

Alumbrado Urbano, la relación Beneficio-Costo

Eduardo R. Manzano

Universidad Nacional
de Tucumán,
Departamento
de Luminotecnia Luz
y Visión
manzano@latin.com

1. Introducción

Las instalaciones de alumbrado urbano se diseñan y construyen en un período breve de tiempo para una vida de servicio de muchos años. Durante su vida las instalaciones requieren de ciertos cuidados para garantizar su correcto funcionamiento, controlando la depreciación, el envejecimiento y la adaptación a las necesidades del entorno. Llegado el caso necesitaran una renovación incorporando los avances tecnológicos y al final de su vida el reemplazo total. Esta problemática que debe considerarse desde la fase del diseño constituye el ámbito de la gestión y explotación de las instalaciones de alumbrado urbanas, que debe realizarse en forma eficiente, económica y con el menor impacto ambiental.

El estado actual de la gestión y explotación indica en algunos casos la necesidad de información para establecer criterios adecuados en la utilización de los recursos como así también la posibilidad de mejorar el rendimiento de las instalaciones. El objetivo del trabajo que se describe en el artículo ha sido por lo tanto estudiar y proponer un método para evaluar instalaciones de alumbrado, enfocado a valorar la calidad del servicio en forma global. Con tal motivo, se han estudiado las características de las instalaciones y su evolución con el tiempo, analizando los factores vinculados más relevantes y se han establecido sus modelos de comportamiento mediante mediciones de campo, análisis de registros históricos y simulación de situaciones. Sobre la base de estas consideraciones, se propone un indicador basado en 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, los cuales son

iluminancia, la tasa de fallos y el tiempo de operación. 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.

El uso del indicador es analizado 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. Los resultados obtenidos son satisfactorios para evaluar instalaciones de alumbrado tanto desde la óptica del diseño como así también en instalaciones de alumbrado existentes. El artículo resume en parte el trabajo que ha sido objeto de la tesis doctoral del autor bajo la dirección del **Dr. Ramón San Martín**, profesor del Departamento de Proyectos de la Universidad Politécnica de Cataluña.

2. La problemática de la gestión

Con el fin evaluar el estado de la gestión y explotación y su relación sobre las condiciones de servicio se realizaron encuestas a gestores, mediciones de instalaciones, evaluaciones económicas de la falta de gestión y estudio de datos históricos de mantenimiento.

2.1 Encuesta sobre gestión del alumbrado

Una encuesta dirigida a 31 ayuntamientos de Cataluña tenía como objetivo evaluar el estado de las instalaciones, gestión, políticas de mantenimiento etc. En **tabla 1** se resumen los aspectos analizados.

En general se observa que no existe un criterio único para gestionar las instalaciones. La calidad del servicio, cuando el mantenimiento es efectuado por una empresa externa, es preestablecida en los contratos y se basa generalmente en mantener la tasa de averías a un valor que es periódicamente controlado por técnicos del ayuntamiento.

2.2 Mediciones de depreciación y averías

En tres poblaciones con políticas de mantenimiento diferentes donde en calles representativas de cada sector se midieron las iluminancias medias sobre la calzada y se compararon con los correspondientes a luminaria limpia y lámpara nueva. Las instalaciones disponían de luminarias con IP54 o mayor. La **figura 1** indica para las poblaciones **A** (900 puntos de luz/3.500 habit.) y **B** (6.300 puntos de luz/80.000 habit.) que con empresa externa de mantenimiento correctivo (SC) y preventivo con cambios masivos de lámparas (CM) y limpieza masiva de luminaria simultanea (LM) cada 2 años, que la depreciación media observada ($E_{h_{med}}$ respecto del esperado) fue de **0,9**; mientras

Figura 1: Influencia de las políticas de mantenimiento en la depreciación de las instalaciones

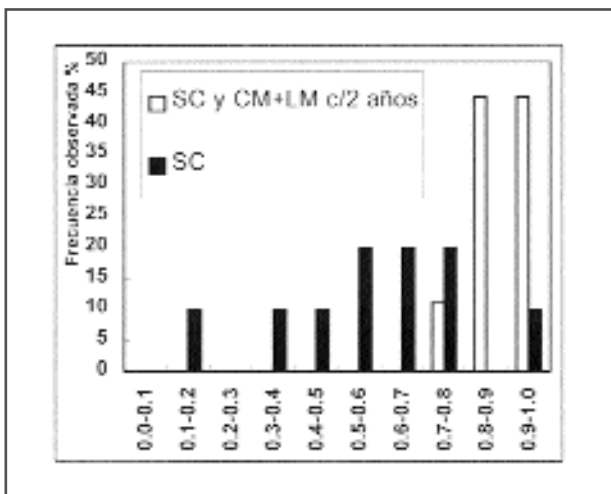


Tabla 1 :
Respuesta de los responsables de la gestión del alumbrado

Encuesta	Respuesta
Tipos de lámparas	Mercurio A.P. 79% Sodio A.P. 17% Otras 4%
Antigüedad y estado	El 38% tendría una antigüedad mayor a 15 años y el 24% posee un estado deficiente que puede deberse a la antigüedad y/o a la mala conservación.
Presupuestos Tarifas de energía	En mantenimiento 48 € por punto de luz para poblaciones > 50.000 habitantes.
Organización del mantenimiento	Empresa externa o mixta contratada por licitación pública 60%, medios propios 35%, no realiza mantenimiento alguno 5%.
Políticas de mantenimiento	Correctivas : reparación de fallos de puntos de luz, cuadros de mando, líneas etc., 50%, operaciones programadas de limpieza y sustitución masiva de lámparas 31,6%.
Averías anuales y duración	25 fallos cada 100 puntos de luz al año con una duración media de 24hs hasta la reparación del fallo, ausencia de respuesta del 43%

en la población **C** (1.800 ptas. de luz/20.000 habit.) que efectúa mantenimiento correctivo con recursos propios, la media fue **0,6**. En este ultimo caso es muy posible que las condiciones actuales de alumbrado estén por debajo de los mínimos a mantener recomendados.

