muestra estudiada.....	4-3
4.2.2 Distribución de operaciones de mantenimiento.....	4-5
4.2.3 Distribución de tipos de lámparas.....	4-9
4.2.4 Porcentajes de fallas de lámparas y equipos auxiliares.....	4-10
4.2.5 Supervivencia de lámparas.....	4-11
4.2.5.1 Causas frecuentes de fallas en lámparas de descarga.....	4-11
4.2.5.2 Modelos de comportamiento.....	4-13
4.2.5.3 Datos de fabricantes.....	4-17
4.2.5.4 Modelización de datos de registros históricos.....	4-20
4.3 Depreciación del flujo luminoso.....	4-27
4.3.1 Causales.....	4-27
4.3.2 Datos de fabricantes y modelos de ajuste.....	4-27
4.3.3 Factor de balasto.....	4-29
4.4 Depreciación por polución y envejecimiento.....	4-30
4.4.1 Modelos de depreciación de luminarias.....	4-30
4.4.2 Efecto de la polución sobre la distribución de intensidades luminosas.....	4-36
4.4.3 Influencia de la variación de las características de reflexión de la calzada.....	4-37
4.5 Factor de mantenimiento.....	4-37
4.5.1 Medición del factor de mantenimiento.....	4-39
4.6 Conclusiones.....	4-41
4.7 Bibliografía del capítulo.....	4-42

## 5. Estudio de la metodología

5.1 La relación costo-beneficio como parámetro de evaluación.....	5-2
5.2 Valoración del beneficio.....	5-2
5.2.1 El nivel de alumbrado.....	5-3
5.2.1.1 Factor de iluminancia para zonas con áreas y niveles distintos.....	5-6
5.2.1.2 Factor de iluminancia con reguladores de potencia.....	5-7
5.2.2 El tiempo de servicio de la instalación.....	5-8
5.2.3 Frecuencia y duración de fallos.....	5-10
5.2.4 Apariencia de la instalación.....	5-11
5.3 Valoración de costos.....	5-13
5.3.1 Costos de instalación.....	5-13
5.3.1.1 Costos de renovación de instalaciones.....	5-14
5.3.2 Costos por consumo de energía.....	5-14
5.3.3 Costos de mantenimiento .....	5-15
5.3.3.1 Sustitución programada masiva de lámparas mas limpieza programada masiva de luminarias.....	5-16
5.3.3.2 Sustitución correctiva y programada masiva de lámparas mas limpieza programada masiva de luminarias.....	5-17
5.3.3.3 Sustitución correctiva de lámparas mas limpieza programada masiva de luminarias .....	5-18
5.3.3.4 Sustitución correctiva de lámparas con limpieza simultanea.....	5-19
5.3.4 Costos de reciclaje.....	5-20
5.3.5 Análisis del ciclo de vida .....	5-23
5.3.5.1 Valor presente.....	5-23
5.3.5.2 Cantidad anual equivalente.....	5-24
5.4 Aplicación de la metodología.....	5-25
5.4.1 Planilla de calculo del costo-beneficio.....	5-27
5.4.1.1 Planilla del beneficio.....	5-28
5.4.1.2 Planilla de tiempos de operación de la instalación.....	5-31
5.4.1.3 Planilla de costos de energía.....	5-33
5.4.1.4 Planilla de costos y relaciones costo-beneficio.....	5-35
5.5 Conclusiones.....	5-45
5.6 Bibliografía del capitulo.....	5-46

## 6. Análisis de instalaciones

6.1 Introducción.....	6-1
6.2 El diseño de instalaciones y la relación Beneficio/Costo.....	6-2
6.2.1 Dependencia de Beneficio/Costo con niveles de alumbrado y área a iluminar.....	6-10
6.2.2 Dependencia de Beneficio/Costo con políticas de mantenimiento, IP y con la polución.....	6-13
6.2.3 Periodos de operaciones programadas.....	6-23
6.2.4 Dependencia de Beneficio/Costo con LSF, supervivencia de lámparas.....	6-28
6.3 Evaluación de instalaciones existentes.....	6-30
6.3.1 Características de la población y de la empresa de mantenimiento.....	6-30
6.3.2 Metodología de análisis.....	6-31
6.3.2.1 Datos recopilados.....	6-34
6.3.3 Procesamiento de datos.....	6-34
6.3.3.1 Determinación de B/C para la situación actual.....	6-35
6.3.3.2 Determinación de B/C para la situación actual con consumo y uso eficiente.....	6-37
6.3.3.3 Determinación de B/C para la situación actual optima.....	6-37
6.3.3.4 Determinación de B/C para la situación de diseño optimo.....	6-38

6.4 Beneficios y costos de la muestra de la población.....	6-39
6.5 Conclusiones.....	6-46
6.5.1 Conclusiones del análisis de instalaciones desde la óptica del diseño.....	6-46
6.5.2 Conclusiones del análisis de las instalaciones existentes .....	6-46
6.6 Bibliografía del capítulo.....	6-49

## 7. Conclusiones y perspectivas futuras

7.1 Conclusiones generales.....	7-2
7.2 Conclusiones de la aplicación en el diseño.....	7-2
7.3 Conclusiones de la aplicación en instalaciones existentes.....	7-4
7.4 Perspectivas de futuras investigaciones.....	7-4
7.5 Bibliografía del capítulo.....	7-5

## Referencias

- R.1 Bibliografía
- R.2 Equipamiento
- R.3 Software

## Anexos

- I. Conceptos básicos sobre magnitudes Luminotécnicas, Flujo luminoso, Intensidad luminosa, Iluminancia y Luminancia
- II. Encuesta a gestores del alumbrado
- III. Análisis estadístico de datos históricos
- IV. Grado de protección mecánica de luminarias
- V. Relaciones Beneficio/Costo en el diseño de instalaciones, tablas de análisis de datos
- VI. Trabajos publicados por el autor con referencia en la tesis
  - VI.1 San Martín R., Manzano E.R. (1997) Gestión y explotación de instalaciones: aspectos a considerar en la elaboración de proyectos, Actas del XIII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos, Volumen II, pág. 919 a 925. ISBN : 84-88783-30-2. Sevilla, España.
  - VI.2 San Martín R., Manzano E.R. (1998) A study of indirect energy cost due to reduced urban lighting maintenance, Proceedings of the National Lighting Conference 1998, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), page 219 to 223, University of Lancaster, UK.
  - VI.3 Manzano E.R., San Martín R. (1999) Procedure for continue urban lighting management evaluation. Proceeding 24<sup>th</sup> Session de la CIE, Commission Internationale de Léclairage , page 234 to 238, Warsaw, Polonia.
  - VI.4 San Martín S., Manzano E.R., Albert V. (1998) Gestión y explotación de instalaciones de alumbrado. Actas de las Jornades Tècniques sobre Energia, pag. 299 a 310. Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya, Barcelona, España.
  - VI.5 Manzano E.R., Cabello A.J. (2000) Visibility measurements with CCD in road lighting. Journal Ingeniería Iluminatului, Tempus-Phare Program, pag 59 a 63.