El número de puntos de luz apagados respecto de los instalados en una muestra al azar de calles se utilizó como estimador el porcentaje de averías permanentes (PAP). En figura 2 se indica para 21 poblaciones de Cataluña la distribución de frecuencias de PAP, donde la media observada es **2,9%**. Sin embargo en dos poblaciones como A y B, con mantenimiento riguroso, PAP es inferior al **1%**.

Los efectos acumulados de depreciación y PAP producen diferencias de hasta un 30% en el servicio de acuerdo a la política aplicada.

2.3 Efectos de la falta de gestión

El **funcionamiento de la instalación fuera del horario necesario** produce un aumento en el consumo. Casos de hasta un + 30% fueron detectados originados por falta de mantenimiento de los interruptores crepusculares. Instalaciones similares pero bajo mantenimiento adecuado solo

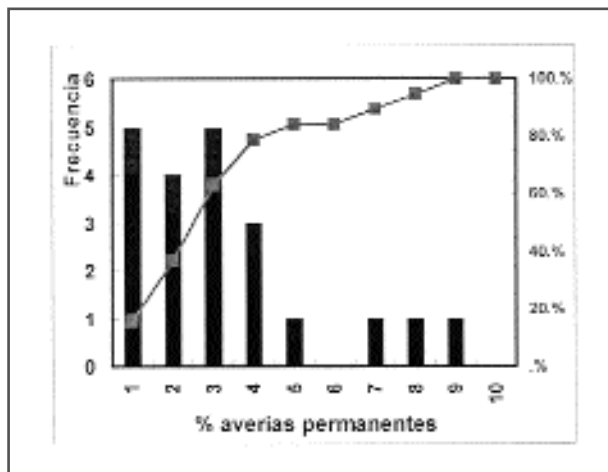
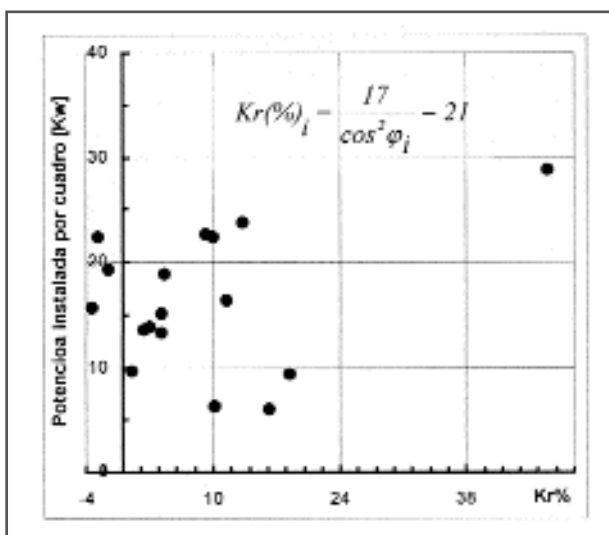


Figura 2: Frecuencia observada del porcentaje de averías permanente en 21 poblaciones.

producían un + 1,6% de sobreconsumo. Instalaciones provistas con reloj astronómico produjeron un sobreconsumo de + 0,4% respecto del teórico esperado [1].

El **consumo de energía reactiva**, presenta un recargo o bonificación $Kr\%$ que se calcula sobre la base del Factor de potencia (de la instalación. Datos de dos ayuntamientos, uno donde no se efectúan controles del consumo reactivo (fig. 3) y otro con controles (fig. 4) indican un $Kr\%_{medio} = 10\%$ (recargo) en los cuadros de mando del alumbrado debido a falta de mantenimiento en los condensadores de compensación, frente a un $Kr\%_{medio} = 0,4\%$ donde se realiza control y mantenimiento [1]

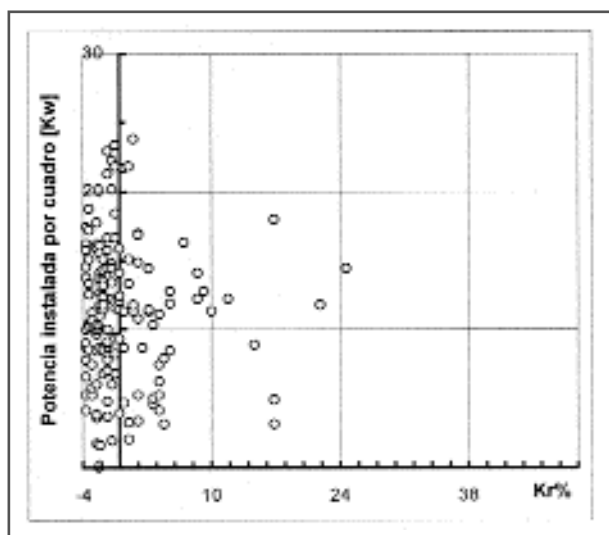
Figura 3 : $Kr\%$ vs. la potencia por cuadro en un ayuntamiento sin mantenimiento. El $Kr\%_{medio} = 10\%$



distintos tipos de tarifas posibles a contratar, el coste de la energía [3] en función del porcentaje de regulación de la potencia activa instalada se indica en figura 5. Se observa que hasta el 40% de regulación, la tarifa 2.0 T0 es la más económica, no obstante, de los ayuntamientos encuestados sólo un 19% la contrata correspondiendo al 75% los contratos tipo B.0. Este problema posiblemente se deba a que la tarifa B.0 fue originalmente pensada para el alumbrado público sin embargo alteraciones posteriores en la relación de costos y reglamentos conducen a este tipo de situaciones que son inadvertidas cuando se carece de gestión del alumbrado.

La **tensión de red**, si se aparta de los valores nominales, afecta el comportamiento de las lámparas de descarga, alterando el consumo, flujo luminoso, $\cos\phi$ corriente de la lámpara, voltaje de la lámpara y en situaciones muy extremas aumentando la probabilidad de fallo y reduciendo la vida de las lámparas mismas y otros componentes. Mediciones en un municipio [4] con problemas en las redes del alumbrado público indicaron variaciones de **-4% a +16%** del valor de servicio (ver fig. 6). La energía consumida por las lámparas de sodio AP bajo dicho voltaje sería un **22%** superior [1]. Podría ocurrir que este valor se reduzca en la facturación debido al frecuente fallo prematuro de las lámparas que simultáneamente se experimenta por la sobretensión. La legislación en España

Figura 4 : $Kr\%$ vs. la potencia por cuadro en un ayuntamiento con controles del consumo de energía reactiva. El $Kr\%_{medio} = 0,4\%$



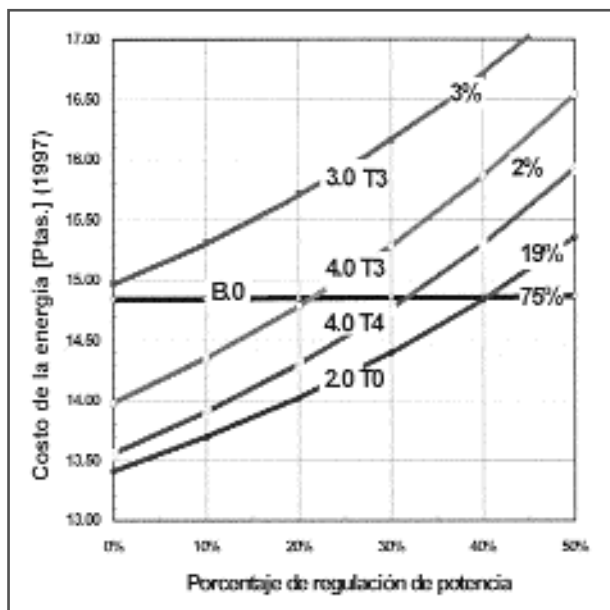


Figura 5 : Costo de la energía (12/1997) (1us\$ = 140 Plas) en función del % de regulación de potencia de las lámparas y con las distintas tarifas como parámetro. A la derecha se ha indicado el % de respuestas de ayuntamientos encuestados.

establece valores límites de $\pm 7\%$ en el voltaje de suministro [5] con reducción en la facturación de hasta el 50% en casos de reiteradas deficiencias. Sin embargo si el Ayuntamiento no controla el suministro dentro de su gestión estamos frente a un costo adicional de consumo al que se agregaría el costo de materiales y reposición por fallo prematuro de las lámparas que la sobre tensión engendra.

Resumiendo, los factores estudiados que generan posibles costos indirectos por la carencia o deficiencia de gestión en el alumbrado urbano, se indican en la **tabla**

Tabla 2: Impacto en el consumo energético debido a falta de gestión y mantenimiento adecuados

Factor Analizado	Gestión & Mantenimiento	
	eficiente	ineficiente
Funcionamiento fuera de horario	0,4%	30%
Consumo de energía reactiva	0,4%	10%
Régimen de tarifas energéticas	0%	15%
Voltaje de la red	5%	22%
Total	5,80%	77%

2 . Los sobrecostos de explotación pueden fluctuar desde un $\sim 6\%$, con un mantenimiento aceptable, hasta un 72% en una situación acumulativa extrema debido a la carencia de gestión y mantenimiento.

2.4 Operaciones de mantenimiento

Datos que abarcan un período de 6 años (92-98) de una empresa de mantenimiento fueron analizados. El tipo de operaciones de mantenimiento efectuadas se distribuyen de acuerdo a **tabla 1**. De las operaciones en puntos de luz (72%) un 54% corresponden a su vez a fallos de lámparas lo cual indica la importancia de este componente en la evaluación de costos y seguridad del servicio

Analizando los tiempos transcurridos hasta la primera sustitución de lámparas por fallos (excluidos vandalismos y falsos contactos) entre dos cambios masivos se obtiene las curvas de supervivencia bajo condiciones reales de funcionamiento.

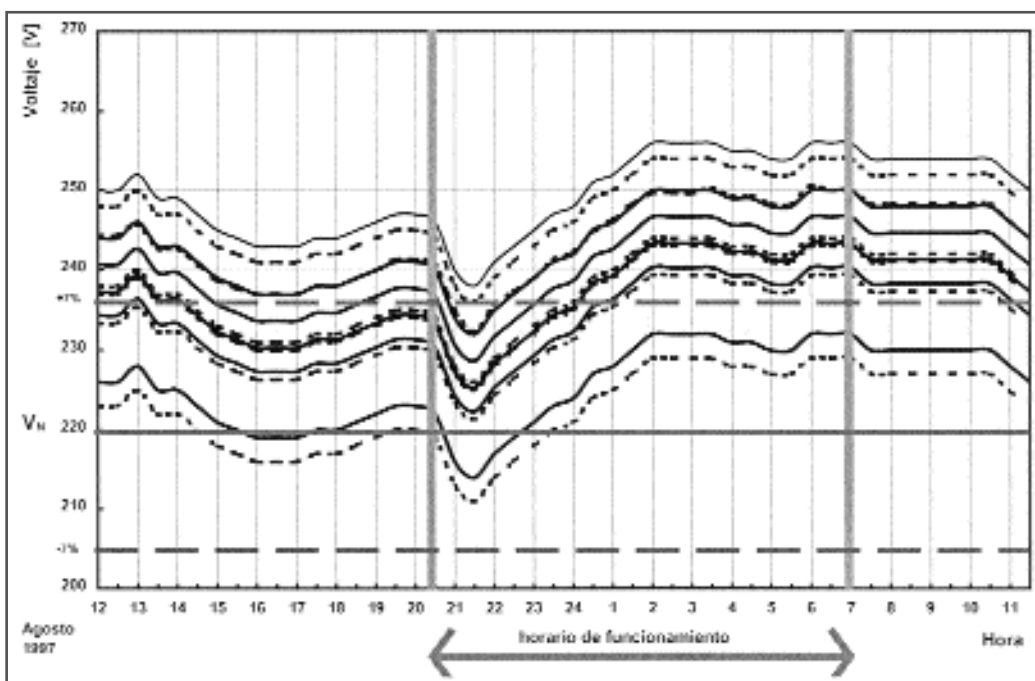


Tabla 3: Operaciones de mantenimiento			
Operaciones			
Preventivas	50%		
Correctivas	50%	Puntos de luz	72%
		Cuadro de mando	25%
		Líneas	3%
Total	100%		100%

Los resultados así obtenidos se indican en figura 7 para lámparas de mercurio (Merc.) y en figura 8 para lámparas de sodio de alta presión. Respecto del comportamiento indicado por ensayo de fabricantes, se observan diferencias notables que posiblemente se deban a que las condiciones reales de funcionamiento difieren de las de ensayo en laboratorio.

El estudio de la problemática del alumbrado urbano ha permitido establecer los factores mas importantes que afectan el servicio, los limites recomendables y su relación con el beneficio y los costos. Cada factor involucrado presenta un modelo te-

en la relación beneficios/costos para planificar y controlar la gestión del alumbrado requiere establecer que es el beneficio, cuales son los costos y cuantificar ambos.

El beneficio del alumbrado urbano consiste en producir las condiciones apropiadas de visión para favorecer la seguridad vial, ciudadana creando un ambiente confortable uso, animado que produzca además sensación de bienestar. Un posible enfoque del beneficio del alumbrado es el ahorro producido por la reducción de la tasa de accidentes viales cuando se ilumina una vía que carecía previamente de alumbrado. Sin embargo cuando se trata de una renovación los cambios no son tan evidentes posiblemente debido a la baja correlación de la iluminancia o luminancia con los accidentes. Los accidentes son efectos de causas complejas y por otra parte la complejidad de la trama urbana hace que la seguridad vial sea un factor importante pero no el único. Si además como objetivo, por ejemplo, interesa evaluar las políticas de mantenimiento la situación se complica aún mas.

La evaluación del beneficio debe tener como objetivo ponderar la calidad del servicio del alumbrado para lo cual se debe basar en aspectos operativos que permitan evaluar la gestión, explotación y planificación del mantenimiento. Los aspectos o factores mas importantes que interesan desde esta óptica y que fueron analizados en la problemática del alumbrado [6] están relacionados con:

- la iluminancia,

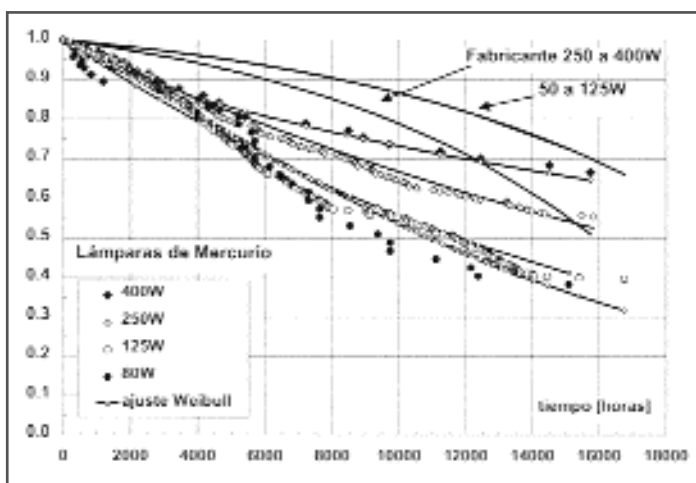


Figura 7: Curvas de supervivencia de lámparas de Mercurio a partir de registros históricos.

órico de comportamiento que como en el caso de los factores de depreciación, en una primera fase, se pueden utilizar como referencia, sin embargo se aconseja realizar un seguimiento de las instalaciones con lo cual se pueden elaborar modelos de comportamiento mas confiables y representativos.

3. El Beneficio / Coste del alumbrado

Un indicador del nivel de servicio basado

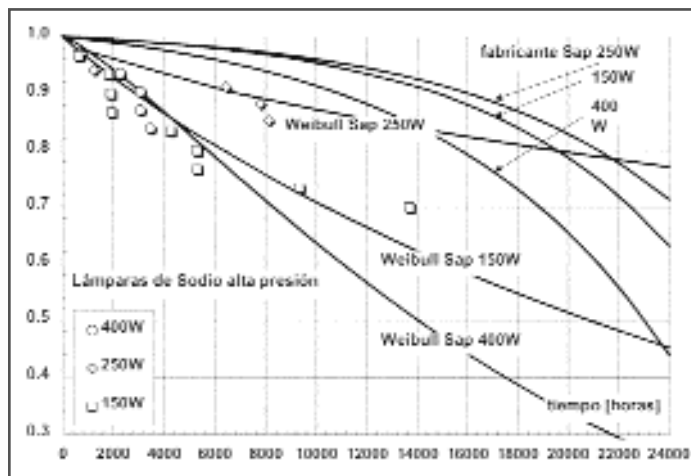


Figura 8: Curvas de supervivencia de lámparas de Sodio A.P. a partir de registros históricos.

- el tiempo de operación necesario del servicio,
- la fiabilidad, frecuencia y duración de fallos,
- la seguridad eléctrica y mecánica del sistema,
- la apariencia de la instalación (estética, color de la luz).

cada uno de estos factores serían dimensiones independientes K_i cuyo producto constituiría el beneficio (B) a evaluar.

$$B/C = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdots K_n}{Costos}$$

Cada factor tiene como referencia un valor convenientemente establecido por normas o recomendaciones, por encima del cual no se considera que existe aporte al beneficio, por otra parte, debajo de cierto porcentaje mínimo aceptable del factor el beneficio se considera nulo $0 \leq K_i \leq 1$. La variación de cada factor entre la referencia y el mínimo aceptable se considera lineal debido a que otra forma mas complicada no aporta mayores resultados. Los factores pueden obtenerse por medición para evaluar la situación actual o mediante cálculos para determinar B/C máximos como criterio de diseño y referencia.

K(E): depende de la iluminancia media sobre la calzada (E_{med}), que a pesar de ser conocidas sus limitaciones frente a la luminancia es elegida debido a la facilidad de medición, bajo costo de equipos de medición, hábito de uso y a que es comparable con valores de referencia mínimos mantenidos (E_R), convenientemente establecidos son utilizados como referencia. $K(E_{med})$ varia según se indica en el cuadro siguiente:

factor	$E_{med} < E_R/2$	$E_R/2 \leq E_R$	$E_{med} \geq E_R$
$K(E_{med})$	0	$(2 E_{med} / E_R) - 1$	1

$K(E_{med})$ puede ser obtenido por medición de la E_{med} o por calculo conocido el factor de mantenimiento (MF), que tiene en cuenta la reducción con el tiempo de la iluminancia inicial de la instalación (E_o), debido a depreciación por polución y en-

vejecimiento de la luminaria $LMF(t)$, reducción del flujo luminoso la lámpara $LLMF(t)$ y supervivencia de las lámparas $LSF(t)$.

$$E_{med} = E_o \cdot MF$$

El MF dependerá de la política de mantenimiento adoptada y de los periodos de sustitución de lámparas (T_L) y limpieza de luminarias (T_C). A fines de un análisis mas general se han supuesto cuatro estrategias posibles (tabla 4):

	Política	Factor de mantenimiento FM
1	SM + LM	$LLMF(T_L, \text{tipo de lámpara}) \times LMF(T_L, IP) \times LSF(T_L, \text{tipo de lámpara})$
2	SC + SM + LM	$LLMF(T_L, \text{tipo de lámp.}) \times LMFT(T_L, IP)$
3	SC + LM	valor medio de $LLMF(0 \text{ a } 2T_{50\%}, \text{tipo de lámp.}) \times LMF(T_L, IP)$
4	SC + LS	valor medio de $LLMF(0 \text{ a } 2.T_{50\%}, \text{lámpara}) \times$ valor medio de $LMF(0 \text{ a } 2.T_{50\%}/T_o \text{ IP})$

Tabla 4: Factor de mantenimiento para las políticas analizadas

Para describir los factores de depreciación se utilizan curvas exponenciales. Para el LMF se utilizan las curvas de CIE 136[7] en función del IP de la luminaria. Verificaciones de LMF se realizan con el ratio de mediciones de iluminancia bajo la luminaria antes y después de operaciones de limpieza y conocido el tiempo transcurrido desde la última limpieza. Para el $LLMF$ se emplean de datos de fabricantes y para LSF se utilizan las curvas de figuras 7 y 8.

La reducción de la E_R para ahorro de energía a partir de ciertos horarios nocturnos no se considera que altera el beneficio ya que se supone que la decisión ha sido correctamente adoptada. Su consideración en el modelo se contempla en los costos adicionales de equipos y reducción en el consumo de energía.

K(T_o): es el factor de tiempo de operación, siendo la referencia T_{OR} , el tiempo de funcionamiento necesario acumulado anual de de la instalación, de acuerdo a la ubicación geográfica.

Ej. para Barcelona sería 4277,5hs.

factor	$0 < 0,95T_{OR}$	$0,95T_{OR} \leq T_0 < T_{OR}$	$T_0 \geq T_{OR}$
$K(T_0)$	0	T_0 / T_{OR}	1

K(PAP): considera la fiabilidad del sistema que se describe por el porcentaje de averías permanente observado (PAP), aceptándose un límite mínimo (PAP_{min}) a partir del cual decrece linealmente hasta un límite máximo donde esta dimensión del beneficio se considera nula ($PAP_{máx}$).

factor	$PAP < PAP_{min}$	$PAP_{min} \leq PAP < PAP_{máx}$	$PAP \geq PAP_{máx}$
$K(T_0)$	1	$\frac{1 - (PAP - PAP_{min})}{(PAP_{máx} - PAP_{min})}$	0

El porcentaje de averías permanentes (PAP) indica el porcentaje medio de puntos de luz fuera de servicio, probable de observar por la noche en una zona o instalación. Puede determinarse por inspección periódica de toda la población o muestreo aleatorio. En una instalación con gestión centralizada y control individual de los puntos de luz, sería posible registrar el PAP por monitoreo permanente. Una estimación del PAP basado en registros históricos de fallos, el tiempo necesario para la reparación y la suposición de una distribución temporal uniforme de fallos, se puede obtener mediante:

$$PAP = \frac{Tfs \cdot AA}{NPL \cdot 365} \cdot 100$$

donde:

PAP: porcentaje de averías permanente
AA: Averías anuales. Se obtiene de registros históricos.

NPL: Número de puntos de luz.

Tfs: tiempo medio de fuera de servicio de un punto de luz o tiempo transcurrido desde el fallo hasta que esta se repara, en días. Se puede suponer que es el tiempo desde la detección hasta la reparación.

Otros factores como apariencia y seguridad de instalación serán objeto de una futura consideración.

Los costos de la instalación de alumbrado se agrupan en :

- Instalación: equipamiento y construcción
- Explotación: consumo de energía activa y reactiva

· Mantenimiento: gestión administrativa, inspección, control y operaciones de mantenimiento

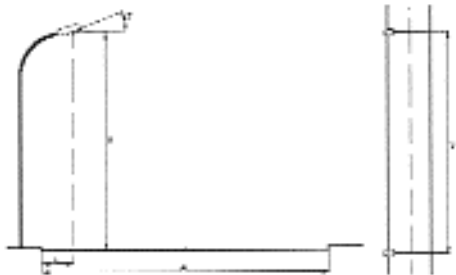
· Renovación, eliminación y reciclado.

Un análisis global de costos debe cubrir el ciclo de vida de la instalación (20 años) y trasladar los valores a una cuota anual equivalente, además es usual referir los costos por unidad de superficie y lux.

4. El diseño y la relación Beneficio/Costo

La aplicación de B/C como criterio de diseño ha sido analizada utilizando la instalación indicada en figura 9. El $B/[CAE'/(lx.m^2)]$ máximo fue calculado para las distintas **situaciones generadas por requerimientos luminotécnicos del diseño** (tabla 5), 2 anchos de calzada, 3 protecciones mecánicas (IP2, IP5 e IP6), 3 grados de polución ambiental, 2 tipos de lámparas, 2 supervivencias $LSF_{(t)}$ (fabricante y datos propios) y 4 estrategias de mantenimiento (tabla 4) variando los periodos de mantenimiento T_L y T_C de 2 meses hasta 6 años. Como ejemplo de los resultados obtenidos se indica en figura 10 el caso para lámpara de sodio AP 250W, área 8.000m² ambiente sucio y $LSF_{(t)}$ propio (fig.8).

Figura 9: Instalaciones utilizadas en el estudio



Instalación : Unilateral sobre columna
Ancho de calzada (A) : 6m y 8m
Altura de montaje (H) : 6m ≤ H ≤ 17m
Inclinación (T) : 0° ≤ T ≤ 15°
Saliente (E) : 0 ≤ E ≤ 3m
Separación (S) : 15 ≤ S ≤ 80m
Luminarias : Philips SGS 101, 102, 204 y SRC 512
Lámparas : Sodio AP T 100, 150, 250, 400W y Mercurio 125W, 250W y 400W
Reflexión de calzada : CIE R3, qo = 0,07

Tabla 5 : Requerimiento del diseño

E_{med}	L_{med}	$U_0 \geq$	$U_L \geq$	$TI\% \leq$	NC : no corresponde
10	0,5	0,4	NC	NC	
15	1		0,5		
20	1,2				
25	1,5			0,7	
35	2				

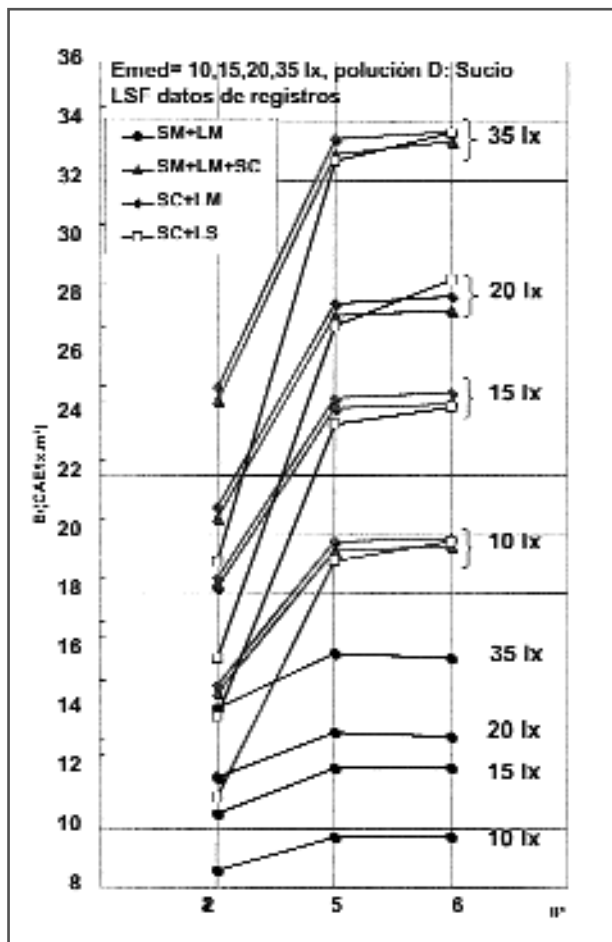


Figura 10:
 $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximos
 con Sodio AP
 250W,
 8.000m²,
 ambiente su-
 cio y LSF
 propio.

De los resultados generales se pudo observar que:

□ $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo presenta ventajas como criterio de diseño al estudiar las distintas políticas ya que garantiza los criterios de calidad como ser una tasa de fallos mínima frente a otros criterios como costos mínimos.

□ Existe una dependencia de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con E_{med} , U_o , U_L y el área a pesar que los costos fueron referidos a lx y m². Esto hace necesario determinar para cada instalación el B/C cuando éstas difieran con relación a dichos parámetros si se desean efectuar comparaciones.

□ Respecto a los factores: políticas de mantenimiento, contaminación ambiental, protección mecánica (IP), y supervivencia de lámparas se concluye:

· *SM+LM+SC* y *SC+LM*, en ambientes urbanos con luminarias IP2 o IP5, son las más convenientes y la política *SC+LS* es para instalaciones con luminarias IP6 la

más conveniente. *SM+LM* es la política menos indicada en todos los casos salvo con IP2.

· El cambio de ambiente limpio (área rural) a sucio (zona urbana o industrial) reduce el $B/[CAE/(lx.m^2)]$ de una instalación con IP2 en un 20%, con IP5 un 5% y con IP6 solo el 3%.

· Luminarias con IP2 presentan el menor $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con una diferencia promedio del 25% respecto de IP5 o IP6 para las políticas *SM+LM+SC* y *SC+LM*, mientras que luminarias IP5 e IP6 presentan una diferencia del 1,4% lo que justificaría más el uso de IP6

· El utilizar datos reales de supervivencia de lámparas (LSF) frente a datos de catálogo de fabricante, afecta mucho a la política con solo operaciones masivas programadas (*SM+LM*) con una reducción de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ del 45%. Esto se debe a que el beneficio es afectado por una mayor mortalidad (del orden del 10% anual) requiriendo menores periodos de sustitución programada para lograr el máximo $B/[CAE/(lx.m^2)]$ y mantener la tasa de averías baja. Las políticas *SM+LM+SC*, *SC+LM* y *SC+LS* sufren reducciones del 1%. El aumento de costos por mayores cambios correctivos debido a una menor *LFS* no es significativo frente a los restantes costos de la instalación de allí que no se observen diferencias importantes. Sin embargo si se consideran solo los costos de mantenimiento por actuaciones correctivas estos se incrementan un 8% debido a diferencias en las supervivencia supuestas.

□ Los periodos de mantenimiento, para la política *SM+LM+SC*, con luminarias IP2 y ambiente sucio, (zonas urbanas con alta densidad de tráfico), son $T_L = 3$ años para sodio AP y $T_L = 1$ año para mercurio y los T_C óptimos son de 4 meses con ambas lámparas. Para luminarias IP5 e IP6 y ambiente sucio T_L óptimos con sodio AP son 4 años y para mercurio siguen siendo de 4 años y para mercurio siguen siendo de 1 año y los T_C óptimos son de 1 a 3 años con sodio y de 1 año con mercurio.

5. Evaluando instalaciones existentes con B/C

Una población de 78.000 habitantes, 6.800 puntos de luz y 100 cuadros de mando fue escogida para evaluar las instalaciones de alumbrado utilizando la relación B/C. Como muestras representativas de la ciudad fueron seleccionadas las instalaciones de cuadros correspondientes a zonas residenciales (cuadros 35 y 36), industriales (45), vías rápidas (1, 2 y 29) y vías secundarias (50).

De cada zona se recopilaron los datos necesarios sobre:

- características de las instalaciones
- política de mantenimiento y periodos de operaciones
- estadísticas y observaciones de averías
- mediciones de E_{med} y de depreciación
- tiempos de encendido y apagados
- facturación de energía
- costos de instalaciones, mantenimiento etc.

Con estos datos, la relación B/C fue calculada para cada cuadro discriminando cuatro situaciones:

actual : instalación bajo la política de mantenimiento, el consumo y los parámetros de la prestación del servicio medidos actuales.

actual eficiente: similar a actual pero ahora con un consumo y uso eficiente de la energía.

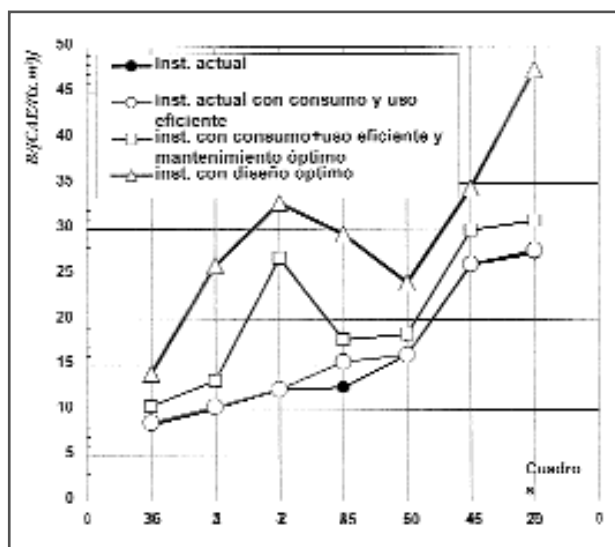
actual óptima: la instalación actual eficiente pero ahora bajo una política de mantenimiento óptima.

diseño óptimo: una instalación con un nuevo diseño siendo este el más apropiado desde el punto de vista funcional, consumo y uso eficiente de la energía y bajo una política de mantenimiento óptima.

Las distintas situaciones consideradas permiten determinar, a primera instancia, donde puede haber una problemática de tipo energética, de aprovechamiento, de conservación, de optimización de mantenimiento u optimización del diseño. Como ocurre en otros casos similares, un indicador que englobe numerosos factores para sintetizar información, al comparar situaciones y surgir una diferencia significativa, será necesario efectuar un análisis más específico el que puede hacerse a partir de los datos recogidos para la obtención de B/C. Los valores obtenidos de B/C en cada situación para cada cuadro se indican en figura 11.

B/C de la situación actual esta representada por los puntos en círculos llenos a los cuales se superpone la situación B/C con consumo y uso eficiente (puntos vacíos), salvo en cuadro 35 donde un mayor consumo ha producido mayores costos. Una optimización del mantenimiento, indicada por la situación de los puntos en cuadros, aumenta la relación B/C en general debido a que es posible un aumento en los periodos de sustitución de lámparas actuales. Por lo contrario en cuadro 2 al ser la E_{med} menor que la recomendada E_R se requieren periodos más cortos de limpieza para compensar la depreciación por un problema de diseño. La comparación de estas situaciones permitirían disponer de argumentos para justificar cambios en las políticas de mantenimiento. Los puntos triangulares representan la situación de diseño óptima combinación de diseño nuevo y mantenimiento óptimo para cada zona. En esta última situación, a pesar de que se observa un incremento de B/C es conveniente considerar además el periodo de retorno de la inversión antes de realizar cualquier cambio.

Figura 11:
Evaluación de instalaciones mediante B/C



6. Conclusiones

La relación B/C es un criterio de diseño y evaluación de instalaciones de alumbrado urbano adecuado. Para instalaciones existentes, si la muestra de instalaciones evaluadas es lo suficiente grande los resultados pueden extrapolarse a toda la población para una evaluación global.

Controles periódicos cada 6 meses por ejemplo, permitirían evaluar en el tiempo como varia la relación B/C para realizar ajustes a datos como depreciación de luminarias, supervivencia etc. y ajustar políticas de mantenimiento.

7. Símbolos

CAE: costo anual equivalente considerando el costo financiero del dinero

$B/[CAE/(lx.m^2)]_{máximo}$: relación beneficio costo por lux y por m²

$T_{50\%}$: vida media, tiempo en funcionamiento hasta el 50% de supervivencia de las lámparas.

T_0 : tiempo de utilización en [h], acumulado por año de la instalación.

IP2 IP5 oIP6: grado de protección contra polvo y agua de la luminaria

SM+LM: Sustitución programada masiva de lámparas más limpieza de luminarias

SC+SM+LM: Sustitución correctiva de lámparas mas SM+LM.

SC+LM: Sustitución correctiva de lámparas y LM

SC+LS: Sustitución correctiva con limpieza simultánea.

T_L : período de sustitución masiva de lámparas

T_C : período de limpieza masiva de luminarias

LSF : factor de supervivencia de las lámparas

LLMF : factor de reducción del flujo luminoso de la lámpara por envejecimiento

LMF : factor de depreciación por polución y envejecimiento de la luminaria

MF : factor de mantenimiento de la instalación

E_{med} : iluminancia media sobre la calzada mínima mantenida [lx]

L_{med} : luminancia media sobre la calzada mínima mantenida [cd/m²]

U_0 : regularidad general. $U_0 = L_{min}/L_{med}$

U_L : regularidad longitudinal. El menor ratio $L_{min}/L_{máx}$ en líneas paralelas al eje de la calzada

TI%: incremento del umbral, considera el deslumbramiento de la instalación

8. Agradecimientos

Deseo expresar mi gratitud a todas las personas, empresas e instituciones han colaborado en la realización de este trabajo. A las empresas SECE y MOSECA por la colaboración facilitando personal de mantenimiento, equipos, e información para la recolección de datos.

Al grupo Estudios Luminotécnicos, Sierra C., Saro O., Villarraso V. y Albert V. por su generosa cooperación.

Al CONICET, FOMEC y a la Universidad Nacional de Tucumán por financiar los gastos de estadía en la UPC.

9. Bibliografía

- [1] **San Martín R., Manzano E.** (1998). *A study of indirect cost due to reduced urban lighting maintenance.* CIBSE National Lighting Conference. Lancaster UK. Page 219 to 223.
- [2] **Real decreto 2320** (1996). *Por el que se establece la tarifa eléctrica, Diciembre 1996*
- [3] **Saro O.** (1997). *Software de simulación de tarifas, Gupo de Estudis Luminotecnics, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.*
- [4] **San Martín, Villarraso V., Oscar S., Albert V.** (1997). *Gupo de Estudis Luminotecnics. Estudi del subministre energètic als quadres d'illuminat public de Deltebre, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.*
- [5] **Reglamento de verificaciones eléctricas y regularidad en el suministro de energía** (1994). Editorial Paraninfo.
- [6] **Manzano E.R., San Martín R.** (1999). *Procedure for continue urban lighting management evaluation. Proceedings 24th Session of the CIE page 234 to 238, Warsaw.*
- [7] **CIE 136** (2000) *Guide to the Lighting of Urban Areas.* Comission Internationale de l'Eclairage. Publication CIE N^o 136 ISBN 3 900 734 98 4

El estado actual de la gestión y explotación indica, en algunos casos, la necesidad de información para establecer criterios adecuados en la utilización de los recursos, como así también la posibilidad de mejorar el rendimiento de las instalaciones.